

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Maria Luiza Trevisan Rodrigues

**AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO
COMPOSTA POR SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO PARA O TRATAMENTO
DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE DO RIO
GRANDE DO SUL: ESTUDO DE CASO DE PORTO VERA CRUZ - RS**

Porto Alegre
Maio de 2021

MARIA LUIZA TREVISAN RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO
COMPOSTA POR SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO PARA O TRATAMENTO
DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE DO RIO
GRANDE DO SUL: ESTUDO DE CASO DE PORTO VERA CRUZ - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil
da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva

Coorientador: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre
Maio de 2021

MARIA LUIZA TREVISAN RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO
COMPOSTA POR SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO PARA O TRATAMENTO
DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE DO RIO
GRANDE DO SUL: ESTUDO DE CASO DE PORTO VERA CRUZ - RS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Maria Cristina de Almeida Silva (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)

Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya

Coorientador

Prof. Cristiano Poletto

Pós-Doutor pela Coventry University

Ian Rocha de Almeida

Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Cristina, à
minha dinda, Leonor, e aos meus avós, Alzira e
Antônio, que me cercaram de amor e não mediram
esforços para me proporcionar o privilégio de uma boa
educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe, que abraçou carinhosamente todas as chances de proporcionar educação para mim e para o meu irmão, e que desde sempre é para mim um exemplo de força, persistência e amor. Agradeço à minha dinda Leonor, que se faz presente em todos os momentos, que acredita em mim e que traz serenidade, carinho e cuidado como ninguém. Aos meus avós, que mesmo não estando mais aqui, participaram de toda a minha trajetória e estarão para sempre nas lembranças mais bonitas. Agradeço à minha grande família, na qual, independente da situação, nunca faltou amor.

Agradeço aos amigos que cultivei até aqui, que me ouviram, me aconselharam, compartilharam momentos, risadas e que sempre estiveram ao meu lado. Agradeço ao Muriel, que me apoia, motiva e fortalece em todas as situações.

Agradeço ao PET Civil, que abriu portas para que eu enxergasse a sociedade com mais empatia. Agradeço ao Sistema de Apoio ao Saneamento Básico e ao eterno Prof. Dieter Wartchow, por me fazerem enxergar o saneamento básico como ferramenta de transformação e inclusão social.

Agradeço aos professores dos quais fui aluna e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por me formarem como profissional e como ser humano. À minha orientadora, Maria Cristina Almeida, e ao meu coorientador, Gino Gehling, pela dedicação e disponibilidade ao me auxiliarem na elaboração deste trabalho.

- Responsabilidade de quê?
- A responsabilidade de ter olhos quando os outros
perderam.
José Saramago

RESUMO

No contexto da situação precária do saneamento básico nos municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul, o presente trabalho buscou avaliar a possibilidade da utilização da ecotecnologia de *wetlands* construídos como tratamento de esgotos sanitários em um pequeno município a partir do desenvolvimento do estudo de caso de Porto Vera Cruz - RS. Para esse município foram dimensionados *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial, como tratamento secundário, e tanques sépticos, como tratamento primário do esgoto, além do dimensionamento das redes de esgoto, da avaliação dos corpos receptores do local e do orçamento do projeto. O estudo foi desenvolvido por meio do uso de softwares de geoprocessamento, banco de dados do município, softwares de projeto, orientações e normas técnicas, bem como por meio da colaboração dos representantes do município. Os resultados alcançados mostram que a utilização de *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial combinados a tanques sépticos são uma alternativa vantajosa para o município estudado, tendo um custo de implantação de aproximadamente R\$ 969,11 e possuindo baixos custos de operação e manutenção, visto que envolvem a poda das macrófitas do sistema e não necessitam de mão de obra especializada.

Palavras-chave: Saneamento Básico, *Wetlands* Construídos, Tratamento de Esgoto.

ABSTRACT

In the context of a precarious situation of basic sanitation in small municipalities in Rio Grande do Sul, the present work evaluated the possibility of using the ecotechnology of constructed wetlands as wastewater treatment in a small municipality from the development of the case study of Porto Vera Cruz – RS. For this municipality, constructed wetlands with horizontal subsurface flow were dimensioned, as secondary treatment, and septic tanks, as primary treatment, in addition to the dimensioning of sewage system, the evaluation of the effluent receivers of the site and the project budget. The study was developed through the use of geoprocessing software, the municipality's database, projects softwares, guidelines and technical standards, as well as with the collaboration of the representatives of the municipality. The results achieved show that the use of constructed wetlands with horizontal subsurface flow combined with septic tanks are an advantageous alternative for the municipality studied, having an implementation cost of approximately R\$ 969.11 and having low operating and maintenance costs, since they involve pruning of the system's macrophytes and do not require specialized labor.

