



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO SISTEMAS ALAGADOS
CONSTRUÍDOS (*WETLANDS* CONSTRUÍDOS): ESTUDO DE CASO EM UMA
ECOVILA LOCALIZADA EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

LUCIANA PAES MENDONÇA

BELO HORIZONTE

2022

LUCIANA PAES MENDONÇA

**TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO SISTEMAS ALAGADOS
CONSTRUÍDOS (*WETLANDS* CONSTRUÍDOS): ESTUDO DE CASO EM UMA
ECOVILA LOCALIZADA EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Msc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE

2022

LUCIANA PAES MENDONÇA

**TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO SISTEMAS ALAGADOS
CONSTRUÍDOS (WETLANDS CONSTRUÍDOS): ESTUDO DE CASO EM UMA
ECOVILA LOCALIZADA EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

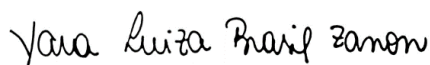
Data de aprovação: 09/02/2022

Banca examinadora:



André Luiz Marques Rocha
Me. Engenharia Agrícola – Recursos Hídricos e Ambientais
Professor do CEFET-MG – Orientador

Gisele Vidal Vimieiro
Dra. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Professora do CEFET-MG



Yara Luiza Brasil Zanon
Me. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Engenheira Tractebel Engie



Emitido em 17/02/2022

ATA Nº 5/2022 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 17/02/2022 11:33)

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 2143906

(Assinado digitalmente em 17/02/2022 14:31)

GISELE VIDAL VIMIEIRO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 1905026

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número:
5, ano: 2022, tipo: ATA, data de emissão: 17/02/2022 e o código de verificação: 35c098358d

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ter me guiado nessa trajetória e me permitido chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, José Mendonça e Marta, e a meu irmão, Matheus, pela paciência e compreensão durante essa jornada e por todo apoio em cada escolha feita por mim.

Aos meus amigos do CEFET, pelas fases compartilhadas, sejam eles de tristeza ou de alegria, e pelos vários momentos leves que tornaram essa trajetória melhor.

Ao meu orientador, André, por ter aceitado esse desafio e por ter colaborado para o meu crescimento pessoal e profissional através de seus conhecimentos e experiências.

Agradeço em especial aos grupos extracurriculares do qual fiz parte. Primeiramente ao PET ADM, que me trouxe um amadurecimento e visão sistêmica, e à Lud e Carol, que acreditaram em mim e me proporcionaram fazer parte dessa equipe. À Liga Sustentar, que foi meu primeiro contato, na prática, com o curso, e que me proporcionou conhecer um pouco como é a gestão de pessoas. E à Horizonte Consultoria Ambiental, que foi um dos motivos de eu me apaixonar ainda mais pelo meu curso de graduação, a entender o meu potencial e a me fazer enxergar qual área quero atuar no mercado de trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram e torceram para o meu sucesso, e que, mesmo distantes, se fazem presentes das mais diversas formas.

RESUMO

MENDONÇA, LUCIANA PAES. **TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS (WETLANDS CONSTRUÍDOS): ESTUDO DE CASO EM UMA ECOVILA LOCALIZADA EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS.** 2022. 64. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

A proposta de tratamentos de esgoto diferentes dos convencionais tem sido uma alternativa para a universalização do saneamento no Brasil, visto que o acesso ao mesmo é um direito de todos os cidadãos. No contexto de uma Ecovila, local em que uma comunidade busca um estilo de vida mais sustentável e é objeto desse estudo, as *Wetlands* Construídas surgem como uma opção mais adequada. O presente trabalho apresenta o projeto de um sistema de tratamento de efluentes composto por tanque séptico prismático regular com duas câmaras em série, seguido de *Wetlands* Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal composto por três módulos em paralelo, com meio suporte de brita 1 e macrófita do gênero *Typha sp* (Taboa). O projeto teve como finalidade o dimensionar o sistema de tratamento do esgoto doméstico gerado em uma Ecovila composta com um Equivalente Populacional de 60 pessoas. Com base em recomendações da literatura para dimensionamento, as dimensões do tanque séptico foram de comprimento de 3,82 metros e largura de 1,27 metros, a *Wetland* Construída teve comprimento de 18,33 metros e 2,03 metros de largura para cada um dos três módulos, sendo considerado para parâmetros construtivos, 18 metros e 2 metros. O custo estimado do projeto foi de R\$ 102.208,53, englobando mão de obra e materiais.

Palavras-chave: Ecovila. Tratamento de Esgoto. *Wetlands* Construídos.

ABSTRACT

MENDONÇA, LUCIANA PAES. **TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER FROM AN USING CONSTRUCTED FLOODED SYSTEMS (CONSTRUCTED WETLANDS): CASE STUDY IN A ECOVILLAGE LOCATED IN BRUMADINHO, MINAS GERAIS.** 2022. 64. Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

The proposal of treatment of domestic wastewater different from conventional ones has been an alternative for the universalization of sanitation in Brazil, since access to it is a right of all citizens. In the context of an an Ecovillage, a place where a community seeks a more sustainable lifestyle and object of this study, Constructed Wetlands emerge as a more suitable option. The present work presents the project of an effluent treatment system composed of a regular prismatic septic tank with two chambers in series, followed by Constructed Horizontal Subsurface Flow Wetlands composed of three modules in parallel, with a medium support of gravel 1 and macrophyte of the genus *Typha sp.* (Taboa). The purpose of the project was to dimension the treatment system of an domestic wastewater generated in an Ecovillage with a Population Equivalent of 60 people. Based on literature recommendations for dimensioning, the septic tank dimensions were 3.82 meters long and 1.27 meters wide, the Constructed Wetland was 18.33 meters long and 2.03 meters wide for each one of the three modules, in which was considered for constructed parameters, 18 meters and 2 meters, respectively. The estimated cost of the project was R\$ 102.208,53, including labor and materials.

Keywords: Ecovillage, Domestic Wastewater Treatment, Constructed Wetlands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mapa do índice médio de atendimento urbano por rede coletora de esgotos dos estados no ano de 2019.....	9
Figura 3.2 - Gráfico com distribuição das formas de esgotamento sanitário nas zonas consideradas urbanas e rurais de Brumadinho.	11
Figura 3.3 - Composição média do esgoto doméstico.....	12
Figura 3.4 - Representação gráfica do Wetlands de Fluxo Superficial.	20
Figura 3.5 - Representação gráfica do Wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal.	22
Figura 3.6 - Representação gráfica do Wetland Construído de Fluxo Subsuperficial Vertical.	22
Figura 4.1 - Mapa de localização da Ecovila.	26
Figura 4.2 - Imagem ilustrativa da Plataforma IDE-SISEMA com a localização da área de estudo (Ecovila) em destaque.	26
Figura 4.3 - Hidrografia da área de estudo.	27
Figura 4.4 - Representação de um sistema de tanque séptico seguido de Wetlands Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.	29
Figura 5.1 - Chalé Laranja da Ecovila.	34
Figura 5.2 - Chalé Azul da Ecovila.	35
Figura 5.3 - Chalé Branco da Ecovila.	35
Figura 5.4 - Cozinha coletiva e casa de um dos proprietários.....	35
Figura 5.5 - Local utilizado como dispensa.....	36
Figura 5.6 - Local a ser utilizado para eventos.....	36
Figura 5.7 - Fossa rudimentar do chalé laranja.	37
Figura 5.8 - Fossa rudimentar do chalé branco, que se encontra enterrada.....	37
Figura 5.9 - Fossa rudimentar do chalé azul.....	37
Figura 5.10 - Caixa de gordura de um dos chalés.	38
Figura 5.11 - Recorte do levantamento planimétrico da área apresentando o local escolhido para a instalação do Sistema de Tratamento de Efluente.	39
Figura 5.12 - Representação do tanque prismático regular com duas câmaras em série.	43
Figura 5.13 - Representação do sistema de tratamento de efluente.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Valores típicos de parâmetros encontrados nos esgotos domésticos.....	13
Tabela 3.2 - Padrões de lançamento de efluentes para corpos hídricos de água doce Classe 2 em Minas Gerais.....	16
Tabela 4.1 - Eficiência de remoção do sistema tanque séptico seguido de Wetland Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.....	29
Tabela 5.1 - Contribuição diária de despejos e lodo fresco por tipo de prédio	40
Tabela 5.2 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio	40
Tabela 5.3 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária	41
Tabela 5.4 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.....	42
Tabela 5.5 - Tabela da estimativa de custos da preparação do projeto	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ARSAE	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgoto
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅ 20° C	Demanda Bioquímica de Oxigênio do 5° dia de Água e de Esgotamento Sanitário determinada a 20° C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GESAD	Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional sobre Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SAC	Sistema Alagado Construído
WCFH	<i>Wetlands</i> Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal
WCFS	<i>Wetlands</i> Construídas de Fluxo Superficial
WCFSS	<i>Wetlands</i> Construídas de Fluxo Subsuperficial
WCFV	<i>Wetlands</i> Construídas de Fluxo Subsuperficial Vertical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo Geral	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3 REVISÃO DA LITERATURA	7
3.1 Esgotamento Sanitário no Brasil	7
3.2 Esgotamento Sanitário em Minas Gerais	8
3.3 Esgotamento Sanitário em Brumadinho	10
3.4 Caracterização do Efluente	12
3.5 Legislações Ambientais Pertinentes no Âmbito de Tratamento e Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos Receptores	14
3.6 Níveis de Tratamento de Efluente	16
3.7 <i>Wetlands</i> Construídos	18
3.8 Histórico das <i>Wetlands</i>	19
3.9 Tipos de <i>Wetlands</i>	20
3.10 Elementos Constituintes do Sistema de <i>Wetlands</i>	23
4 METODOLOGIA	25
4.1 Revisão da Literatura	25
4.2 Área de Estudo	25
4.3 Levantamento Técnico de Informações no Local	28
4.4 Escolha do Sistema	28
4.5 Dimensionamento do Sistema	30
4.6 Orçamento	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Levantamento dos Dados <i>In Loco</i>	34
5.2 Cálculo do Dimensionamento do Sistema de Tratamento	39
5.2.4 <i>Dimensionamento do Tanque Séptico</i>	41
5.2.2.1 <i>Constante de Reação a 20 °C (K₂₀)</i>	45
5.2.2.2 <i>Constante de Reação de Cinética de Primeira Ordem (KT)</i>	46
5.2.2.3 <i>Concentração Afluente e Efluente à Wetland Construída em Termos de DBO_{5,20}</i>	46
5.2.2.4 <i>Vazão Efluente</i>	47
5.2.2.5 <i>Profundidade Média do Filtro</i>	47

5.2.2.6 <i>Dimensionamento da Wetland Construída</i>	47
5.3 Representação do Sistema	50
5.4 Orçamento	51
6 CONCLUSÃO	53
7 RECOMENDAÇÕES	54
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE A – FÓRMULARIO APLICADO NA VISITA	61
ANEXO A – LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO	62

1 INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico é um direito humano essencial, fundamental e universal, indispensável à vida com dignidade, e reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2010). Infelizmente, tal condição não é suficiente para que essa seja a realidade de muitos brasileiros. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2020), em 2017, 34,1 milhões de domicílios não tinham acesso a serviço de esgotamento sanitário, o que representava 49,9% do total. O referido déficit é um fator preocupante, acentuando-se na zona rural do país, região que mais sofre com o problema mencionado.

A existência de sistema de esgotos sanitário eficiente tem diversos benefícios, tanto em âmbito individual, quanto para a sociedade como um todo. Dentre esses reflexos positivos estão: a melhoria das condições sanitárias da população em geral, a conservação dos recursos naturais, a eliminação de focos de poluição e de contaminação, a redução das doenças de veiculação hídrica e a redução de custos no tratamento da água para abastecimento público (CASTANHETTI, 2017).

A situação socioeconômica brasileira, juntamente com a necessidade de preservação ambiental, faz com que seja necessário o investimento em outros tipos de tecnologias relacionadas ao tratamento de esgoto, além do convencionalmente usado. Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's), sistemas de tratamento mais usuais, requerem elevados gastos de implantação e operação, são centralizadas e não são as mais ambientalmente adequadas, e, dependendo do contexto, podem não ser as mais viáveis (SABEI; BASSETTI, 2013).

Para que um projeto seja considerado ambientalmente correto ele deve seguir diversos critérios, e, assim, alcançar a ecoeficiência. Para isso, ele deve ser um bem ou serviço a preço competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e que tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo em que ocorre a busca da redução progressiva do impacto ambiental e do consumo de recursos (SABEI; BASSETTI, 2013).

Nesse contexto de busca pela sustentabilidade, surgem as Ecovilas, que são assentamentos humanos ou comunidades que procuram um estilo de vida ambiental, econômica e socialmente sustentável. Uma questão prioritária nesses assentamentos é o saneamento básico, principalmente a qualidade da água utilizada para consumo e o tratamento de efluentes (VIEIRA, 2014). No âmbito de tratamento de esgoto, devido à proposta do local, tecnologias com viés ambiental são mais apropriadas.

Uma solução indicada para o tratamento de efluentes domésticos, que é sustentável, é a utilização dos Sistemas Alagados Construídos (SAC's), também conhecidos por terras úmidas construídas, zona de raízes ou filtros plantados com macrófitas (SEZERINO et al., 2015). No Brasil, esses sistemas têm sido comumente chamados de *Wetlands* Construídos (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). Como na literatura são utilizados vários termos para representar esses tipos de sistemas, para esse projeto de Trabalho de Conclusão de Curso, serão considerados os termos *Wetlands* Construídos ou Sistemas Alagados Construídos para a descrição do sistema utilizado para o tratamento de esgoto.

Dentro desse contexto, o trabalho apresenta como foco o desenvolvimento do projeto de um sistema de tratamento de esgoto doméstico empregando *Wetlands* Construídos em uma Ecovila em Brumadinho, Minas Gerais. A escolha pelo sistema também se deu pelo fato do local onde pretende-se desenvolver o projeto se encontrar em uma área rural, afastada do núcleo urbano, apresentando dificuldade da incorporação de sistemas centralizados, mais comumente utilizados no Brasil.

Além disso, pode-se destacar que os *Wetlands* Construídos representam uma tecnologia ainda pouco estudada no Brasil, mas em ascensão, apesar dos evidentes benefícios, tais como: baixo custo de implantação e operação do sistema, facilidade de operação, eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e nutrientes em solução (MATOS; MATOS, 2017). Outra vantagem apresentada pelo sistema, é que, normalmente, não apresenta efluente final lançado em corpo hídrico receptor, evitando diversos efeitos deletérios a ele, por se tratar de um sistema que utiliza o sistema solo-planta como meio para depuração de nutrientes e matéria orgânica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi desenvolver um projeto de um sistema de tratamento de esgoto doméstico utilizando a técnica de *Wetlands* Construídos, para uma Ecovila, localizada no município de Brumadinho, Minas Gerais, em consonância com as legislações ambientais vigentes.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento técnico de informações do local por meio de uma visita *in loco* para determinação dos principais parâmetros de dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto doméstico;
- Definir as características do sistema *Wetlands* Construídos a ser utilizado, com base no referencial teórico;
- Desenvolver o memorial de cálculo e dimensionamento hidráulico das estruturas que compõem o sistema;
- Elaborar o orçamento necessário para implantação do sistema.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Esgotamento Sanitário no Brasil

O saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição brasileira. Segundo a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que tem como uma das diretrizes aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no país, saneamento básico é um conjunto de infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020).

No âmbito de esgotamento sanitário, a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, estabelece qual a sua definição:

Constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente (BRASIL, 2020).

Em relação ao histórico de esgotamento no Brasil, os primeiros relatos ocorreram no período colonial, onde não tinha um sistema, e sim, consistia em serviços de escravos, denominados “tigres”, que eram encarregados de eliminar os dejetos gerados nas residências (MARQUES, 1995). Ações de políticas públicas começaram a surgir a partir de meados do século XIX, com projetos higienistas que tinham por objetivo sanar os problemas enfrentados com doenças de veiculação hídrica, iniciando assim os processos para a construção de sistemas de esgotamento sanitário (REZENDE; HELLER, 2002).

Várias ações foram feitas desde então para chegar no cenário de esgotamento sanitário atual. Ainda assim, existem vários municípios que lançam esgoto em corpos hídricos sem tratamento prévio (VON SPERLING, 2005). Tal contexto causa sérios problemas de saúde pública, bem como a depreciação dos cursos d’água do país, prejudicando a disponibilidade hídrica que já é escassa (ABES, 2008).

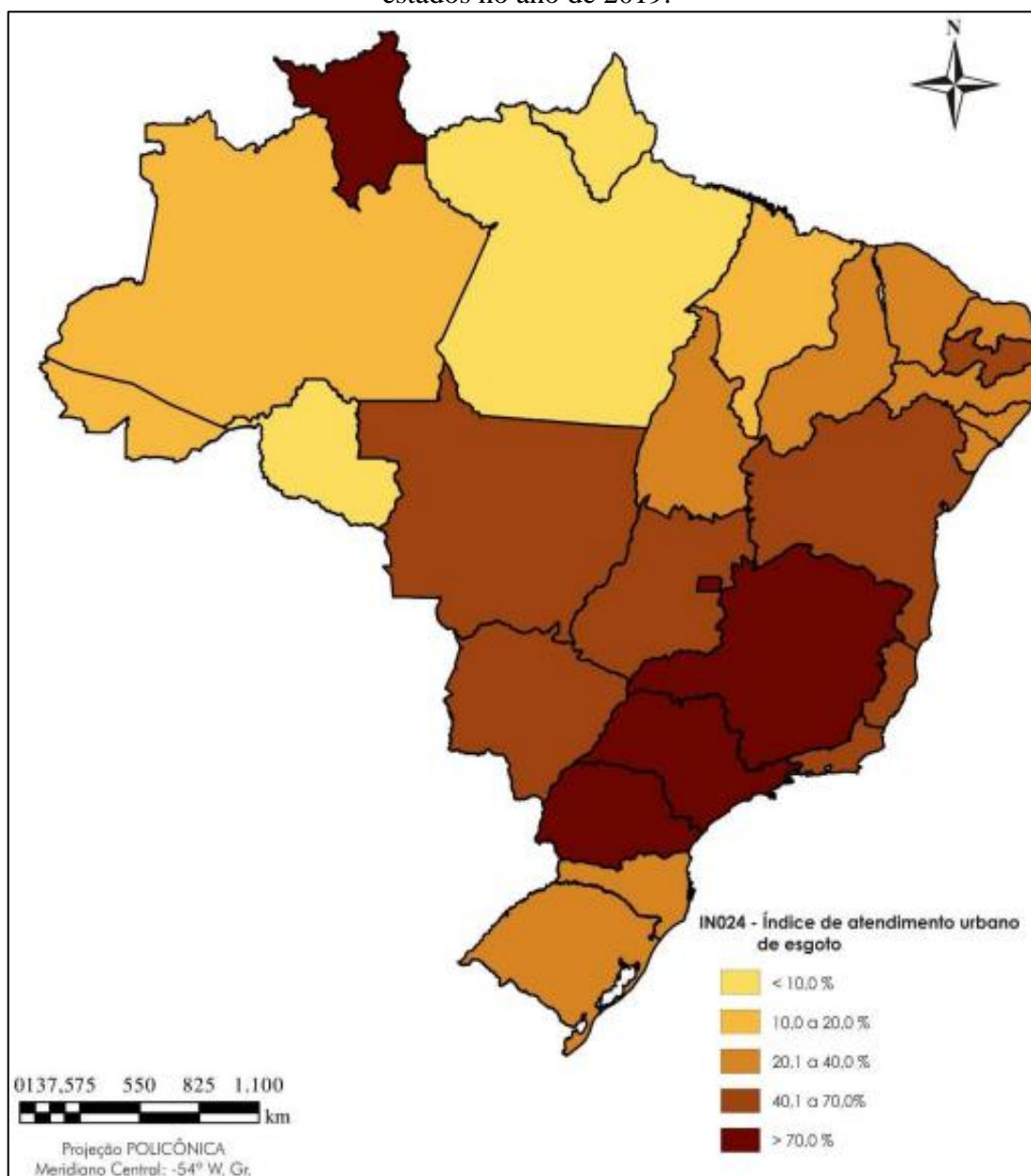
No Brasil, de acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), que divulgou através do Atlas Esgotos informações sobre a situação do esgotamento sanitário no país, 55% da população brasileira possui tratamento considerado adequado, sendo esse considerado esgoto coletado e tratado ou o uso de fossas sépticas. Além disso, 27% não possuem coleta nem tratamento.

Como o acesso ao esgotamento sanitário é um direito de todo cidadão brasileiro, a universalização desse serviço de saneamento básico é um dos princípios fundamentais a ser cumprido (ABONIZIO, 2017). Isso é um desafio nacional, principalmente devido à assimetria da cobertura desses serviços na zona rural e na zona urbana, e também entre as diferentes regiões do país. Segundo informações divulgadas pelo Ministério das Cidades no Plano Nacional sobre Saneamento Básico – PLANSAB (2018) referentes ao ano de 2016, para a coleta de esgoto, apenas 22,5% de domicílios são atendidos por uma rede na zona rural, em contrapartida, na zona urbana esse índice de cobertura é de 79,5% dos domicílios.

3.2 Esgotamento Sanitário em Minas Gerais

De acordo com Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do Ministério das Cidades (2019), Minas Gerais apresenta índice médio de atendimento urbano com rede coletora de esgotos com valores acima de 70%, juntamente com os estados de São Paulo, Paraná, Roraima e Distrito Federal. A Figura 3.1 representa o mapa com o índice médio de atendimento urbano por rede coletora de esgotos de todos os estados brasileiros, e contém esse resultado.

Figura 3.1 - Mapa do índice médio de atendimento urbano por rede coletora de esgotos dos estados no ano de 2019.



Fonte: Ministério das Cidades (2019).

Outro fato relevante em relação ao saneamento do estado de Minas Gerais, é que, segundo o Ministério das Cidades (2017), dos 853 (oitocentos e cinquenta e três) municípios presentes em Minas Gerais, apenas 231 (duzentos e trinta e um) possuem Planos Municipais de Saneamento Básico – PMSB implementados, o que corresponde a apenas 27% do total. Esse instrumento tem como objetivo regulamentar a Lei federal 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

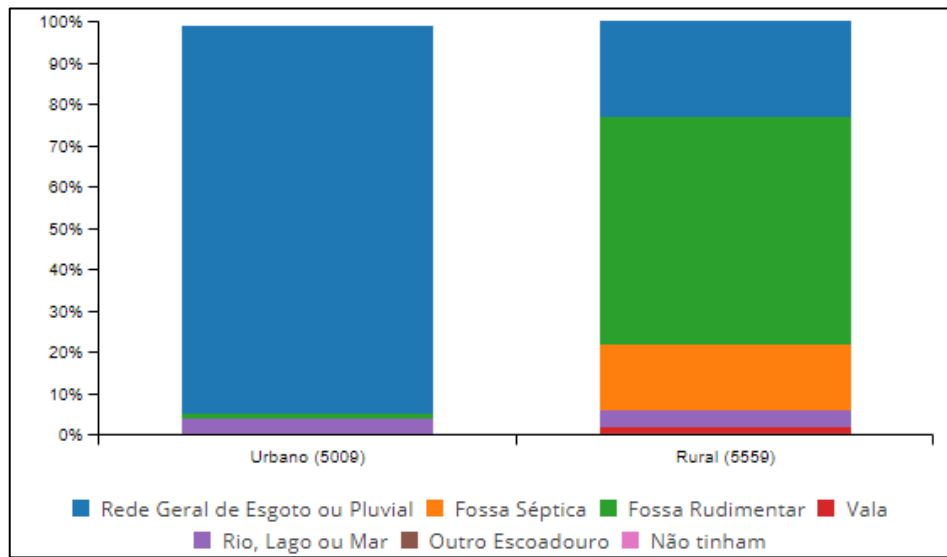
3.3 Esgotamento Sanitário em Brumadinho

De acordo com um levantamento de dados realizado em 2008, mais da metade, cerca de 61%, da população brumadinhense, possuía rede de esgoto, sendo 87% desses na zona urbana do município. Nos locais onde essa rede é inexistente, há métodos mais adequados de coleta e tratamento dos efluentes, como as fossas sépticas, e outras alternativas que não são adequadas, como as fossas rudimentares, valas e lançamentos direto nos cursos d'água (BRUMADINHO, 2015).

Segundo o Plano de Desenvolvimento Municipal de Brumadinho de 2006, a situação de esgotamento sanitário no município não está sanada e fica em segundo plano em relação ao abastecimento de água. A população que não tem acesso às redes coletoras e não utilizam as fossas sépticas, utilizam, em sua maioria, as fossas rudimentares ou de buraco para o afastamento de seus esgotos. Tal situação compromete diretamente os cursos d'água da região (CMBRUMADINHO, 2006).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE, em 2010, a Figura 3.2 representa a distribuição das formas de esgotamento sanitário nas zonas consideradas urbanas e rurais de Brumadinho (IBGE 2010). Conforme o gráfico, na zona urbana, cerca de 94% é atendida por rede geral de esgoto, mas há uma parcela (cerca de 5%) que ainda lança o esgoto em curso d'água, sem prévio tratamento. Já nas áreas rurais, essa situação se agrava, pois a maioria, cerca de 60% utiliza-se da fossa rudimentar como forma de esgotamento sanitário, que consiste em lançar no solo sem tratamento prévio, o que não é ambientalmente correto.

Figura 3.2 - Gráfico com distribuição das formas de esgotamento sanitário nas zonas consideradas urbanas e rurais de Brumadinho.



Fonte: IBGE (2010).

O município possui três Esta es de Tratamento de Esgotos (ETE): Mirante e Ecológica, e uma construída em 2010. As duas primeiras são de propriedade privada, localizadas no condomínio Retiro das Pedras, mas possuem um contrato com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), e são ambas um sistema de fossa séptica seguida de filtro anaeróbio. A terceira trata biologicamente efluentes domésticos e pluviais a partir da digestão anaeróbia, com um tratamento primário que consiste na gera o de col nias de bactérias, seguida pela filtra em biológica e aera o (BRUMADINHO, 2015).

Um fato importante que ocorreu em Brumadinho que   válido citar é o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, da mineradora Vale S.A., que aconteceu no dia 25 de janeiro de 2019, causou grande destrui o e danos à comunidade e ao meio ambiente. Após o acontecimento foi necessário que a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE, 2019) fizesse um relatório situacional sobre os impactos do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho-MG na presta o dos serviços de saneamento básico. Segundo o relatório, apesar dos grandes impactos causados pelo ocorrido, o sistema de esgotamento sanitário não foi comprometido pelo rompimento da barragem.

3.4 Caracterização do Efluente

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto sanitário ou efluente sanitário é definido como “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, assim como água de infiltração e a contribuição pluvial”.

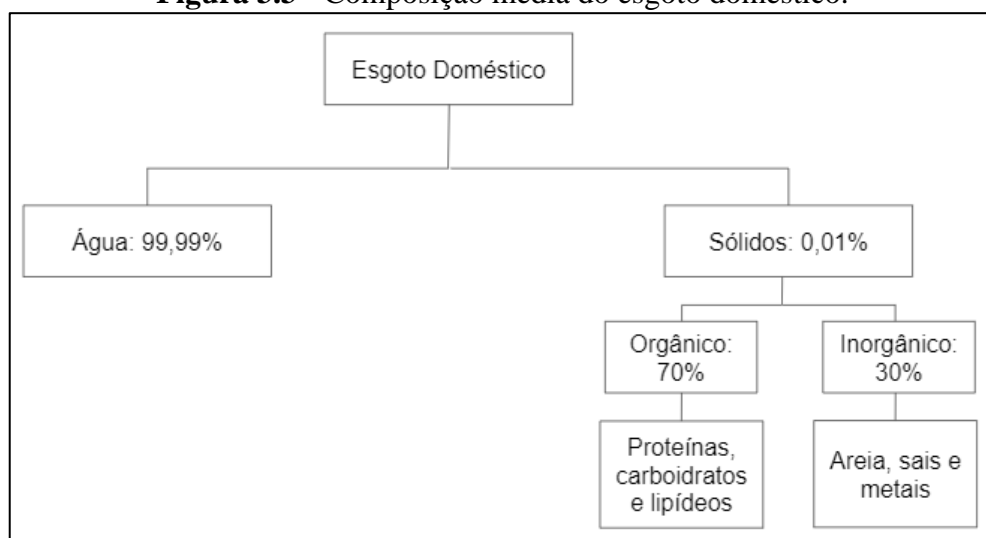
Como o objeto de estudo será o esgoto doméstico gerado na Ecovila, esse terá maior ênfase nesse estudo.