Keywords: Basic Sanitation, Constructed Wetlands, Wastewater Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do saneamento básico no Rio Grande do Sul	20
Figura 2 - Esquema com os principais componentes de um tanque séptico.....	30
Figura 3 - Pantanal Brasileiro	31
Figura 4 - Representação esquemática da formação do biofilme aderido ao material filtrante nas raízes.....	35
Figura 5 - Classificação de WC.....	36
Figura 6 - WC de Escoamento Superficial	37
Figura 7 - WC de Fluxo Horizontal.....	38
Figura 8 - WC de Fluxo Vertical.....	39
Figura 9 - Porto Vera Cruz	49
Figura 10 - Localização de Porto Vera Cruz	50
Figura 11 - Vista aérea de Porto Vera Cruz.....	50
Figura 12 - Vista aérea de Porto Vera Cruz.....	51
Figura 13 - Vista aérea de Porto Vera Cruz.....	51
Figura 14 - Identificação de lotes da área urbana de Porto Vera Cruz.....	54
Figura 15 - Elevações de Porto Vera Cruz	55
Figura 16 - Curvas de nível de Porto Vera Cruz	56
Figura 17 - Destino do esgoto dos domicílios com banheiro ou sanitário	59
Figura 18 - Sistema de tratamento de esgoto.....	60
Figura 19 - Sistema de tratamento de esgoto.....	60
Figura 20 - Córrego de destinação dos efluentes.....	61
Figura 21 – Mapeamento da rede de esgoto sanitário de Porto Vera Cruz	61
Figura 22 – Zonas de risco de inundação da área urbana de Porto Vera Cruz.....	62
Figura 23 – Desenvolvimento da macrófita <i>Typha domingensis Pers.</i> em <i>wetland</i> construído de fluxo horizontal ao longo do período de estudo	69
Figura 24 – Local de implantação	70
Figura 25 – Q_{90} específica por região	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de eficiência de remoção dos principais WC	40
Tabela 2 – Projeção Populacional dos municípios analisados	46
Tabela 3 - População do município de Porto Vera Cruz	51
Tabela 4- Taxas de crescimento populacional.....	52
Tabela 5 - Projeção populacional de Porto Vera Cruz	52
Tabela 6 - Identificação de área não edificada	54
Tabela 7 - População	57
Tabela 8 - Dados territoriais e ambientais	57
Tabela 9 - Posição no ranking de atendimento de esgotamento sanitário adequado.....	57
Tabela 10 - Média de moradores em domicílios particulares permanentes	58
Tabela 11 - Dados climatológicos anuais de Porto Vera Cruz	58
Tabela 12 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.....	63
Tabela 13 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e ocupante	63
Tabela 14 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio	64
Tabela 15 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.....	65
Tabela 16 - Variáveis utilizadas no cálculo do volume útil do tanque séptico	65
Tabela 17 – Valores para a determinação da área requerida	67
Tabela 18 – Especificações projetuais do wetland	68
Tabela 19 – Dados utilizados no software SANCAD	74
Tabela 20 – Valores do BDI por tipo de obra.....	76
Tabela 21 – Influência dos itens no custo do sistema de tratamento.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 3-1 - Níveis de Tratamento de Esgotos	22
Quadro 3-2 - Principais características químicas dos esgotos domésticos.....	24
Quadro 3-3 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos	26
Quadro 3-4 - Síntese das principais características das tecnologias selecionadas para o tratamento de esgoto de comunidades isoladas.	28
Quadro 3-5 - Principais mecanismos de remoção de poluentes e patógenos em WC.....	35
Quadro 3-6 - Definições relacionadas à rede coletora.....	41
Quadro 5-1 – Denominações utilizadas no memorial de cálculo	75

LISTA DE SIGLAS

BDI - Benefícios e Despesas Indiretas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente

FEPAM - Fundação Ambiental de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