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde - Funasa (FUNASA, 2020):

O esgoto doméstico é aquele que provem principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõem-se essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

Em linhas gerais, os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e uma fração de 0,1%, correspondentes aos sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e microrganismos. Devido à essa fração de 0,1% de materiais sólidos, é que se torna necessário o tratamento dos esgotos domésticos (JORDÃO; PESSOA, 2017; VON SPERLING, 2005). A composição do esgoto doméstico está retratada resumidamente na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Composição média do esgoto doméstico.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014).

Apesar da composição de sólidos ser muito pequena, de 0,1% ela pode contaminar os cursos d'água e trazer impactos ambientais, o que torna necessário seu tratamento antes de ser lançado (CASTRO et al, 1995; VON SPERLING, 2005).

Em relação aos demais parâmetros que caracterizam os esgotos domésticos, será dado um destaque aos parâmetros físicos e químicos, incluindo valores típicos de concentrações encontradas, abordados nas legislações federal e estadual, que apresentam os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores.

Dentre essas legislações, destacam-se: a Resolução CONAMA n° 357/2005, a Resolução CONAMA n° 430/2011 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008. Na Tabela 3.1, são apresentados os valores típicos de concentração encontrados para os principais parâmetros que caracterizam os esgotos domésticos, abordados nas legislações que tratam sobre o tema de padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores.

Tabela 3.1 - Valores típicos de parâmetros encontrados nos esgotos domésticos.

Parâmetro	Faixa	Valor Típico
DQO (mg/L) ¹	400 – 800	700
DBO ₅ 20°C (mg/L) ²	200 – 500	350
Oxigênio dissolvido (mg O ₂ /L)	0	0
Nitrogênio amoniacal (NH ₃ -N/L)	20 – 40	30
Fósforo (mg P/L)	5 – 25	14
pH ³	6,5 - 7,5	7
Sólidos suspensos (mg/L)	200 – 450	400
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	10 – 20	15

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

¹ DQO – Demanda Química de Oxigênio;

² DBO₅ 20° C – Demanda Bioquímica de Oxigênio do 5° dia determinada a 20° C;

³ pH - Potencial Hidrogeniônico

Algumas características dos efluentes domésticos que são importantes de serem citadas são: temperatura, que é um pouco superior a das águas de abastecimento; o odor, que fica cada vez mais fétido com o tempo, devido aos gases, como o sulfídrico, que são formados no processo de decomposição; e a cor, que no período inicial tem uma tonalidade acinzentada e com o tempo passa a ser tornar preta (FUNASA, 2020).

Conforme já dito, os efluentes domésticos têm um potencial poluidor muito grande, sendo necessário normas e leis para fiscalização do lançamento desses em corpo hídrico e solo. A seguir são apresentadas as principais legislações que tratam sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, sobre os principais padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, de caráter federal e estadual, tais como: a Resolução CONAMA n° 357/2005, a Resolução CONAMA n° 430/2011 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

3.5 Legislações Ambientais Pertinentes no Âmbito de Tratamento e Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos Receptores

Sabe-se da importância em conhecer e aplicar os padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos, com o intuito de preservá-los, e assim, garantir qualidade de vida a todos.

No Brasil, há normas e padrões para o lançamento de efluentes em um determinado corpo d'água. Para isso, existem leis, decretos e resoluções em âmbito federal, estadual e municipal, sendo que, geralmente, elas estão em ordem das menos restritivas para mais restritivas (TENEDINI, 2016).

Em âmbito nacional, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) n° 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005).

Além disso, a Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011 complementa e altera algumas diretrizes da Resolução n° 357, e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, fixando valores de concentração de parâmetros orgânicos e inorgânicos a serem obedecidos por qualquer fonte poluidora que lance seus efluentes diretamente em corpos receptores (BRASIL, 2011).

Em relação às deliberações estaduais, elas são, geralmente, mais exigentes quanto à qualidade do efluente a ser lançado no curso d'água, mas levam em consideração as singularidades dos estados, como a qualidade dos mananciais, a vazão e disponibilidade hídrica condições climáticas, entre outros fatores (MORAIS; SANTOS, 2019)

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta que dispõe sobre o padrão de lançamento de efluente, entre outras diretrizes, como o enquadramento dos corpos hídricos mineiros, é a DN COPAM/CERH nº 1, de 5 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008). Há municípios que não possuem normas técnicas ou leis que determinam parâmetros de lançamento, sendo necessário recorrer às estaduais. Em consulta à prefeitura, Brumadinho é um desses casos.

De acordo com a DN COPAM/CERH 01/2008, esse enquadramento das águas doces estaduais é feito levando em consideração os seus usos e as condições ambientais dos corpos de água, e é dividida em cinco classes: Classe Especial, Classe I, Classe II, Classe III e classe IV, em ordem de maior para menor qualidade (MINAS GERAIS, 2008). Para cada uma das classes tem um critério de lançamento de efluentes, respeitando a sua capacidade de autodepuração e sua preservação.

Entretanto, esse enquadramento, geralmente, é feito em rios principais e importantes, não chegando ainda em nível de pequenas e microbacias (IGAM, 2010; ANA, 2011).

De acordo com o artigo 42 da Resolução CONAMA nº 357/2005:

Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente (BRASIL, 2005).

O destaque do art. 42 da Resolução Conama 357/2005 se dá, devido à importância de retratar a classe de enquadramento do corpo hídrico receptor do efluente final da estação de tratamento de esgoto que será proposta para este trabalho de conclusão de curso, já que, não foram encontradas informações acerca do corpo hídrico existente no local onde pretende-se desenvolver o projeto. Portanto, será considerado inicialmente que o corpo hídrico existente na propriedade, pertence à classe 2 (água doce). Na Tabela 3.2 são apresentados alguns parâmetros importantes referentes aos padrões de lançamento de efluentes para a classe 2 (água doce),

seguindo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Tabela 3.2 - Padrões de lançamento de efluentes para corpos hídricos de água doce Classe 2 em Minas Gerais.

Parâmetro	Padrões de lançamento
Sólidos em Suspensão Totais	100 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	60 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70%
Temperatura	40°C
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	180 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65%
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Entre 6 e 9
Nitrogênio Amoniacal Total	20,0 mg/L
Materiais Sedimentáveis	1 mL/L

Fonte: MINAS GERAIS (2008).

Conforme abordado, levando em consideração os valores típicos de parâmetros encontrados nos esgotos domésticos e os padrões de lançamento, os efluentes precisam passar por um tratamento a fim de serem considerados em conformidade com a legislação, e existem vários níveis de tratamento.

3.6 Níveis de Tratamento de Efluente

O processo de tratamento de efluentes passa por várias etapas, a fim de se obter um efluente final desejável para lançar no corpo hídrico. Os níveis de tratamento são: preliminar, primário, secundário e terciário, lembrando que um tipo de tecnologia pode desempenhar o papel em uma ou mais etapas (JORDÃO; PESSOA, 2017).

O Tratamento Preliminar tem por objetivo a remoção de areia e sólidos grosseiros, que é realizado através de gradeamentos, desarenador e medidor de vazão. Essa etapa visa garantir a proteção de dispositivos de transporte dos esgotos que serão utilizados nas etapas posteriores, como as tubulações e bombas (VON SPERLING, 2014).

Já o tratamento primário tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis e uma parte da matéria orgânica em suspensão que se encontram no efluente. É um processo caracterizado pela remoção de partículas maiores, e que, através de ação física, separam-se dos líquidos. Há várias tecnologias que compreendem essa etapa, entre elas os decantadores (VON SPERLING, 2005).

O tratamento secundário, em contrapartida, visa estabilizar a matéria orgânica por mecanismos biológicos, para isso microrganismos como bactérias, protozoários, fungos, algas e plantas são envolvidas no processo. Nessa etapa podem ser envolvidos dois tipos de sistema: aeróbios, com presença de oxigênio ou anaeróbios, sem presença de oxigênio (VON SPERLING, 1996).

Os sistemas aeróbios tentam imitar o processo de autodepuração que acontecem nos sistemas aquáticos naturais. A vantagem desse tipo de sistema é a alta velocidade de degradação dos poluentes, porém os pontos fracos são a produção excessiva de biomassa e, em alguns, é necessária aeração mecânica. Exemplos de sistemas aeróbios são: lagoas aeradas, os lodos ativados e os filtros biológicos (SANT'ANNA JR., 2010).

Já nos sistemas anaeróbios, os microrganismos degradam a matéria orgânica com a ausência do oxigênio, sendo que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no efluente é transformado em metano. Entre as vantagens desse sistema estão o baixo custo e baixos requisitos de área, porém, dependendo do tipo a remoção de nutrientes e patógenos é insatisfatória, sendo necessário um pós-tratamento (CHERNICHARO, 1997).

Por último, o tratamento terciário envolve a remoção de componentes específicos ou a remoção complementar de poluentes não removidos no tratamento secundário. Esses envolvem nutrientes, como Nitrogênio e Fósforo, e a desinfecção do esgoto tratado, ou seja, remoção de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2005).

Essa etapa do tratamento é pouco comum nas Estações de Tratamento de Efluentes brasileiras, pois exige maior complexidade operacional e maiores custos com energia e insumos. Exemplos dessa etapa são lagoas de maturação e técnicas artificiais, como cloração, ozonização, radiação ultravioleta e membranas (VON SPERLING, 2005).

Uma das tecnologias que vem se destacando no tratamento de efluentes é o sistema alagado construído, ou *Wetland* Construído, que, segundo Phillip e Sezerino (2004), é um tipo de

sistema de tratamento de efluente que se enquadra em tratamento secundário e terciário de esgotos.

3.7 Wetlands Construídos

Wetlands Construídos ou Sistemas Alagados Construídos (SAC's) são uma tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos encontrados em ecossistemas das várzeas naturais. Exemplos desses sistemas naturais alagados são os brejos e pântanos, que foram usados como inspiração, pois mantêm as águas que percorrem por elas depuradas. *Wetlands* construídos, portanto, podem ser classificados como um sistema natural, e, então, consiste em um complexo que tem a interação do plantio de macrófitas, com o meio suporte e com a população microbiana presente no meio filtrante (SEZERINO, 2014).

Esse tipo de sistema é uma tecnologia autossustentável, que pode ser utilizada de forma a atender diferentes demandas e uma grande variedade de efluentes, além de poder ser integrado de forma não agressiva ao ambiente e ter baixo custo energético (SABEI; BASSETTI, 2013). Nos SAC's todos os elementos funcionam simultaneamente, e o tratamento depende de diversas variáveis, como o de escoamento, o tipo de macrófita, o tipo de meio suporte e o tipo de efluente a ser tratado (USEPA, 1999).

Devido aos diversos benefícios que esse sistema pode trazer, os *Wetlands* Construídos vêm se revelando uma boa alternativa aos sistemas convencionais mecanizados (ALMEIDA et al., 2005). Essa tecnologia possui baixo custo de instalação, operação e manutenção e uma alta eficiência na remoção de cargas orgânicas, sólidos sedimentáveis e nutrientes solúveis, além de fornecer benefícios indiretos, como área verde e habitats para a vida selvagem (DOTRO et al., 2017).

O sistema de tratamento *Wetlands* tem como vantagem o reúso não potável do efluente tratado, a conversão do lodo em composto orgânico e a dispensa do uso de produtos químicos,. Além disso, por se tratar de uma tecnologia passiva, o sistema tem como benefício o consumo energético reduzido se comparado às ETEs e a segurança operacional (BARRETO, 2016).

No tratamento de esgotos domésticos, os SAC's têm sido eficientes como uma etapa de polimento de vários sistemas de tratamento de esgotos, principalmente para a remoção complementar da matéria orgânica e de sólidos, e essa remoção pode variar dependendo dos elementos empregados no sistema (COSTA et al., 2018).

Em sistemas individuais ou unifamiliares, cuja geração envolve efluentes domésticos, Von Sperling e Sezerino (2018) indicam um pré-tratamento à montante do sistema alagado construído, que removerá sólidos sedimentáveis, permitindo uma melhor eficiência do sistema como um todo. Essa unidade é geralmente representada por tanques sépticos, que chamam a atenção pelo seu baixo custo e grande eficiência, e por ser um sistema mais simples (COLARES; SANDRI, 2013; GOMES, 2015).

Entre as limitações da tecnologia de Wetlands estão: a requisição de maiores quantidade de área para a instalação do sistema; a necessidade de manejo das macrófitas; a possibilidade da presença de vetores e de odores fétidos, que podem ser minimizados de acordo com o tipo de fluxo utilizado; e a necessidade de manutenção periódica a fim de evitar entupimentos e aumentar a vida útil do sistema (REZENDE et al., 2021).

3.8 Histórico das *Wetlands*

O sistema *Wetlands* Construídos começou a ser empregado efetivamente na Idade Contemporânea, em meados da década de 1950 no mundo, e iniciou na Alemanha por Kathe Seidel. A tecnologia foi utilizada no Instituto Max Planck para remoção de nutrientes e carga orgânica em efluentes de laticínios. (KADLEC; KNIGHT, 1996). Desde então, o sistema é amplamente empregado nos Estados Unidos, na Europa e África, entre outros locais pelo globo, por ser realizar o tratamento de diferentes efluentes (BRASIL, M., 2005).

No Brasil, os primeiros estudos relacionados com sistemas alagados construídos foram feitos por Salati e Rodrigues (1982), com experimentos em Piracicaba, no Estado de São Paulo.

A utilização dos *Wetlands* construídos se popularizaram por todo Brasil por volta do início do século 21. E, desde então, experimentações foram feitas com sistemas alagados construídos, utilizando diferentes tipos de efluentes, sob diferentes arranjos de meio suporte e macrófitas (SEZERINO et al., 2015).

A seguir, na Tabela 3.3, serão apresentadas algumas dessas experimentações, com informações como ano de publicação, tipo de macrófita utilizada, eficiência, informações que irão corroborar para a escolha do sistema a ser utilizado.

Tabela 3.3 – Experiências científicas com sistema de Wetlands Construídos.

Autor (ano)	Unidade à montante	Tipo	Macrófita	Meio Suporte	Eficiência de remoção de DBO
CALIJURI et al. (2009)	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB)	WFS	<i>Typha spp.</i>	Brita 0 e 1	87%
MOURÃO et al. (2015)	-	WCFH	<i>Cyperus Papiros Nano</i>	Cerâmica	92%
PITALUGA et al. (2013)	Tanque Séptico	WCFH	<i>Hedychium coronarium</i> e <i>Typha spp.</i>	Brita 1	90,7%
TREIN et al (2015)	Reator Aneróbio Compartimentado (RAC)	WCFV	<i>Cyperus papiros nano</i>	Areia	97%

Fonte: Autoria própria, 2021.

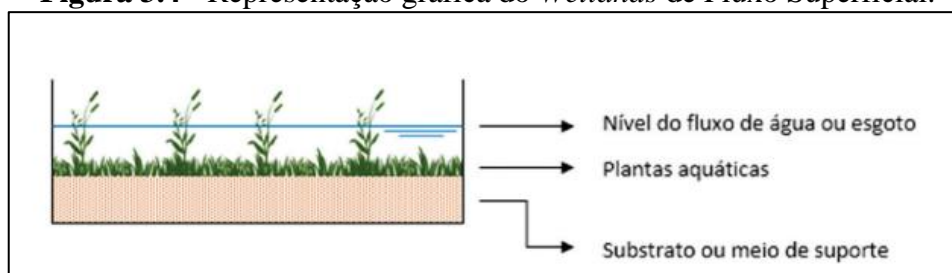
3.9 Tipos de Wetlands

Existem dois tipos principais de *Wetlands* construídos, cuja classificação é feita de acordo com o nível de coluna d'água. São eles: *Wetlands* de Fluxo Superficial (WCFS) e as de fluxo subsuperficial (WCFSS), sendo esta última dividida em fluxos subsuperficial horizontal (WCFH) ou vertical (WCFV), dependendo da direção do fluxo do fluido (SUBTIL, 2018).

3.9.1 *Wetlands* de Fluxo Superficial - WFS

Os *Wetlands* de Fluxo Superficial são caracterizados pela distribuição do aflente homogeneamente na superfície do leito e com alimentação contínua, que esco horizontalmente e superficialmente, ou seja, acima da superfície, e com baixa velocidade. Nesse sistema o efluente tratado é coletado por tubulações de drenagem situadas na parte inferior do material suporte (SUBTIL, 2018).

A representação do *Wetlands* de Fluxo Superficial se encontra na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Representação gráfica do *Wetlands* de Fluxo Superficial.

Fonte: Sanchez (2017).

Esse tipo de sistema tem a desvantagem de atração de vetores e geração odores, pois o efluente flui acima da superfície. Entretanto isso faz com que tenha maior oxigenação e exposição de raios solares, havendo assim uma eficiência de diminuição de patógenos no efluente (MONTEIRO, 2009).

O tratamento é realizado através dos processos de sedimentação, filtração, oxidação, redução, adsorção e precipitação. O sistema é considerado tratamento secundário e terciário, sendo necessário um pré-tratamento, oriundos de lagoas, filtros biológicos percoladores, lodos ativados, entre outros (KADLEC e WALLACE, 2008; USEPA, 2000).

Nos *Wetlands* de Fluxo Superficial, as macrófitas a serem utilizadas no sistema podem ser flutuantes, submersas ou emergentes, sendo mais versátil. Entretanto, caso não tenha substrato, sendo possível nesse sistema ter ou não, usa-se somente macrófitas aquáticas flutuantes, destacando-se o Agupapé nesse tipo de sistema. (SUBTIL, 2018).

3.9.2 Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial (WCFSS)

Nos *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial o fluxo pode ocorrer de forma horizontal (*Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Horizontal – WCFH) ou verticalmente (*Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Vertical – WCFV). O efluente a ser tratado fica abaixo do nível do substrato, permanecendo somente em contato apenas com as raízes das plantas. As macrófitas ideais para esse sistema são as macrófitas emergentes (SUBTIL, 2018).

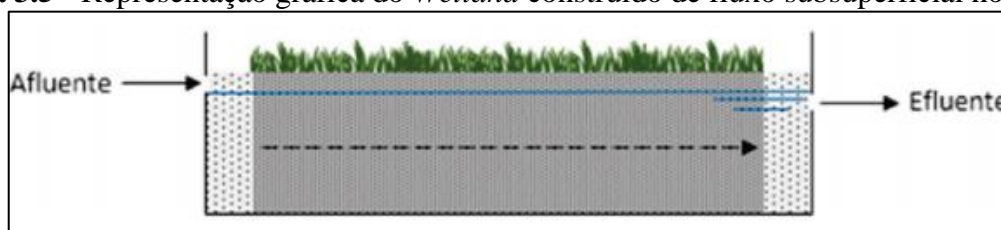
Nos *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial WCFSS o líquido escoar por gravidade através do meio suporte e flui até a zona de saída impulsionada por uma inclinação de fundo definida no projeto. Os *Wetlands* de Fluxo Subsuperficial são apropriados para receber efluentes de tanques sépticos e reatores anaeróbios (USEPA, 2000).

3.9.2.1 Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal – WCFH

Nos *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Horizontal o efluente é drenado pela gravidade de maneira horizontal até a zona de saída (SEZERINO et al., 2018), e, de acordo com Dornelas (2008) muitas unidades são construídas com um fundo inclinado de 0,5 a 1%, assegurar o fluxo subsuperficial no leito.

A representação do *Wetlands* de Fluxo Subsuperficial Horizontal se encontra na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Representação gráfica do *Wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal.



Fonte: Sanchez (2017).

Esse tipo de sistema é considerado um tratamento secundário de esgoto sanitário com foco na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Embora não seja obrigatória uma etapa preliminar, recomenda-se a remoção de partículas grosseiras e sólidos sedimentáveis previamente, a fim de prolongar a vida útil do sistema (SUBTIL, 2018).

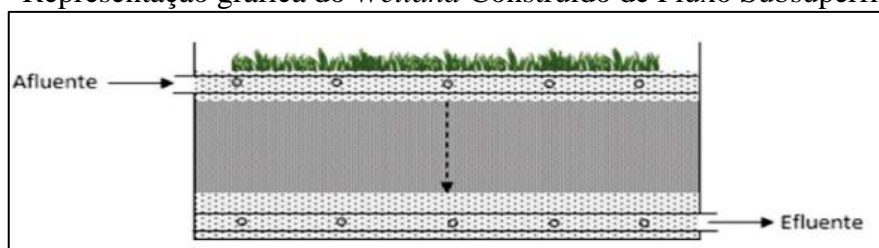
As unidades desses sistemas podem ser operadas em regime de fluxo contínuo, intermitente ou até mesmo em batelada, e as macrófitas mais utilizadas nesse tipo de *Wetlands* são as espécies *Typha sp.* (Taboa) e *Eleocharis sp.* (Junco) (SUBTIL, 2018).

3.9.2.2 *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Vertical – WCFV

Nos *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Vertical o efluente percola verticalmente o sistema de forma ascendente ou descendente, sendo que o mais usual é o descendente, e é coletado no fundo por meio tubulações (AGUIAR, 2020).

A representação do *Wetlands* de Fluxo Subsuperficial Vertical se encontra na Figura 3.6.

Figura 3.6 - Representação gráfica do *Wetland* Construído de Fluxo Subsuperficial Vertical.



Fonte: Sanchez (2017).

Nesse sistema a aplicação de esgoto de forma intermitente é mais eficiente, pois contribui para evitar obstrução do filtro e na aeração, o que proporciona o processo de nitrificação, além da oxidação da matéria orgânica. O uso de tubos de aeração no sistema também é indicado (SEZERINO et al., 2018).

É considerado como tratamento terciário, principalmente na remoção de nutrientes, dando destaque para Nitrogênio. Portanto, é necessário um tratamento secundário, para remoção de

matéria orgânica e sólidos suspensos. As macrófitas empregadas nesse sistema podem ser desde plantas vasculares, como, por exemplo a Taboa, e até algas (SUBTIL, 2018).

3.10 Elementos Constituintes do Sistema de *Wetlands*

Nos sistemas alagados construídos existem vários elementos constituintes que influenciam no desempenho de remoção de poluentes. Entre eles estão: o tipo de material filtrante, da macrófita e os microrganismos, sendo que esses últimos não são escolhidos pelo projetista igual aos demais (AGUIAR, 2020).

O meio suporte tem diversas finalidades nos sistemas alagados construídos, como por exemplo sustentação para as macrófitas, desenvolvimento e aderência do biofilme, filtração do efluente e no aumento da retenção hidráulica (SEZERINO et al., 2018).

Para a escolha do meio filtrante deve-se levar em consideração materiais economicamente viáveis, para não encarecer o projeto, além de optar por materiais que são facilmente encontrados, de preferência no local de instalação do sistema. Os meios suportes mais usualmente utilizados são: areia, brita ou solo. Dependendo da opção utilizada, pode haver a colmatação do sistema, situação indesejável que significa que houve redução na porosidade, o que prejudica o funcionamento do sistema (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Em relação às macrófitas, elas são plantas que têm características fisiológicas que possuem importantes funções no tratamento dos efluentes (TANNER, 2001). Nos sistemas alagados construídos as macrófitas utilizadas são: as macrófitas aquáticas flutuantes, macrófitas emergentes e macrófitas submersas (SILVEIRA, 2018).

As macrófitas flutuantes ficam com as folhas acima da superfície, e são muito utilizadas em canais longos, estreitos e rasos, podendo ser associadas a outras espécies no tratamento. (SILVEIRA, 2018). São exemplos desse tipo de planta: Lemna, Azola, Pistia, Salvinia e Aguapé. Essas plantas, pela facilidade de retirá-las, permitem uma renovação constante, melhorando a eficiência do sistema ao longo do tempo (VITORINO et al., 2010).

Já as macrófitas emergentes são plantas aquáticas cujas raízes ficam no meio suporte com parte do caule e folhas submergidos na água, são mais comuns em canais longos. São exemplos desse tipo de planta: Papiros, Juncos, Lírios, Taboas e Palmas (VITORINO et al., 2010).

Além disso tem as macrófitas submersas, que são as plantas aquáticas que vivem completamente abaixo da água, e que são comumente empregadas em canais estreitos e longos. As macrófitas Elódea e Cabomba são exemplos (VITORINO et al., 2010).

Dentre as funções das macrófitas dentro do sistema estão: a assimilação de nutrientes e sólidos presentes nos efluentes, complementação da oxigenação do meio, e suas raízes dão suporte à criação dos biofilmes de bactérias (CAMPOS, 1999).

As plantas devem ter um manejo adequado, a fim de melhorar a eficiência do sistema. Geralmente são plantadas quatro mudas por metro quadrado. Porém, isso pode variar por espécie, e indica-se o corte à medida que o tempo passa, para potencializar o tratamento do efluente (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho é um estudo de caso, que consiste em um método de pesquisa, que, por meio de dados qualitativos, é possível compreender ou explorar alguns ou apenas um objeto de estudo, e, através disso, fornece conhecimento profundo sobre esses ou esse (EISENHARDT, 1989; YIN, 2009).

Para o desenvolvimento do trabalho foram definidas algumas das etapas a serem seguidas para que o objetivo proposto fosse alcançado.

4.1 Revisão da Literatura

Para a realização do referencial teórico foi feita uma busca sistemática em livros, artigos de revistas e jornais científicos, periódicos, teses, dissertações e homepages de organizações, institutos e associações empresariais relevantes, sobre a temática de saneamento básico, tipos de tratamento de efluentes, legislações vigentes, Ecovilas e sistema de *Wetlands*.

A obtenção do material utilizado ocorreu tanto por meio físico como digital, e esse segundo foi através de periódicos Capes, Google Acadêmico, Scielo, Science Direct e afins.

Além disso, foi necessário a consulta às normas técnicas da ABNT para orientar o dimensionamento do sistema.

4.2 Área de Estudo

A área de estudo corresponde a um terreno localizado em uma região rural de Brumadinho – MG, no bairro Córrego Ferreira, tendo como coordenada geográfica de referência 603.680E / 7.766.731N, através do sistema de projeção Universal Transversal de Mercator – UTM SIRGAS 2000. A seguir tem-se, na Figura 4.1 o mapa da localização da área.

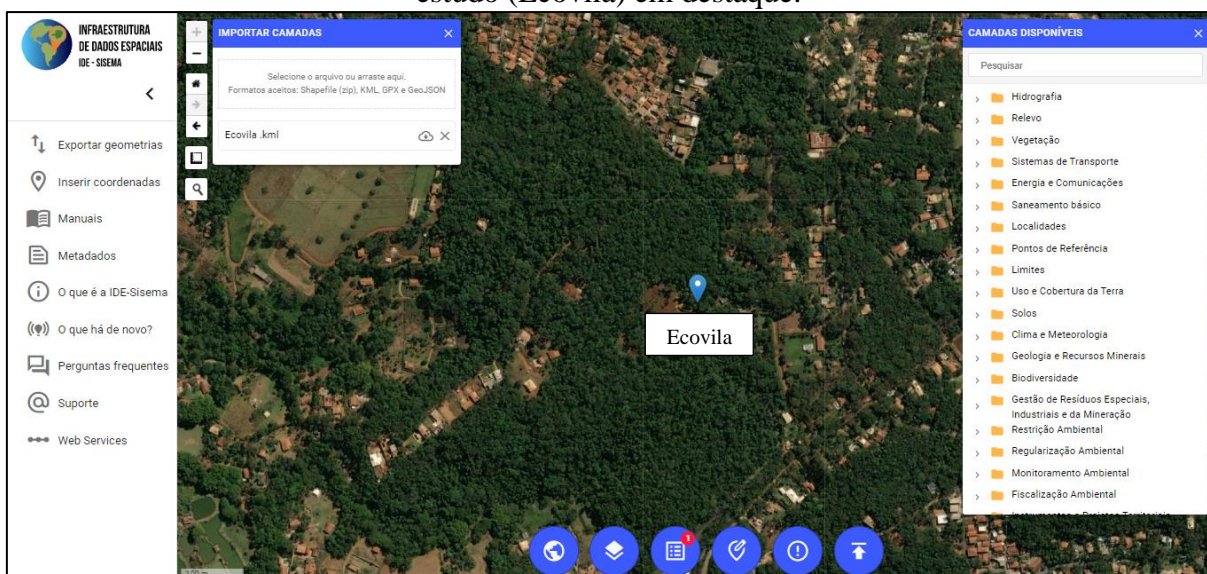
Figura 4.1 - Mapa de localização da Ecovila.



Fonte: GOOGLE (2021).

Para a caracterização da área de estudo utilizou-se a base de dados de camadas geoespaciais da plataforma Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), como relevo, hidrografia, clima, entre outros aspectos que auxiliaram no detalhamento do local (IDE-SISEMA, 2021). Para utilizar a plataforma foi necessário exportar a localização da área através de arquivo no formato KML gerado no Google Earth Pro. Na Figura 4.2, pode-se observar uma imagem ilustrativa da Plataforma IDE-SISEMA com a área de estudo utilizada no trabalho.

Figura 4.2 - Imagem ilustrativa da Plataforma IDE-SISEMA com a localização da área de estudo (Ecovila) em destaque.



Fonte: IDE-SISEMA (2021).