FUNASA - Fundação Nacional da Saúde

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

NBR - Norma Brasileira

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

WC - *Wetland* Construído

WCS - *Wetland* Construído de Escoamento Superficial

WCSS - *Wetland* Construído de Escoamento Subsuperficial

WFH - *Wetland* Construído de Escoamento Subsuperficial de Fluxo Horizontal

WFV - *Wetland* Construído de Escoamento Subsuperficial de Fluxo Vertical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. DIRETRIZES DA PESQUISA.....	18
2.1 OBJETIVOS.....	18
2.1.1 Objetivo Geral	18
2.1.2 Objetivos Específicos	18
2.2 DELIMITAÇÕES	18
2.3 LIMITAÇÕES.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 SITUAÇÃO DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO RIO GRANDE DO SUL ..	19
3.2 ESGOTOS SANITÁRIOS.....	21
3.2.1 Tratamento de esgotos sanitários.....	22
3.2.2 Caracterização dos esgotos domésticos	22
3.3 SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	26
3.3.1 Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos	26
3.4 TANQUE SÉPTICO	30
3.5 WETLAND CONSTRUÍDO	30
3.5.1 Sustentabilidade Ambiental	32
3.5.2 Princípios do Tratamento.....	34
3.5.3 Remoção dos poluentes	35
3.5.4 Modalidades.....	36
3.5.4.1 Sistemas de Escoamento Superficial	36
3.5.4.2 Sistemas de Escoamento Subsuperficial	37
3.5.4.3 Sistemas Híbridos	39
3.5.5 Indicadores de eficiência	39
3.5.6 Operação e manutenção	40
3.6 PROJEÇÃO POPULACIONAL	40
3.7 REDE COLETORA.....	41
3.8 CORPO RECEPTOR.....	42
4. METODOLOGIA	43
4.1 ESCOLHA DO MUNICÍPIO	43
4.2 DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO	44
4.3 DETERMINAÇÃO DO CORPO RECEPTOR	44
4.4 DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA	45

4.5 ORÇAMENTO	45
5. DESENVOLVIMENTO	46
5.1 ESCOLHA DO MUNICÍPIO	46
5.2 PORTO VERA CRUZ	48
5.2.1 Área.....	53
5.2.2 Topografia.....	54
5.2.3 Dados Censitários	57
5.2.4 Clima.....	58
5.2.5 Saneamento Básico	58
5.2.6 Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico	62
5.3 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO	62
5.3.1 Distâncias mínimas	62
5.3.2 Contribuição de despejos	63
5.3.3 Período de detenção dos despejos.....	63
5.3.4 Contribuição de lodo fresco	63
5.3.5 Taxa de acumulação de total de lodo.....	64
5.3.6 Dimensionamento	64
5.3.7 Medidas internas mínimas	65
5.4 DIMENSIONAMENTO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL DE FLUXO HORIZONTAL	66
5.5 CORPO RECEPTOR	70
5.6 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ESGOTO	72
5.7 ORÇAMENTO	76
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ESGOTO	89
APÊNDICE II – ORÇAMENTAÇÃO	93
APÊNDICE III – PLANTA BAIXA E DE LOCALIZAÇÃO DA REDE DE ESGOTO	96
APÊNDICE IV – SISTEMA DE TRATAMENTO	98
APÊNDICE V – SISTEMA DE TRATAMENTO - CORTES	100
ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DO DIMENSIONAMENTO DO WCH	102
ANEXO II – CARACTERÍSTICAS DO LEITO FILTRANTE DO WCH	105
ANEXO III – DETALHES CONSTRUTIVOS DO WCH	107
ANEXO IV – PLANTAS MACRÓFITAS PARA WCH	109
ANEXO V – CRITÉRIOS DE PROJETO DO WCH	111

ANEXO VI – TIPOS DE TRATAMENTO A MONTANTE DO WCH	113
ANEXO VII – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO ESPERADAS PARA WCH RECEBENDO EFLUENTE DE TRATAMENTO PRIMÁRIO	115

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Saúde (2017), a cada R\$ 1,00 investido em políticas de saneamento básico, R\$ 9,00 são economizados em investimentos para a saúde. De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (2018), que avalia os benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil, a taxa de mortalidade infantil acima da média mundial e a redução da longevidade no Brasil, se comparadas à países da América Latina, estão diretamente relacionadas com os serviços precários prestados no contexto do saneamento básico. O estudo apresenta dados que mostram que trabalhadores sem acesso à coleta de esgoto ganham salários cerca de 10% inferiores em relação aos que moram em locais com coleta de esgoto, além de comprovar que estudantes sem acesso à coleta de esgoto apresentam atrasos maiores em sua educação. Apesar da adoção de infraestrutura de saneamento básico trazer incremento à escolaridade média, à produtividade dos trabalhadores e consequentemente à economia, o país ainda carece de grande desenvolvimento no setor.