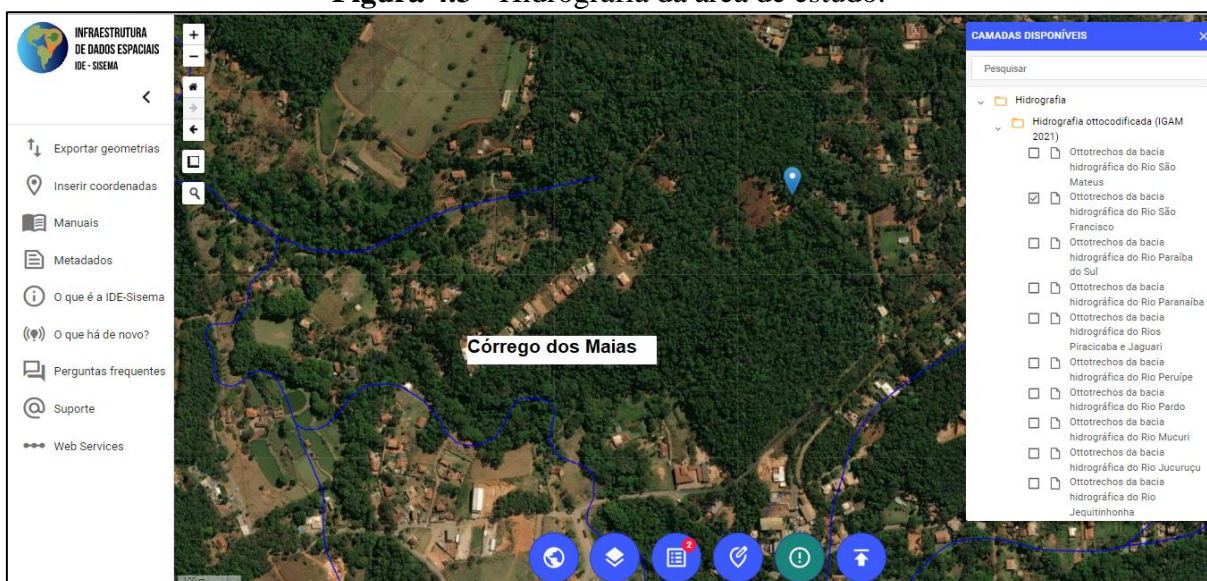
No que diz respeito ao clima regional, a base de dados do IDE-SISEMA utiliza-se da classificação climática desenvolvida por Nimer (1979), e, em relação ao índice de umidade, a classificação de Thornthwaite (1948).

A área de estudo se encontra na Zona Climática Tropical Brasil Central, subquente, com média de 15 e 18 °C em pelo menos 1 mês semiúmido, e de 4 a 5 meses secos e é classificada em relação ao índice de umidade (Im) como B2 – úmido, com índice efetivo de umidade entre 40 e 60. O índice efetivo de umidade é utilizado para determinar quão úmido ou seco é o clima de uma determinada região, através da combinação dos valores de evapotranspiração potencial, do excedente e do déficit hídrico do balanço da área.

Em relação ao relevo a área do estudo localiza-se no Planalto Centro-Sul Mineiro com alguns intervalos de classes altimétricas onde variam, de acordo com as curvas de nível disponibilizadas no IDE-SISEMA, de 900 a 930 metros.

Em se tratar a hidrologia do local, a área está localizada na Bacia do Rio São Francisco e Sub-bacia Rio Paraopeba, com drenagens locais para a sub-bacia do córrego do Córrego dos Maias, conforme mapeamento a seguir, na Figura 4.3 Cabe ressaltar que é necessário a delimitação do terreno para saber se há curso d’água na propriedade, que vai ser validado posteriormente no levantamento técnico de informação no local.

Figura 4.3 - Hidrografia da área de estudo.



Fonte: IDE-SISEMA (2021).

4.3 Levantamento Técnico de Informações no Local

O levantamento técnico de informações é importante na determinação de parâmetros cruciais para o desenvolvimento e definição do sistema de tratamento de esgoto doméstico que será proposto para a propriedade.

Essa etapa consistiu em uma visita *in loco* no dia 12 de novembro de 2021, com o objetivo de entender as peculiaridades do local, tais como: a topografia, o relevo, a distância do curso d'água, instalações sanitárias prediais existentes (tubulações, caixas de gordura, caixas de passagem), e todo tipo de informação que possa contribuir para a escolha do local a ser implementado o projeto.

Além disso, houve a coleta de informações com os dois proprietários da Ecovila, como número total de pessoas que serão atendidas pelo sistema, planta topográfica do local e demais dados que possam auxiliar na realização do projeto.

Para a realização da visita foi necessário um levantamento prévio das informações a serem coletadas em campo e criação de um *checklist* com esses dados, que foi preenchido no dia da visita. Esse checklist se encontra em apêndice, nesse documento (APÊNDICE A – Formulário aplicado na visita).

4.4 Escolha do Sistema

A escolha do sistema foi definida de acordo com uma análise do referencial bibliográfico realizado, e dos dados recolhidos no levantamento de informações realizado através da visita técnica *in loco* na Ecovila no dia 12 de novembro de 2021.

Dentre as variáveis que foram escolhidas estão: o tipo de sistema alagado construído, podendo ser de fluxo superficial, fluxo subsuperficial vertical ou fluxo subsuperficial horizontal; o tipo de meio suporte; o tipo de macrófita; qual pré-tratamento que será utilizado para a execução do projeto; e escolha do local a ser instalado.

É válido ressaltar, que em levantamento bibliográfico básico realizado, foi constatado que no Brasil, vários experimentos realizados utilizavam o sistema de tratamento de esgoto doméstico, dotado de tanque séptico seguido de *Wetlands* Construídos, apresentando eficiências satisfatórias, principalmente na remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e nutrientes.

Na Tabela 4.1 pode-se observar alguns dados referentes à eficiência de remoção de parâmetros para tratamento de esgoto doméstico, apresentados por um sistema de tanque séptico seguido de um *Wetlands* Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.

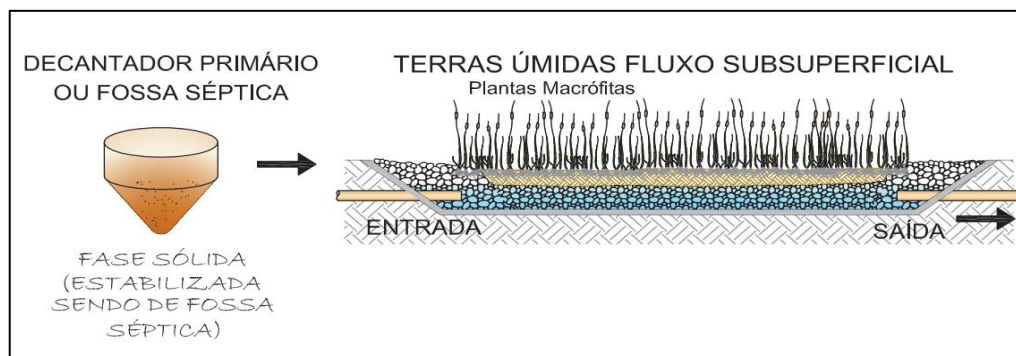
Tabela 4.1 - Eficiência de remoção do sistema tanque séptico seguido de *Wetland* Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.

Parâmetro	Eficiência
DBO _{5,20° C}	>85%
DQO	>80%
Sólidos em suspensão totais	>85%
Nitrogênio amoniacal	>80%
Nitrogênio total	>50%
Fósforo total	>20%
Coliformes termotolerantes	1 a 3 unidades log

Fonte: Von Sperling; Sezerino (2018).

Para o projeto em si, propõe-se um sistema de tratamento dotado de tanque séptico seguido de *Wetlands* Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal. A Figura 4.4 tem a representação do sistema.

Figura 4.4 - Representação de um sistema de tanque séptico seguido de *Wetlands* Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.



Fonte: Von Sperling (2005).

A macrófita a ser utilizada é a do gênero *Typha sp* (Taboa) devido ser de fácil adaptação a ambientes alagados e por ser facilmente encontrada.

4.5 Dimensionamento do Sistema

Para o dimensionamento do sistema foi considerado que todas os chalés da Ecovila possuem caixa de gordura individualizadas.

4.5.1 Dimensionamento do Tanque Séptico

O dimensionamento do tanque séptico foi realizado através da Norma Técnica NBR 7.229/1993. O cálculo do volume do tanque séptico é dado segundo a Equação 4.1:

$$V_{TS} = 1000 + N_{Th} \times (C \times t + k \times L_f) \quad (4.1)$$

Em que:

V_{TS} = volume útil do tanque séptico (L);

N_{Th} = número total de pessoas ou unidades de contribuintes (habitantes);

C = contribuição de despejos (L/habitantes x dia);

t_d = tempo de detenção hidráulico (dia);

k = taxa de acumulação de lodo digerido, equivalente ao tempo de acumulação de lodo (dia);

L_f = contribuição do lodo fresco (L/habitantes x dia).

O cálculo da área superficial do tanque séptico é calculado segundo a Equação 4.2:

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h} \quad (4.2)$$

Em que:

V_{TS} = volume útil do tanque séptico (L);

A_s = área superficial do tanque séptico (m²);

h = altura do tanque séptico (m).

O cálculo das dimensões do tanque séptico pode ser calculado através da Equação 4.3:

$$A_s = B \times L \quad (4.3)$$

Em que:

A_s = área superficial do tanque séptico (m²);

L = comprimento do tanque séptico (m);

B = largura do tanque séptico (m).

4.5.2 Dimensionamento do Wetland Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal

No Brasil, ainda não existem normas técnicas para o dimensionamento de *Wetlands* Construídos no tratamento de águas residuárias. No entanto, pode-se dizer que os principais modelos de dimensionamento de *Wetlands* utilizados no Brasil e recomendados pela literatura internacional, abordam modelos oriundos de cinética de primeira ordem para reatores, relação de área *per capita*, carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica (SEZERINO et al., 2015).

Considerando o processo de cinética de primeira ordem para *Wetlands* de Fluxo Subsuperficial Horizontal, de acordo com Sezerino e Phillip (2004), a área superficial requerida pode ser obtida por meio da Equação 4.4:

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{KT \times p \times n} \quad (4.4)$$

Em que:

A_s = área superficial requerida (m²);

Q = vazão afluente (m³/dia);

C_o = concentração afluente em termos de DBO_{5,20°C} (mg/L ou g/m³);

C_e = concentração efluente em termos de DBO_{5,20°C} (mg/L ou g/m³);

p = profundidade média do filtro (m);

n = porosidade do material filtrante (adimensional);

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d-1).

Sendo que KT é calculado através da Equação 4.5:

$$KT = K_{20} \times (1,06)^{T-20} \quad (4.5)$$

Sendo:

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d-1).

K_{20} = constante de reação a 20°C;

T = temperatura crítica (°C)

Para o cálculo do K_{20} é necessário a utilização da Equação 4.6, a seguir:

$$K_{20} = K_0 \times (37,31 \times n^{4,172}) \quad (4.6)$$

Sendo:

K_{20} = constante de reação a 20°C;

K_0 = constante para meio com biomassa completamente desenvolvida (d-1);

n = porosidade do material filtrante (adimensional);

Para saber as dimensões da *Wetland* Construída, largura e comprimento, é necessário saber o volume útil, e a área da seção transversal.

Para calcular o volume útil utiliza-se a Equação 4.7, a seguir.

$$Vu = As \times p \quad (4.7)$$

Em que:

Vu = volume útil (m^3);

As = área superficial requerida (m^2);

p = profundidade média do filtro (m).

Para o cálculo da área da seção transversal do SAC utiliza-se a Equação 4.8, a seguir.

$$Atu = \frac{Q}{v \times n} \quad (4.8)$$

Em que:

Atu = área da seção transversal da *Wetland* Construída (m^2);

Q = vazão afluente (m^3/dia);

v = velocidade de escoamento (m^2);

n = porosidade do material filtrante (adimensional).

Para o cálculo da largura da *Wetland* Construída é utilizada a Equação 4.9, a seguir.

$$L = \frac{Atu}{P} \quad (4.9)$$

Em que:

L = largura da *Wetland* construída (m);

Atu = área da seção transversal da *Wetland* Construída (m^2);

p = profundidade média do filtro (m).

Já o comprimento da *Wetland* Construída é calculado através da Equação 4.10, a seguir.

$$C = \frac{Vu}{P \times L} \quad (4.10)$$

Em que:

C = comprimento da *Wetland* Construída (m);

Vu = volume útil (m^3);

L = largura da *Wetland* Construída (m);

p = profundidade média do filtro (m).

Além disso, é importante fazer o cálculo do tempo de detenção hidráulica, que é o tempo médio que o efluente permanece no sistema. Esse cálculo é realizado através da Equação 4.11, a seguir.

$$TDH = \frac{Vu \times n}{Q} \quad (4.11)$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulica (dias)

Vu = volume útil (m³);

n = porosidade do material filtrante (adimensional);

Q = vazão afluente (m³/dia).

4.6 Orçamento

Para a realização do orçamento para a instalação do sistema de tratamento foi realizada uma estimativa de custos, levando em consideração materiais e mão de obra.

Para composição desses custos foi utilizado como base o Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), para o estado de Minas Gerais, referente a julho do ano de 2021, e a planilha de preços SETOP da Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Minas Gerais, referente ao mês de outubro de 2021 (SEINFRA, 2021).

Além disso, as precificações não encontradas nas referidas bases foram consultadas no Google, a fim de obter-se uma estimativa de custo do sistema de tratamento proposto nesse trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Levantamento dos Dados *In Loco*

No dia 12 de novembro de 2021 foi realizada uma visita no local de estudo com o intuito de fazer um levantamento de informações dos proprietários da área, assim como um levantamento de informações na área, para avaliar questões importantes e relevantes para o dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes.

Previamente à visita foi realizado um checklist com os dados a serem coletados em campo, e esse se encontra no Apêndice A.

Durante a visita, realizada acompanhada de um dos proprietários, foi realizado o registro fotográfico do local de estudo e de estruturas sanitárias relevantes para o projeto.

A Ecovila conta atualmente com 7 (sete) instalações (estruturas) prediais: 3 (três) chalés construídos; 1 (um) local utilizado como cozinha coletiva; 1 (uma) casa do proprietário, inutilizada no momento; 1 (uma) área utilizada como dispensa; e 1 (um) local em construção, projetado para uma utilização futura de uma área para eventos. Os registros desses são apresentados nas Figuras 5.1 a 5.5, a seguir.