A Lei Federal nº 11.445, também conhecida como Lei do Saneamento Básico, institui a universalização do acesso ao saneamento básico por parte da sociedade, tendo essa sido alterada pelo Novo Marco do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que incentiva a entrada da iniciativa privada para a prestação de serviços de saneamento e torna a Agência Nacional das Águas a regulamentadora dessa prestação de serviços. As políticas de saneamento básico incluem o acesso, por parte da população, ao abastecimento de água potável, coleta e manejo de resíduos sólidos, drenagem de águas pluviais e coleta e tratamento de esgotos. Apesar do tratamento de esgotos estar previsto nesse conjunto de ações, segundo dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (2018), realizado pela Secretaria Nacional do Saneamento – SNS, apenas 46% do esgoto gerado no Brasil é tratado.

A desatenção conferida pelos órgãos responsáveis e pela população, quando em pauta o esgotamento sanitário, traz diversos impactos sociais. De acordo com o Globo Rural (2021), o tratamento de esgoto nas áreas rurais é 50% menor do que nas áreas urbanas. Além disso, segundo o Instituto Trata Brasil (2010), as periferias são preteridas em relação às capitais no quesito saneamento básico. A inexistência ou a ineficácia da infraestrutura de tratamento de esgotos sanitários acentua a incidência de doenças de transmissibilidade hídrica, tendo essas difícil enfrentamento por parte da população, principalmente por afetarem de forma majoritária as camadas mais pobres da sociedade, que possuem menos recursos. De acordo com Neira (2018):

“A transmissão de uma série de doenças, incluindo cólera, diarreia, disenteria, hepatite A, febre tifoide e pólio está ligada à água não segura e ao esgoto tratado inadequadamente. A falta de saneamento também é um fator importante na transmissão de doenças tropicais negligenciadas, como vermes, esquistossomose e tracoma, além de contribuir para a desnutrição”.

Além dos impactos na saúde pública, o esgoto sanitário sem tratamento adequado causa odores desagradáveis e consequências estéticas negativas, tornando o espaço sem atratividade econômica e urbanística. A adoção de um sistema de tratamento de esgotos eficaz traz ao entorno a melhoria do bem-estar social, causada pela diminuição de impactos negativos, como patologias e consequências ambientais, em detrimento da implantação e manutenção de uma infraestrutura adequada.

Delimitando esses aspectos para as esferas estaduais, o Estado do Rio Grande do Sul possui um índice médio de atendimento urbano de esgoto de 32%. Além disso, dos 497 municípios que constam nas informações fornecidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2018, 384 não possuem informações relacionadas ao tratamento de esgoto, sendo grande parte destes municípios de pequeno porte¹.

Por encontrarem dificuldades orçamentárias, os municípios de pequeno porte, em sua maioria, possuem uma infraestrutura precária no que diz respeito ao saneamento básico. Há pouco investimento no desenvolvimento de planejamento de projetos e ações e há grande desconhecimento, por parte da população, em relação aos seus direitos, no que diz respeito ao tema. Além de não possuírem o investimento necessário, as estruturas requeridas para o desenvolvimento das atividades necessitam de grande aporte financeiro.

Apesar do alto investimento que os serviços de saneamento requerem, no que tange a infraestrutura, são encontradas diversas soluções com custos reduzidos. Entre essas soluções é encontrado o sistema de *wetlands* construídos. Esse sistema é uma possibilidade para o tratamento de esgotos sanitários, possuindo baixo custo de operação e manutenção e bons índices no que diz respeito à eficiência de tratamento. Além disso, está em conformidade com o desenvolvimento de técnicas sustentáveis e é ideal para comunidades isoladas que não possuam grande densidade populacional, sendo uma alternativa para áreas rurais.

¹ Municípios com população total de até 50 mil habitantes (FUNASA, 2020)

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes utilizadas para o desenvolvimento do trabalho são apresentadas nos itens a seguir.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

O trabalho visa avaliar a possibilidade de implementação de um sistema *wetland* construído como tratamento de esgotos sanitários em um município de pequeno porte do Rio Grande do Sul.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a) Dimensionar uma solução para tratamento de esgotos sanitários que adote *wetlands* construídos como tratamento secundário;
- b) Dimensionar uma alternativa de tratamento primário e, em caso de necessidade, apresentar métodos combinados ao sistema;
- c) Realizar o dimensionamento da rede coletora de esgoto do município;
- d) Determinar os custos de implantação do sistema adotado;

2.2 DELIMITAÇÕES

O estudo será realizado para um município que se enquadre nos requisitos propostos para a implantação do sistema *wetland*. Esses requisitos incluem ser um município de pequeno porte do Rio Grande do Sul, não possuir sistema de tratamento de esgoto sanitário, possuir área disponível para a implantação do sistema escolhido, possuir topografia favorável e uma base de informações que possibilite a realização do estudo.