Figura 5.1 - Chalé Laranja da Ecovila.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5.2 - Chalé Azul da Ecovila.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5.3 - Chalé Branco da Ecovila.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5.4 - Cozinha coletiva e casa de um dos proprietários



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5.5 - Local utilizado como dispensa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5.6 - Local a ser utilizado para eventos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Quanto às estruturas sanitárias do local, os locais que possuem sanitários, que no caso são os três (3) chalés, possuem estruturas com manilhas de concreto nas quais os efluentes são lançados, cujo o destino é o solo. Essas são consideradas fossas rudimentares, pois não correspondem a qualquer tipo de tratamento antes do lançamento final. Esses registros se encontram a seguir, nas Figuras 5.7 a 5.9.

Figura 5.7 - Fossa rudimentar do chalé laranja.



Fonte: Aatoria própria, 2021.

Figura 5.8 - Fossa rudimentar do chalé branco, que se encontra enterrada.



Fonte: Aatoria própria, 2021.

Figura 5.9 - Fossa rudimentar do chalé azul.



Fonte: Aatoria própria, 2021.

Além dessas estruturas, de acordo com o proprietário, todos os chalés possuem caixa de gordura instalados. Essa informação é relevante pois a caixa de gordura retém resíduos gordurosos originados em pias de cozinha e máquinas de lavar louça, evitando que ocorra o entupimento de tubulações. No dia da visita foi vistoriada apenas uma caixa de gordura, conforme Figura 5.10 a seguir.

Figura 5.10 - Caixa de gordura de um dos chalés.



Fonte: Aatoria própria, 2021.

Ademais, foi disponibilizado um layout da planta topográfica do local por parte de um dos proprietários, incluindo uma nova área recentemente adquirida. Esse layout se encontra em anexo, nesse documento (ANEXO A – Levantamento Planialtimétrico). Através da análise do croqui disponibilizado, conversa com o empreendedor e levantamento realizado *in loco* definiu-se o local a ser instalado o sistema, levando em consideração a topografia da área, local em que vão ser construídos os chalés novos e Áreas de Preservação Permanente presente no terreno.

O local escolhido para o sistema de tratamento, levando em consideração o layout da planta topográfica, se encontra em destaque dentro do círculo vermelho na Figura 5.11, a seguir.

Figura 5.11 - Recorte do levantamento planimétrico da área apresentando o local escolhido para a instalação do Sistema de Tratamento de Efluente.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Segundo um dos proprietários, a área nova vai ser utilizada como pousada, onde vão ser construídos mais 15 chalés, pretendendo ter, em uma perspectiva de futuro, 60 moradores na área. Esse valor vai auxiliar no dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes, posteriormente. Cabe ressaltar que o dimensionamento está sendo feito com base na capacidade máxima, considerando que todos as pessoas estariam utilizando o sistema.

5.2 Cálculo do Dimensionamento do Sistema de Tratamento

5.2.1 Cálculo do Dimensionamento do Tanque Séptico

Conforme dito na metodologia, utilizou-se a Norma Técnica NBR 7.229/1993 para o dimensionamento do tanque séptico. A norma estabelece recomendações para valores de variáveis para a fórmula proposta para o dimensionamento.

Como apresentado na metodologia, para o cálculo do volume do tanque séptico é utilizada a Equação 4.1, a seguir.

$$VTS = 1000 + NTh \times (C \times td + k \times Lf) \quad (4.1)$$

Em que:

VTS = volume útil do tanque séptico (L);

NTh = número total de pessoas ou unidades de contribuintes (habitantes);

C = contribuição de despejos (L/habitantes x dia);

td = tempo de detenção hidráulico (dia);

k = taxa de acumulação de lodo digerido, equivalente ao tempo de acumulação de lodo (dia);
 L_f = contribuição do lodo fresco (L/habitantes x dia).

5.2.1.1 Contribuição de Despejo e de Lodo Fresco

A ABNT NBR 7.229/1993 apresenta valores médios de contribuição de esgoto (L/d) e de lodo fresco (dia) conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Contribuição diária de despejos e lodo fresco por tipo de prédio

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (c) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- Residência			
padrão alto	pessoas	160	1
padrão médio	pessoas	130	1
padrão baixo	pessoas	100	1
- Hotel (exceto lavadeiras e cozinha)	pessoas	100	1
- Alojamento provisório	pessoas	80	1

Fonte: Adaptada de (ABNT, 1993).

Para efeito de segurança no dimensionamento, foi atribuído residências de alto padrão como ocupação, que considera uma maior contribuição de esgoto, ou seja, uma contribuição diária per capita (C) de 160 litros por habitante dia.

Segundo à NBR 7.229/1993, para prédios com ocupantes permanentes, como residências de alto padrão, a contribuição de lodo fresco (L_f) é de 1 dia.

5.2.1.2 Taxa de Acumulação de Lodo Digerido

A Taxa de acumulação de lodo digerido corresponde ao número de dias de acumulação de lodo fresco equivalente ao volume de lodo digerido a ser armazenado no tanque, considerando a redução de volume de quatro vezes para o lodo digerido (ABNT, 1993). O valor varia de acordo com o intervalo entre limpezas, em anos, e temperatura do mês mais frio, conforme Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t < 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137

Fonte: Adaptada de (ABNT, 1993).

Admitindo um valor de temperatura média para o mês mais frio do ano, compreendido entre 10°C e 20°C, para o caso de Brumadinho-MG, e um intervalo entre limpeza da fossa a cada 1 ano, obtém-se uma taxa de acumulação (K) de 65 dias.

5.2.1.3 Tempo de Detenção Hidráulica

Tempo de detenção hidráulica ou período de detenção dos despejos (td) é o tempo médio de permanência da parcela líquida do esgoto dentro da zona de decantação do tanque séptico. De acordo com as recomendações da NBR 7.229/1993 esse valor depende da contribuição diária.

Conforme apresentado no levantamento *in loco*, a quantidade de pessoas a serem atendidas pelo sistema é de 60 pessoas, e a contribuição per capita de despejo é de 160 L/hab.d, logo a contribuição diária é de 9600 L/dia. Isso resulta em um tempo de detenção de 0,5 dias, conforme Tabela 5.3, a seguir.

Tabela 5.3 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
De 6001 a 7500	0,67	16
de 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: Adaptada de (ABNT, 1993).

5.2.4 Dimensionamento do Tanque Séptico

O cálculo utilizando para a definição do volume do tanque séptico, com valores atribuídos anteriormente, é representada por:

$$V_{TS} = 1000 + 60 \times (160 \times 0,5 + 65 \times 1)$$

$$V_{TS} = 9700 \text{ L}$$

O volume do tanque séptico, portanto, será de 9700 L, ou ainda, 9,7 m³.

Para o cálculo da área superficial do tanque utiliza-se a Equação 4.2.

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h} \tag{4.2}$$

Em que:

V_{TS} = volume útil do tanque séptico (m³);

A_s = área superficial do tanque séptico (m²);

h = altura do tanque séptico (m).

Portanto é necessário a definição da altura do tanque séptico por parte do projetista. As recomendações da NBR 7.229/1993 se encontram na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,2	2,2
De 6,0 a 10	1,5	2,5
Mais que 10	1,8	2,8

Fonte: ABNT NBR 7.229/1993 (ABNT, 1993).

Como o volume calculado foi de 9700 L, que corresponde à 9,7 m³, a recomendação de altura do tanque é na faixa entre 1,50 m e 2,5 m. A escolha foi pela altura de 2m.

Fazendo o cálculo obtêm-se:

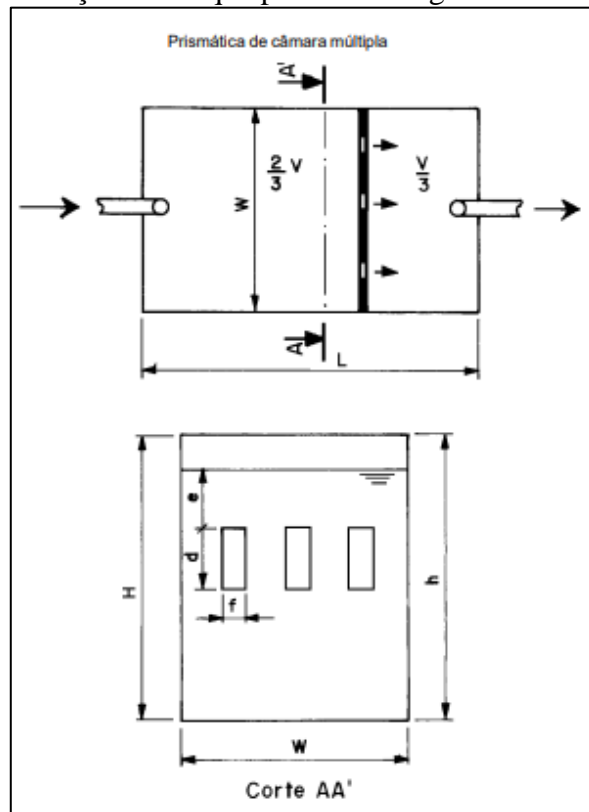
$$A_s = \frac{9,7}{2}$$

Portanto, a área superficial do tanque séptico é de 4,85 m².

Os tanques sépticos podem ser cilíndricos ou prismáticos retangulares. Os tanques sépticos cilíndricos são usualmente usados para minimizar a área útil em favor da profundidade, já os prismáticos retangulares priorizam minimizar a profundidade (ABNT, 1993). O tipo de tanque séptico escolhido para esse estudo foi o prismático, por questões construtivas com relação à facilidade.

Optou-se pelo tanque prismático retangulares com duas câmaras em série, sendo que a recomendação da Norma ABNT NBR 7.229/1993 de proporção entre as câmaras desse tipo de tanque é de 2:1 em volume, da entrada para a saída. A representação desse tipo de tanque séptico é apresentada na Figura 5.12.

Figura 5.12 - Representação do tanque prismático regular com duas câmaras em série.



Fonte: ABNT, 2021.

A recomendação da Norma ABNT NBR 7.229/1993 para a relação comprimento/largura é de no mínimo 2:1 e máximo 4:1. A relação escolhida foi de 3:1, portanto $L = 3 \times B$

O cálculo das dimensões do tanque séptico pode ser feito através da Equação 4.3:

$$A_s = B \times L \quad (4.3)$$

Em que:

A_s = área superficial do tanque séptico (m^2);

L = comprimento do tanque séptico (m);

B = largura do tanque séptico (m).

Utilizando a equação obtêm-se comprimento do tanque séptico de 3,82 metros e largura do tanque séptico de 1,27 metros. Considerando aspectos construtivos mais usuais, as dimensões finais do tanque séptico serão: 4,0 metros de comprimento; 1,4 metros de largura e 2,0 metros de profundidade.

5.2.2 Cálculo do Dimensionamento do Wetlands Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal.

Conforme dito na metodologia será utilizado o modelo oriundo de cinética de primeira ordem para reatores, relação de área *per capita*, carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica utilizando a metodologia de Sezerino e Phillip (2004).

A equação utilizada para definir a área superficial é a Equação 4.4, a seguir:

$$A_s = \frac{Q \times [(\ln C_o) - (\ln C_e)]}{KT \times p \times n} \quad (4.4)$$

Em que:

A_s = área superficial requerida (m²);

Q = vazão afluente (m³/dia);

C_o = concentração afluente em termos de DBO_{5,20° C} (mg/L ou g/m³)

C_e = concentração efluente em termos de DBO_{5,20° C} (mg/L ou g/m³)

p = profundidade média do filtro (m)

n = porosidade do material filtrante (adimensional)

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d⁻¹).

Para calcular o volume útil utiliza-se a Equação 4.7, a seguir.

$$Vu = A_s \times p \quad (4.7)$$

Em que:

Vu = volume útil (m³);

A_s = área superficial requerida d (m²);

p = profundidade média do filtro (m).

Para o cálculo da área da seção transversal do SAC utiliza-se a Equação 4.8, a seguir.

$$Atu = \frac{Q}{v \times n} \quad (4.8)$$

Em que:

Atu = área da seção transversal da *Wetland* Construída (m²);

Q = vazão afluente (m³/dia);

v = velocidade de escoamento (m²);

n = porosidade do material filtrante (adimensional).

Para o cálculo da largura da *Wetland* construída é utilizada a Equação 4.9, a seguir.

$$L = \frac{Atu}{P} \quad (4.9)$$

Em que:

L = largura da *Wetland* Construída (m);
 Atu = área da seção transversal da *Wetland* Construída (m²);
 p = profundidade média do filtro (m).

Já o comprimento da *Wetland* Construída é calculado através da Equação 4.10, a seguir.

$$C = \frac{Vu}{P \times L} \quad (4.10)$$

Em que:

C = comprimento da *Wetland* Construída (m);
 Vu = volume útil (m³);
 L = largura da *Wetland* Construída (m);
 p = profundidade média do filtro (m).

Para o cálculo do tempo de detenção hidráulica, usa a Equação 4.11, a seguir.

$$TDH = \frac{Vu \times n}{Q} \quad (4.11)$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulica (dias);
 Vu = volume útil (m³);
 n = porosidade do material filtrante (adimensional);
 Q = vazão afluyente (m³/dia).

5.2.2.1 Constante de Reação a 20 °C (K₂₀)

Para o cálculo da constante de reação a 20 °C é necessário fazer a utilização da Equação 4.6, a seguir, conforme dito na metodologia.

$$K_{20} = K_0 \times (37,31 \times n^{4,172}) \quad (4.6)$$

Sendo:

K₂₀ = constante de reação a 20°C;
 K₀ = constante para meio com biomassa completamente desenvolvida (d-1);
 n = porosidade do material filtrante (adimensional);

O valor de K₀ para águas residuárias é de 1,839 d-1 (MARQUES, 1999).

Com relação à macroporosidade do leito substrato, depende do tipo de meio suporte a ser utilizado no *Wetland* Construído. Conforme dito na metodologia, o meio suporte será brita 1, cuja porosidade, medida experimentalmente, é de 0,5 m³/m³.

Portanto, utilizando a Equação 4.6, obtêm-se:

$$K_{20} = 1,839 \times (37,31 \times 0,5^{4,172})$$

$$K_{20} = 3,806.$$

Portanto, o valor de K_{20} para águas residuárias é de 3,806 d-1.

5.2.2.2 Constante de Reação de Cinética de Primeira Ordem (KT)

Para o cálculo da constante de reação de cinética de primeira ordem utiliza-se a Equação 4.5:

$$KT = K_{20} \times (1,06)^{T-20} \quad (4.5)$$

Sendo:

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d⁻¹).