2.3 LIMITAÇÕES

A realização do projeto e das avaliações será limitada ao perímetro urbano do município.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica busca contextualizar os conceitos que são abordados no presente trabalho. Além disso, nessa é apresentada a relevância dos aspectos econômico-sociais e ambientais para a elaboração da solução.

3.1 SITUAÇÃO DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO RIO GRANDE DO SUL

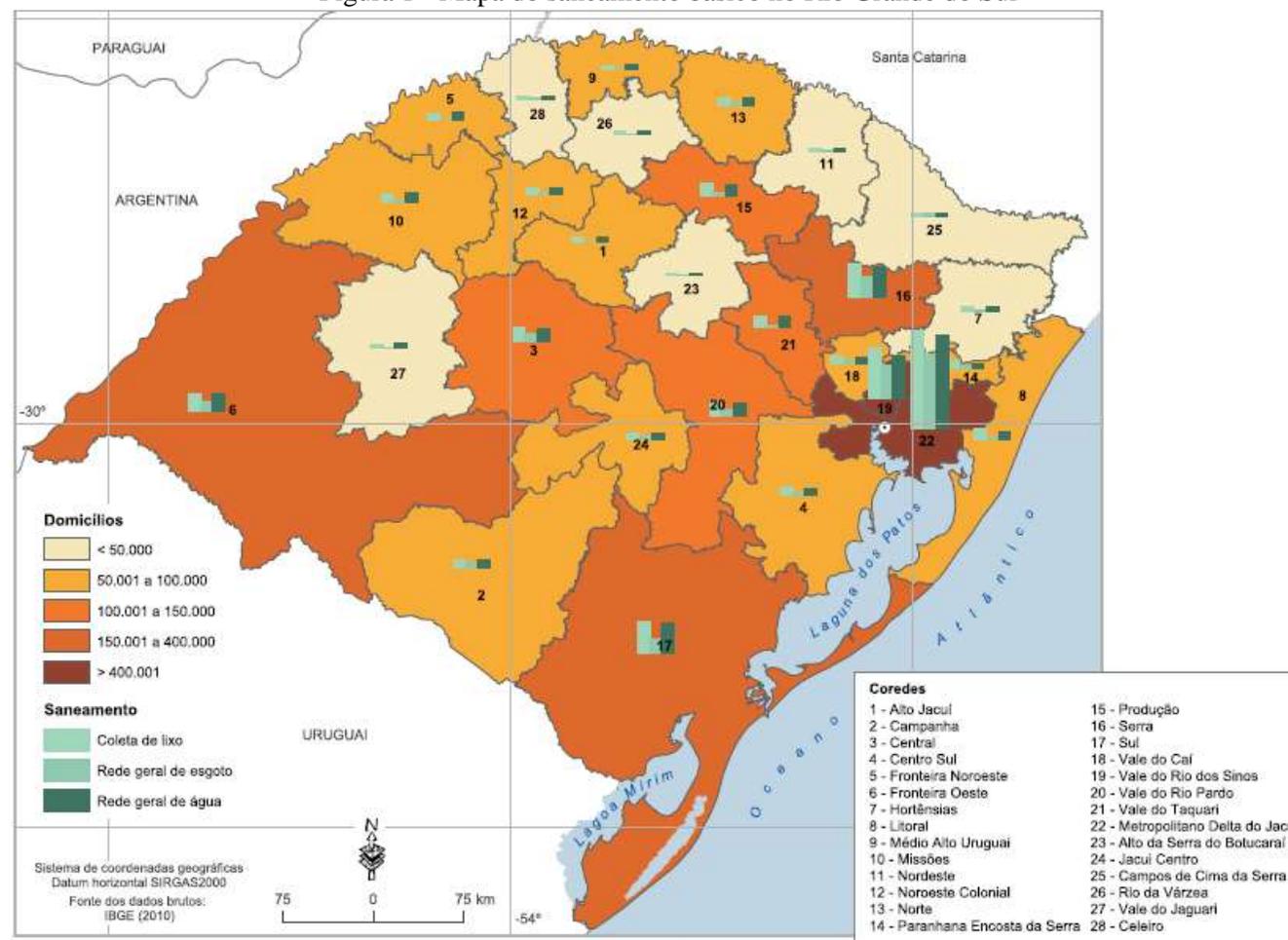
O saneamento básico no Rio Grande do Sul apresenta indicadores alarmantes quando relacionados ao esgotamento sanitário. Segundo o Instituto Trata Brasil (2020), é estimado que cerca de 32% da população recebe atendimento de coleta de esgoto e 26% do volume de esgotos é tratado. Além disso, é salientado que, segundo o Painel Saneamento Brasil (2018), cerca de 7.500 casos de doenças associadas à falta de saneamento foram registrados no Estado, sendo constatadas 6,5 internações para cada 10 mil habitantes, 156 mortes e R\$ 3,5 milhões de gastos em internações.

A Figura 1 apresenta a situação não só do esgotamento sanitário, como também do abastecimento de água e da coleta de resíduos sólidos no Estado. O mapa permite inferir que a região norte apresenta os piores índices em todos os aspectos contemplados pelo saneamento básico, e em especial o esgotamento sanitário. Além disso, a quantidade de domicílios pertencentes a essa região indica que há uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de habitantes dos municípios e o índice de atendimento do serviço de coleta de esgotos, sendo os municípios com menos de 100 mil habitantes os mais atingidos pela falta de coleta.

De acordo com o Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul (PLANESAN) (2017), a população da região norte habita majoritariamente a zona rural dos municípios e possui indicadores socioeconômicos abaixo da média do Estado. Alguns municípios possuem esgotos coletados em toda área urbana, entretanto, grande parcela desses resíduos são jogados *in natura* nos rios. Ainda, o PLANESAN salienta que cerca de 67% dos domicílios da zona rural do país depositam seus dejetos em fossas rudimentares², lançam em cursos d'água ou diretamente no solo, contaminando o lençol freático e o solo. Assim como nas outras regiões do país, a zona rural no Estado executa as mesmas práticas de destinação dos seus dejetos.

² poços escavados em terra, destinados a receber e acumular todo o esgoto, como fezes e urina, e demais descartes domiciliares, como água da pia da cozinha

Figura 1 - Mapa do saneamento básico no Rio Grande do Sul



Fonte: Atlas FEE, 2017.

3.2 ESGOTOS SANITÁRIOS

Por definição da ABNT NBR 9.648/1986, o esgoto sanitário é considerado o “Despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Essa mesma norma técnica traz as conceituações de esgotos domésticos, industriais, águas de infiltração e contribuição pluvial parasitária, sendo elas:

- a) Esgoto doméstico: “Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- b) Esgoto industrial: “Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;
- c) Águas de infiltração: “Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;
- d) Contribuições parasitárias: “Parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário”;

Segundo Von Sperling (1998), os efluentes que contribuem para as estações de tratamento de esgoto no Brasil são os domésticos, industriais e as águas de infiltração. O fato se deve ao sistema de coleta de esgotos adotado no país ser predominantemente o separador absoluto. O sistema separador absoluto não coleta esgotos pluviais, também conhecidos como os esgotos provenientes das águas das chuvas, sendo esses direcionados para um sistema de drenagem urbana destinado apenas para a coleta do efluente.

Para a determinação das necessidades quantitativas e qualitativas do sistema de tratamento de esgotos, são consideradas as vazões de contribuição de cada um dos tipos de efluentes envolvidos. Para Von Sperling (1998), a vazão de contribuição de efluentes domésticos corresponde a cerca de 80% do consumo *per capita* de água, considerando essa premissa como o coeficiente de retorno e mostrando que uma parcela significativa da água utilizada para fins domésticos necessitará de algum tipo de tratamento após o seu uso para as diversas finalidades. A vazão de infiltração leva em consideração as águas que adentram o sistema de coleta de esgotos através de rotineiros defeitos encontrados, como tubos danificados, sendo uma função da extensão da rede de coleta e de características do espaço contribuinte. Por fim, a vazão industrial leva em consideração o consumo de água e a produção de despejos das indústrias, que são resultado dos tipos de atividades desenvolvidas e dos processos relacionados à essas atividades.

O conjunto dessas vazões, além de ser em grande parcela constituído por água, também é constituído por matérias orgânicas e inorgânicas. Essas matérias são as responsáveis pelos

impactos negativos que os despejos indevidos de efluentes trazem ao ambiente, visto que podem ser constituídas por microrganismos patogênicos e substâncias tóxicas. A presença de organismos e substâncias que alteram a qualidade da água torna necessário que sejam utilizados tratamentos de esgotos sanitários que adequem os efluentes à conformidade com os parâmetros de qualidade desejados para o seu despejo.