K_{20} = constante de reação a 20°C;

T = temperatura crítica (°C)

A temperatura crítica do líquido, neste caso, efluente doméstico, é de 25 °C, logo:

$$KT = 3,806 \times (1,06)^{25-20}$$

$$KT = 5,093 \text{ d}^{-1}$$

5.2.2.3 Concentração Afluente e Efluente à Wetland Construída em Termos de DBO_{5,20}

Para definir a concentração efluente da *Wetland* Construída é necessário fazer uma análise do efluente que irá sair do tanque séptico, visto que esse tipo de tratamento se encontra à montante da *Wetland*, e que o sistema é composto por ambos.

De acordo com Jordão e Pessôa (1995), as fossas sépticas de câmara única ou de câmaras sobrepostas têm eficiência na remoção de DBO_{5 20° C} na faixa de 30 a 50%. Já as de câmaras em série têm eficiência na faixa de 35 a 65%. Como a escolha do tanque séptico foi por câmaras em série, para a definição da concentração efluente, será considerado que o tanque séptico terá eficiência remoção de DBO de aproximadamente 50%, dentro da faixa de 35% a 65%.

Conforme dito na referência bibliográfica, o valor típico de DBO_{5 20° C} encontrado no esgoto doméstico é de 350 mg/L. Considerando uma eficiência de remoção de DBO de aproximadamente 50%, têm-se que a concentração afluente à *Wetland* Construída será de aproximadamente 175 mg/L.

Para a utilização do modelo oriundo de cinética de primeira ordem para *Wetlands* de Fluxo Subsuperficial Horizontal, proposto por Sezerino e Phillip (2004), é necessária ainda a determinação da concentração efluente de DBO (C_e) à *Wetland*. Logo, o valor adotado para C_e será de 60 mg/L, valor esse determinado como padrão de lançamento de efluentes para corpos hídricos de água doce Classe 2 para DBO (MINAS GERAIS, 2008).

5.2.2.4 Vazão Efluente

A vazão efluente a ser utilizada na *Wetland* Construída vai ser a mesma vazão que chega no tanque séptico que é de 9600 L/dia, o que corresponde à 9,6 m³/dia.

5.2.2.5 Profundidade Média do Filtro

Como os *Wetlands* são dimensionados com base na área superficial, maiores profundidades médias do filtro implicarão maiores volumes do meio suporte a serem adquiridos. A profundidade média do filtro é, de acordo com as recomendações de Von Sperling e Sezerino (2018), na faixa dos valores de 0,50 a 0,90 metros. Para o projeto em questão será adotado o valor de 0,7 metros.

5.2.2.6 Dimensionamento da *Wetland* Construída

Para o cálculo da área superficial utiliza-se a Equação 4.4, a seguir:

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{KT \times p \times n} \quad (4.4)$$

Substituindo os valores conforme anteriormente dito, a equação fica:

$$A_s = \frac{9,6 \times (\ln 175 - \ln 60)}{5,093 \times 0,7 \times 0,5}$$

$$A_s = 5,76 \text{ m}^2$$

Portanto a área superficial será de 5,76 metros quadrados.

Para obter o volume útil utiliza-se a Equação 4.7, conforme cálculo a seguir

$$V_u = 5,76 \times 0,7$$

$$V_u = 4,03 \text{ m}^3$$

Logo o volume útil da *Wetland* Construída será de 4,03 metros cúbicos.

Para o cálculo da área da seção transversal do SAC utiliza-se a Equação 4.8. A velocidade de escoamento (v) recomendada é de 8,6 m/dia (Marques, 1999). Portanto o cálculo fica:

$$Atu = \frac{9,6}{8,6 \times 0,5}$$

$$Atu = 2,23 \text{ m}^2$$

Logo, a área da seção transversal da *Wetland* Construída é de 2,23 m².

Para o cálculo da largura da *Wetland* Construída é utilizada a Equação 4.9.

$$L = \frac{2,23}{0,7} \tag{4.9}$$

$$L = 3,19 \text{ m}$$

A largura da *Wetland* é de 3,19 metros

Já o comprimento da *Wetland* Construída é calculado através da Equação 4.10.

$$C = \frac{4,03}{0,7 \times 3,19} \tag{4.10}$$

Portanto, o comprimento da *Wetland* Construída vai ser de 1,8 metros.

Com relação ao tempo de detenção hidráulica, usa-se a Equação 4.11.

$$TDH = \frac{4,03 \times 0,5}{9,6} \tag{4.11}$$

$$TDH = 0,21 \text{ d}$$

Portanto o tempo de detenção hidráulica vai ser de 0,21 dia.

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), a Taxa de Aplicação de Carga Orgânica (TCO) desejável é na faixa de 60 a 150 quilograma por hectare dia, obtida através da Equação 4.11, a seguir.

$$TCO = \frac{Q \times Co}{As} \tag{4.11}$$

TCO = Taxa de Aplicação de Carga Orgânica ($\text{kg.d}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)

Q = vazão afluente (m^3/dia);

Co = concentração afluente em termos de DBO_5 20°C (kg/m^3);

As = área superficial requerida (ha).

Fazendo a conferência com os valores obtidos anteriormente através do cálculo utilizando a Equação 4.11, obtêm-se:

$$TCO = \frac{9,6 \times 0,175}{0,000576}$$

$$TCO = 2916,67 \text{ kg. d}^{-1} . \text{ha}^{-1}$$

Após o alto valor de Taxa de Aplicação de Carga Orgânica obtido, optou-se por fixar o valor de 150 quilograma por hectare dia, valor máximo recomendado por Von Sperling e Sezerino (2018), e, assim, adequar o dimensionamento.

Portanto, com o valor fixo de TCO irá se obter novo valor de área superficial, que irá interferir nos valores de comprimento e largura do sistema. Para isso, vai ser utilizada a Equação 4.11 novamente.

$$TCO = \frac{Q \times Co}{As} \quad (4.11)$$

$$150 = \frac{9,6 \times 0,175}{As}$$

$$As = 0,0112 \text{ ha}$$

Logo, o novo valor de área superficial é de 0,0112 hectare, ou seja, 112 metros quadrados.

A recomendação da relação comprimento por largura de Von Sperling e Sezerino (2018) é na faixa de 2:1 a 4:1, valores que podem variar de acordo com especificidades do projeto. Optou-se pelo valor de 3:1 no presente estudo. Sistemas mais alongados, ou seja, com relação C: L maiores, são mais eficientes na remoção de DBO, mas estão associados a maiores perdas de carga hidráulica.

Para o cálculo do comprimento e largura, utilizou-se a Equação 4.12, a seguir.

$$As = C \times L \quad (4.12)$$

A_s = área superficial requerida (m²);
 C = comprimento da *Wetland* construída (m);
 L = Largura da *Wetland* Construída (m).

Fazendo o cálculo e utilizando a relação de comprimento por largura obtêm-se:

$$A_s = 3L \times L$$

$$112 = 3L \times L$$

$$L = 6,11 \text{ m}$$

Como a relação comprimento por largura é 3:1, o comprimento vai ser o triplo da largura, sendo então 18,33 metros.

Visando à redução da perda de carga, optou-se por cada unidade ser subdividida internamente em três módulos paralelos, alongados, ao longo da menor dimensão do *Wetland*, com entradas individuais, e tendo aplicação de carga alternada. Essa divisão também irá facilitar caso o local não esteja sendo atendido pela quantidade de pessoas contribuintes total. Portanto, cada módulo irá ter largura de 2,03 metros e comprimento de 18,33 metros, e, considerando os parâmetros construtivos, vai ser considerado 2 metros de largura por 18 de comprimento.

Para recalcular o tempo de detenção hidráulica, usa-se a Equação 4.11, sendo que faz o cálculo de cada módulo separadamente.

$$TDH = \frac{Vu \times n}{Q} \quad (4.11)$$

$$TDH = \frac{26,04 \times 0,5}{9,6}$$

$$TDH = 1,35 \text{ dia}$$

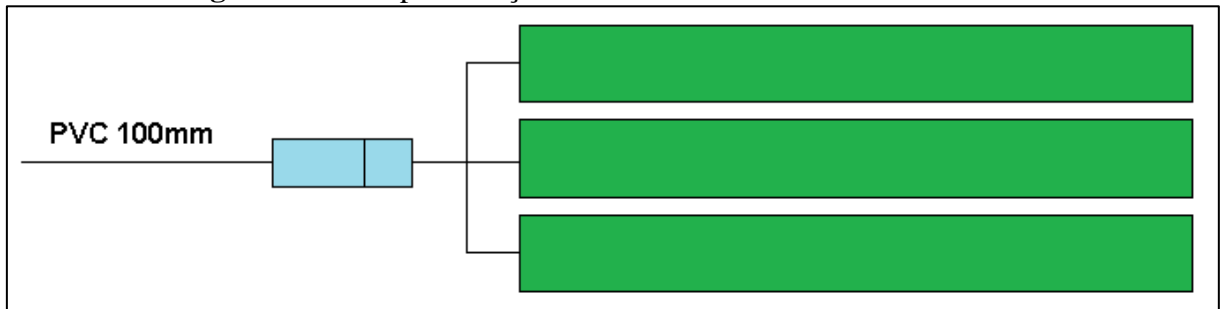
Portanto o tempo de detenção hidráulica de cada módulo do sistema de *Wetlands* Construídas é de 1,35 dia.

5.3 Representação do Sistema

A seguir, na Figura 5.13, têm-se a representação do sistema de tratamento composto por tanque séptico prismático regular com duas câmaras em série e o sistema *Wetland* composto por três

módulos paralelos. Foi levado em consideração a presença de uma caixa de passagem que irá receber o esgoto de todas as residências e direcionar para o sistema, porém esta não é apresentada na representação.

Figura 5.13 - Representação do sistema de tratamento de efluente.



Fonte: Autoria própria, 2021.

5.4 Orçamento

Para realização do orçamento levou-se em consideração o plano de instalação do sistema composto por tanque séptico prismático regular com duas câmaras em série e o sistema *Wetland* composto por três módulos paralelos, além da rede de tubulações e conexões até chegar no sistema. Além disso, foi levado em consideração o valor de mão de obra.

A seguir têm-se a Tabela 5.5 com os valores de cotação levando em consideração o Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil de Minas Gerais, denominado SINAPI, referente a julho do ano de 2021, e a planilha de preços SETOP da SEINFRA, referente ao mês de outubro de 2021 (SEINFRA, 2021).

Tabela 5.5 - Tabela da estimativa de custos da preparação do projeto

Orçamento Global – Sistema Wetland					
Ítem	Especificações	Unid	Qtde	Valor Unit (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Serviços Preliminares				
1.1	Mobilização e desmobilização de mão de obra, ferramentas e equipamentos	unid.	1	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
1.2	Instalação Canteiro Obras/Barracão	m ²	5	R\$ 138,00	R\$ 690,00
Subtotal					R\$ 4.690,00
2	Rede coletora de DN 100mm				
2.1	Escavação manual de vala com profundidade menor ou igual a 1,5m	m ³	58,8	R\$ 56,27	R\$ 3.308,68
2.2	Fornecimento e assentamento de tubo PVC rígido de 100mm, colete de esgoto liso (JEI), incluso as conexões	m	588	R\$ 46,45	R\$ 27.312,60
2.3	Reaterro manual de vala	m ³	58,8	R\$ 56,27	R\$ 3.308,68
Subtotal					R\$ 33.929,95
3	Tanques coletores				
3.1	Escavação manual	m ³	88	R\$ 33,10	R\$ 2.912,80
3.2	Lastro de concreto magro de fundo	m ³	6	R\$ 404,26	R\$ 2.425,56
3.3	Alvenaria de bloco de concreto cheio com armação, em concreto com FCK 15Mpa, esp. 14cm, para revestimento, inclusive argamassa para assentamento	m ²	109	R\$ 173,42	R\$ 18.902,78
3.4	Laje 8 cm macila de concreto 20Mpa, com armação, forma resinada, escoramento e desforma	m ²	117	R\$ 164,48	R\$ 19.244,16
3.5	Reboco com argamassa traço 1:2:8	m ²	109	R\$ 26,83	R\$ 2.924,47
3.6	Impermeabilização de paredes e pisos	m ²	341,4	R\$ 3,50	R\$ 1.194,90
3.7	Tubulações para tanque séptico incluso as conexões	unid	1	R\$ 525,00	R\$ 525,00
3.8	Tubulações para tanque incluso as conexões	unid	3	R\$ 500,00	R\$ 1.500,00
Subtotal					R\$ 42.266,31
4	Cercamento sistema				
4.1	Fornecimento e instalação de cerca de mourão de eucalipto imunizado, espaçados de 2,5m, altura útil de 2,50m, fechamento em tela galvanizada malha 2 1/2" x 2 1/2" fio 10, travada com 2 fios em arame galvanizado fio 10 e com 4 fiadas de arame farpado galvanizado fio 14 na parte superior do mourão	m	90	R\$ 52,00	R\$ 4.680,00
4.2	Fornecimento e instalação de portão (L=2,0m:H=2,0m)	m ²	4	450	R\$ 1.800,00
Subtotal					R\$ 6.480,00

Total da obra	R\$ 87.366,26
BDI (17%)	R\$ 14.852,26
Total com BDI	R\$ 102.218,53

6 CONCLUSÃO

Mediante a proposta de elaboração de um projeto de um sistema de tratamento adequado e eficiente para uma Ecovila, e após a elaboração de um referencial teórico e da realização de um levantamento no local, o presente trabalho propôs o dimensionamento de um sistema tanque séptico seguido de *Wetlands* Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal (WCFH), a macrófita a ser utilizada é a do gênero *Typha sp* (Taboa) e o meio suporte será brita 1, ambos por ser facilmente encontrados.

O sistema de tratamento projetado foi composto por tanque séptico prismático regular com duas câmaras em série, com as dimensões de comprimento de 3,82 metros e largura de 1,27 metros, e o sistema *Wetland* foi composto por três módulos paralelos, com comprimento de 18,33 metros e 2,03 metros de largura, no qual foram adotados os valores de 2 metros de largura e 18 metros de comprimento.

A principal dificuldade do dimensionamento foi adaptar o que a literatura recomenda para o dimensionamento da *Wetland* Construída com a proposta do sistema deste projeto, pois utilizando a metodologia obteve-se um valor de Taxa de Aplicação de Carga Orgânica muito alto, sendo necessário fixar um valor de TCO e recalcular o dimensionamento.

O custo estimado para a implantação deste sistema foi de R\$ 102.218,53. O orçamento apresentado inclui mão de obra e material, cercamento do local e é apenas um orçamento prévio.