3.2.1 Tratamento de esgotos sanitários

Para Von Sperling (1998), para a concepção do método de tratamento a ser utilizado, devem ser identificados os objetivos do tratamento. Os objetivos são determinados a partir do estudo dos impactos ambientais causados pelo efluente despejado no corpo receptor. A partir dos parâmetros determinados pela legislação, são determinados os padrões de qualidade da água que esse efluente deverá alcançar antes de ser lançado no corpo receptor. Os padrões de qualidade, por sua vez, são determinantes para a escolha do nível de tratamento necessário. A definição do nível de tratamento permite que seja feita a escolha do método de tratamento mais adequado para a obtenção dos requisitos a serem alcançados. O Quadro 3-1 relaciona os diferentes níveis de tratamento de esgotos existentes.

Quadro 3-1 - Níveis de Tratamento de Esgotos

Nível	Remoção
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia);
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis; - DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis);
Secundário	- DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário); - DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos);
Terciário	- Nutrientes; - Patogênicos; - Compostos não biodegradáveis; - Metais pesados; - Sólidos orgânicos dissolvidos; - Sólidos em suspensão remanescentes;

Nota: a remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário, dependendo da concepção de tratamento local

Fonte: Von Sperling, 1998.

3.2.2 Caracterização dos esgotos domésticos

Segundo Von Sperling (1998), a característica do esgoto é função dos usos à qual a água foi submetida, sendo esses usos variáveis de acordo com o clima local, situação socioeconômica e hábitos da população. As características correspondentes aos efluentes podem ser divididas em físicas, químicas e biológicas. As características físicas do esgoto englobam os parâmetros

temperatura, cor, odor e turbidez. Quanto às características biológicas, os principais microrganismos encontrados no esgoto são bactérias, fungos, protozoários e vírus. O Quadro 3-2 apresenta as principais características químicas do esgoto.

Quadro 3-2 - Principais características químicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
Sólidos Totais	Em suspensão: Fração de sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis (não dissolvidos)
	Dissolvidos: Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis
	Sedimentáveis
Matéria Orgânica	Fixos: Componentes minerais, não incineráveis, inertes, dos sólidos em suspensão
	Voláteis: Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão
	Fixos: Componentes minerais dos sólidos dissolvidos
	Voláteis: Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos
Nitrogênio Total	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff. Indicação aproximada da sedimentação em um tanque de decantação
	Determinação Indireta
	Determinação Direta
Fósforo	DBO ₅ : Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida em 5 dias a 20°C, é a medida de oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na estabilização bioquímica da matéria orgânica
	DQO: Demanda Química de Oxigênio, representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea
pH	DBO última: Demanda Última de Oxigênio, representa o consumo total de oxigênio requerido pelos microrganismos para a estabilização bioquímica da matéria orgânica
	COT: Carbono Orgânico Total, é uma medida direta da matéria orgânica carbonácea e é determinada através da conversão do carbono orgânico a gás carbônico.
	Nitrogênio Orgânico: Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácido e ureia
	Amônia: Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico
	Nitrito: Estágio intermediário da oxidação da amônia, sendo praticamente ausente no esgoto bruto
	Nitrato: Produto da oxidação da amônia, sendo praticamente ausente no esgoto bruto
	Fósforo Orgânico: Combinado à matéria orgânica
	Fósforo Inorgânico: Ortofosfato e polifosfatos
	Indicador das características ácidas e básicas do esgoto.
	- Para pH > 7,0: solução básica
	- Para pH < 7,0: solução ácida
	- Para pH = 7,0: solução neutra

Parâmetro	Descrição
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações de pH)
Cloretos	Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos
Óleos e Graxas	Fração de matéria orgânica solúvel em hexanos

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1998.

3.3 SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Segundo o Ministério da Saúde (2018), os serviços de esgotamento sanitário podem ser prestados de forma centralizada ou descentralizada. O sistema centralizado direciona todos os esgotos gerados em uma determinada região para um único ponto, enquanto o sistema descentralizado coleta, trata e lança o efluente tratado em local próximo à geração.

Em se tratando de pequenos municípios, as soluções centralizadas são pouco adotadas, visto que exigem altos custos de implantação, operação e manutenção, sendo essas estruturas de grande porte. Em contrapartida, de acordo com Tonetti *et al.* (2018), sistemas descentralizados ganham cada vez mais espaço entre os métodos de tratamento de esgotos por demandarem menos recursos financeiros, contribuírem com a sustentabilidade local e proporcionarem a possibilidade de reutilização do efluente tratado. Para Júnior (2013), tratamentos descentralizados são alternativas sustentáveis para locais com baixa densidade populacional, devido a sua simplicidade e efetividade de custos.