7 RECOMENDAÇÕES

Ressalta-se que o Sistema de *Wetlands* Construídos ainda é pouco explorado no Brasil, sendo que possui um potencial enorme no ramo de tratamento de efluentes. Entretanto, por possuir muitas variáveis que refletem na eficiência do sistema, recomenda-se, portanto, para estudos de casos em futuros trabalhos, a avaliação particular do local a ser instalado, levando em consideração o fluxo hidráulico do sistema (horizontal, vertical), tipo e profundidade do meio suporte e espécies vegetais a serem utilizados.

Devido a não possibilidade de inclusão de valores para manejo de plantas e de manutenção tanto do tanque séptico, tanto do sistema de *Wetlands* Construídos, além da não execução do projeto, recomenda-se para trabalhos futuros fazer essa avaliação, com o intuito de obter orçamentos mais precisos, e com isso poder utilizar de metodologias para avaliar a viabilidade econômica do projeto, além de comprovar, na prática, a eficiência desse sistema na remoção de parâmetros, como DBO e outros nutrientes.

Além disso, recomenda-se para trabalhos futuros a criação de plano de monitoramento do sistema e do corpo hídrico receptor, além de avaliação de odores fétidos no sistema.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL/SC. **Saneamento em Santa Catarina x investimento pac**, 2008. Disponível em: <https://jcientifico.files.wordpress.com/2009/10/saneamentopac.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.649-Projeto-de-Redes-de-Esgoto.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: https://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf. Acesso em: 27 out. 2021.
- ABONIZIO, R. M. **Saneamento básico no meio rural: um estudo em assentamento rural no interior do Paraná**. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6884/1/saneamentobasicomeiorural.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- AGUIAR, S. R. **Projeto executivo de um sistema de wetland construídos para tratamento de esgoto doméstico**. Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/212047>. Acesso em: 14 out. 2021.
- ALMEIDA, R. A.; POSCH, S.; PEREIRA, L.S.; GODINHO, C.A.; OLIVEIRA, L.F.C.; KLIEMANN, H.J. **Tratamento de esgoto com plantas: sistema zona de raízes**. In: Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado de Goiás. Goiânia, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/pkZ6ZLpHTSvh8c999q46Bzf/?lang=pt>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 21 out. 2021.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos 2011**. Brasília, 2011. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 12 out. 2021.
- ARSAE. AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Relatório Situacional N° 01/2019: Impactos do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho-MG na prestação dos serviços de saneamento básico pela Copasa**. Brumadinho – MG, 2019. Disponível em: <https://portalamm.org.br/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-sobre-Brumadinho.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.
- BARRETO, A, B. **Contribuição da zona de raízes em sistemas alagados construídos de escoamento subsuperficial horizontal para tratamento de efluentes sanitários**. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-ATSMBJ/1/tese_andre_baxter_r03_final.pdf. Acesso em: 16 fev. 2022.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 357, de 17 de Março de 2005**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357

_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011.** Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf. Acesso em: 22 jul. 2021.

BRASIL, M. S. **Desempenho de sistema alagado construído para tratamento de esgoto doméstico.** Viçosa, 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9736>. Acesso em: 13 out. 2021.

BRASIL. **Lei no 14026.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 23 set. 2021.

BRUMADINHO. Prefeitura. **Apostila Brumadinho, 2015.** Disponível em: http://www.brumadinho.mg.gov.br/arquivos/APOSTILA_BRUMADINHO.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X. B; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal:** eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, 2009.

CÂMARA MUNICIPAL DE BRUMADINHO. **Plano diretor de desenvolvimento do município de Brumadinho,** 2006. Disponível em: <https://www.cmbrumadinho.mg.gov.br/legislacao/leis-complementares/4>. Acesso em: 23 set. 2021.

CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021.

CASTANHETTI, F. J. **A falta de sistemas de tratamento de esgoto doméstico em zona rural e suas consequências.** Universidade do Sul de Santa Catarina. Içara – SC, 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/11257>. Acesso em: 12 set. 2021.

CASTRO, A. A; COSTA, A. M. L. M; CHERNICHARO, C. A. L; VON SPERLING, E; MÖLLER, L. M; HELLER, L; CASSEB, M. M. S; VON SPERLING, M; BARROS, R. T. de V. et al. Saneamento. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios.** Vol 2. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: Segrac, 1997.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. **Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte.** Revista Ambiental & Água, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>. Acesso em: 12 ago. 2021.

COSTA, J. F.; DE PAOLI, A. O.; VON SPERLING, M.; SEIDL, M. **Avaliação de desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento.** Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. v. 23, n. 1, pp. 191-200, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152201890370>. Acesso em: 14 nov. 2021.

DOTRO, G. LANGERGRABER, G; MOLLE, P; NIVALA, J; PUIGAGUT, J; STEIN, O; VON SPERLING, M. **Treatment wetlands**. Londres: IWA Publishing, 2017. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar_url?url=https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/31049/640147.pdf%3Fsequen&hl=pt-BR&sa=X&ei=sWLvYezRBZKoywTOyoTACA&scisig=AAGBfm14RQ1sq2oWB99TjDIshkn3T23afQ&oi=scholarr. Acesso em: 23 out. 2021.

EISENHARDT, K.M. **Building theories form case study research**. *Academy of management review*. New York, New York, v. 14 n. 4, 1989. Disponível em: http://euroac.ffri.hr/wp-content/uploads/2010/06/Eisenhardt_1989_Building-Theories-from-Case.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 5. ed., 2020. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica>. Acesso em: 24 nov. 2021.

GOMES, B. G. L. A. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia**. Campinas, São Paulo, 2015. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_25a721b72698ba6a3e7d479cc88f17c0. Acesso em: 13 out. 2021.

GOOGLE. **Google earth**. Version 7.3.4.8248. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em 28 nov. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017 - abastecimento de água e esgotamento**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

IDE-SISEMA. **Sistema estadual de meio ambiente e recursos hídricos de minas gerais. 2020**. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 12 nov. 2021.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das mortas**. Minas Gerias, 2010. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/3183>. Acesso em: 13 nov. 2021.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8.ed. Rio de Janeiro: 2017. 915 p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**, Rio de Janeiro, ABES, 1995.

KADLEC, R. H.; WALLACE, R. D. **Treatment wetlands**. 2. ed. 2008. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar_url?url=https://www.academia.edu/download/57206744/10_.pdf&hl=pt-BR&sa=X&ei=VV3wYfjXG4f0mgGtoqPICA&scisig=AAGBfm3FWUU6k2ywBCfYeSjDHpxEz1HMLA&oi=scholarr. Acesso em: 14 out. 2021.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment wetlands**. Florida: Lewis Publishers. 1996.

MARQUES, D.M. **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial**. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MARQUES, E. C. **Da higiene à construção da cidade: o estado e o saneamento no rio de janeiro.** História, Ciências, Saúde – Manguinhos, vol.II, n.2, p.51-67, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-59701995000300004>. Acesso em: 13 out. 2021.

MATOS, A. T.; MATOS, M.P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 371 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - SNIS - Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos.** 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama dos planos municipais de saneamento básico no brasil.** 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/panorama-dos-planos-de-saneamento-basico-no-brasil>. Acesso em: 21 out. 2021.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Relatório de avaliação anual do plano nacional de saneamento básico – Ano 2016.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/Relatorio_avaliacao_anual_2016_versao-final_site.pdf. Acesso em: 29 ago. 2021.

MINAS GERAIS. **Deliberação normativa conjunta nº 1,** de 20 de maio de 2008. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20Conjunta%20COPAM%20CERH%20N.%C2%BA%201,%20de%202005%20de%20Maio%20de%202008.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MONTEIRO, R. C. M. **Viabilidade técnica do emprego de “wetlands” para o tratamento de água cinza para o reúso não potável.** São Paulo 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032009-110147/publico/dissertacao_rodrigo_monteiro_wetlands.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

MOURÃO, J.R.; SILVA, M.A.V.; ARRUDA, D. S.; RIBEIRO, L. C. L. J.; PIRES, M. S. G. **Avaliação da eficiência de wetlands construídas, em escala de laboratório, no pós-tratamento de efluentes domésticos.** Curitiba, PR, 2015.

MORAIS, N. W. S; SANTOS, A. B. **Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil.** Dae, Fortaleza, v. 675, mar. 2019.

NIMER, E. **Climatologia do brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>. Acesso em: 03 out. 2021.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Assembleia geral: The human right to water and sanitation (A/RES/64/92).** 2010.

PHILIPPI, L.S., SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias:** utilização de filtros plantados com macrófitas. 1º ed. Florianópolis. 144 p., 2004.

PITALUGA, D.P.S.; ALMEIDA, R. A.; REIS, R. P. A.; MARTINS, L. L. **Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico:** eficiência do sistema e potencialidade de reuso do efluente. Recife, 2013.

REZENDE, D, C, V; SILVA, E, L; PINTO, A F, J; COSTA, R, R. **Vantagens e desvantagens dos métodos Wetland e tanque de evapotranspiração:** Revisão não sistemática. / Advantages

and disadvantages of the Wetland and evapotranspiration tank methods: Non-systematic review. *Brazilian Journal of Development*, 2021.

REZENDE, S. C; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SABEI, T.; BASSETTI, F. **Alternativas ecoeficientes para tratamento de efluentes em comunidades rurais**. *Anais do IX Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 11, 2013. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/692. Acesso em: 14 nov. 2021.

SALATI, E.; RODRIGUES, N.S. **De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé**. *Revista Brasileira da Tecnologia*, 1982.

SANCHEZ, A. A. **Desempenho de sistema piloto de alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento secundário de efluente sanitário**. 2017. 148f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do ABC, 2017. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFBC_6680a22cde330284eac6cbe0ecb6ca07. Acesso em: 21 ago. 2021.

SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro. Interciência, 2010.

SEINFRA. SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO MINAS GERAIS. **Planilha referencial de preços para as obras do Estado de Minas: Região Central**. Minas Gerais, 2021.

SEZERINO, P. H; RPUSSO, 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**. GESAD, UFSC, 2018. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2019/01/Sezerino-et-al.-2018.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

SEZERINO, P. H. **Aplicação de wetlands construídos no tratamento de águas residuárias**. 2014. 57 slides. Disponível em: wetlandsconstruidos.blogspot.com. Acesso em: 24 jul. 2021.

SEZERINO, P. H; BENTO, A. P; DECEZARO, S, T; MAGRI, M. E; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais**. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* [online]. v. 20, n. 1, pp. 151-158. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000096615>. Acesso em: 13 out. 2021.

SILVEIRA, J. R. **Potencial de reuso do efluente tratado por sistema wetland construído**. Goiânia, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/252>. Acesso em: 09 out. 2021.

SINAPI. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de insumos e composições – jul/21**. 2021. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 04 out. 2021.

SUBTIL, E. L; COELHO, L. H; BENASSI, R, F; JESUS, T. A. **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitário: implantação, operação e manutenção**. Santo André: Editora Copiart, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326352770_Manual_de_sistemas_de_Wetlands_construidas_para_o_tratamento_de_esgotos_sanitario_implantacao_operacao_e_manutencao. Acesso em: 02 set. 2021.

TANNER, C.C. **Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands.** Water Science Technology, 2001. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11804163/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

TENEDINI, M. V. **Avaliação da eficiência do tratamento biológico, tipo lodo ativado, de uma indústria de laticínio.** Lajeado - RS, 2016. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1403/1/2016MarcosViniciusTenedini.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2021.

THORNTWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review,** New York, n. 1, 1948. Disponível em: http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=16964. Acesso em: 08 set. 2021.

TREIN, C. M.; PELISSARI, C.; HOFFMAN; H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. **Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos.** 2015.

USEPA. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Constructed wetlands treatments of municipal wastewaters.** EPA/625/r-99/010. Cincinnati, Ohio: USEPA. 152 p, 1999.

USEPA. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Constructed wetlands treatments of municipal wastewaters.** Cincinnati, Ohio, 2000.

VIEIRA, P. H. A. **Saneamento ambiental do ccocentro social vila dos sonhos, santana do Deserto/MG: Diagnóstico preliminar dos mananciais superficiais.** Juiz de Fora, 2014. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC_Pedro_Henrique_Aguiar_Vieira.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

VITORINO, F. A., GONTIJO; C. A. V.; LERMONTOV, A. **Wetlands-processos naturais para a remoção de nutrientes em estações de tratamento de esgotos.** 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/11484493/WETLANDS_-_PROCESSOS_NATURAIS_PARA_REMO%C3%87%C3%83O_DE_NUTRIENTES_EM_ESTA%C3%87%C3%95ES_DE_TRATAMENTO_DE_ESGOTOS. Acesso em: 19 out. 2021.

VON SPERLING, **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4.ed. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2014. 452p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Belo Horizonte: DESA-UFMG, v. 3, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Volume 1: Introdução À Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3ª Edição. Belo Horizonte, Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes.** *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 24 jul. 2021.

YIN, R.K. **Case study research, design and methods (applied social research methods).** Thousand Oaks. California: Sage Publications,

APÊNDICE A – FÓRMULARIO APLICADO NA VISITA

<u>CHECKLIST - Visita Técnica - Ecovila - 12 de Novembro de 2021</u>			
<u>ITENS DA VISITA</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>RESPONSÁVEL</u>	<u>ANOTAÇÕES</u>
ITEM 1	Documentos a serem solicitados		
1.1	LAYOUT/CROQUI DA ÁREA	Ecovila	
1.2	Planta topográfica	Ecovila	
ITEM 2	Registros/perguntas de campo		
2.1	Há caixas de gordura nas residências? Quantas e em quais?	Projetista	
2.2	Qual o tipo de tratamento utilizado?	Projetista	
2.3	Quantas pessoas pretende-se ter na ECOVILA?	Projetista	
2.4	Registro fotográfico dos chales	Projetista	
2.5	Análise do relevo	Projetista	
2.6	Curso d'água próximo - registro	Projetista	

ANEXO A – LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO



LEVANTAMENTO + IMAGEM GOOGLE

- CONVENÇÕES**
- RUA
 - - - CERCA
 - POSTE
 - DIVISA DEMARCADA

TÍTULO: LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO		
LOCALIZAÇÃO: CÓRREGO FERREIRA MUNICÍPIO DE BRUMADINHO-MG	ÁREAS 1e2: 50.876,00m ² 5,0876ha	DATA: NOVEMBRO/2021
	ARQUIVO: 992.E.21	ESCALA: 1/1250
R.T.:	PROPRIETÁRIO:	
EWERTON PEDRO DA SILVA CPF- BR-141123472-3	BÁRBARA PESSALI MARQUES CPF: 094.267.276-39	