Segundo Tonetti *et al.* (2018), para a garantia da sustentabilidade da alternativa a ser adotada, a escolha do método a ser utilizado deve considerar aspectos sociais, econômicos e ambientais. Além disso, a eficiência tecnológica, o gerenciamento de resíduos produzidos e os custos de implantação, operação e manutenção devem estar em conformidade com as políticas e regulamentações do local.

3.3.1 Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos

De acordo com Massoud (2008), para países em desenvolvimento, as soluções descentralizadas são confiáveis, de menor custo e boas a longo prazo para pequenas comunidades. O Quadro 3-3 apresenta as vantagens associadas ao uso de sistemas descentralizados para o tratamento de esgotos.

Quadro 3-3 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos

Área	Vantagens
Social	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuem para a melhoria da saúde da população local; - Podem gerar trabalho e renda; - Podem ajudar a produzir alimentos, contribuindo para a segurança alimentar; - São adaptáveis aos costumes e à cultura; - Normalmente são bem aceitos pela população e entidades fiscalizadoras; - Podem ajudar a compor o paisagismo local;
Econômico	<ul style="list-style-type: none"> - Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação; - Consomem pouca energia e insumos externos;

Área	Vantagens
	<ul style="list-style-type: none"> - Alguns subprodutos do sistema têm valor comercial e podem gerar renda (alimentos, biogás, plantas ornamentais); - Há economia em adubos quando se utiliza o esgoto tratado na agricultura;
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas unifamiliares podem ser compactos; - Usam poucos insumos e energia na construção e operação; - Reduzem a poluição do solo e corpos hídricos locais; - Promovem o reuso de água e de nutrientes localmente;
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> - Têm boa flexibilidade operacional; - Podem ser ampliados ao longo do tempo; - Têm baixo consumo de materiais e energia; - Não requerem mão de obra especializada;

Fonte: Tonetti *et al.*, 2018.

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 377/2006, a critério do órgão ambiental competente, as estações que operam vazões menores ou iguais a 50 L/s ou com atendimento de até 30.000 habitantes podem ser enquadradas como estações descentralizadas. Além disso, a Resolução do CONAMA nº 430/2011 especifica que além do lançamento em corpos d'água, o lançamento dos efluentes pode ser feito por infiltração no solo, desde que respeite os padrões de lançamento estabelecidos, o que pode fazer com que não haja necessidade de adoção de rede coletora.

O Quadro 3-4 apresenta as principais tecnologias adotadas para o tratamento de esgoto em comunidades isoladas.

Quadro 3-4 - Síntese das principais características das tecnologias selecionadas para o tratamento de esgoto de comunidades isoladas.

Tecnologia	Tipo de esgoto tratado	Necessário unidade de pré-tratamento	Tipo de sistema	Área necessária*	Eficiência de remoção de matéria orgânica	Frequência de manutenção	Remoção do Lodo	Custo**
Sistemas alagados construídos	- Águas cinzas; - Esgoto pré-tratado;	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	7,5 a 15 m ²	80% ou mais	2 a 4 vezes por ano	Não	R\$ 1.500,00 a 2.500,00/ano
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	- Água do vaso sanitário; - Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m ²	50 a 79%	2 a 4 vezes por ano	Sim	R\$ 1.500,00 a 2.500,00/ano
Tanque séptico	- Águas de vaso sanitário; - Águas cinzas; - Esgoto doméstico;	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m ²	50 a 79%	1 vez por ano	Sim	R\$ 500,00 a 1.500,00/ano
Filtro anaeróbio	- Esgoto pré-tratado;	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m	50 a 79%	1 vez por ano	Sim	R\$ 500,00 a 1.500,00/ano
Filtro de areia	- Esgoto pré-tratado;	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	2 a 5 m ²	80% ou mais	5 vezes ou mais por ano	Não	R\$ 500,00 a 1.500,00/ano
Vermifiltro	- Águas de vaso sanitário; - Águas cinzas; - Esgoto doméstico; - Esgoto pré-tratado;	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	2 a 4 m ²	50 a 79%	5 vezes ou mais por ano	Sim, na forma de húmus de minhoca	R\$ 500,00 a 1.500,00/ano
Biodigestor	- Águas de vaso sanitário; - Esgoto doméstico;	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	5 m ²	50 a 79%	5 vezes ou mais por ano	Sim	R\$ 1.500,00 a 2.500,00/ano
RAFA Compacto	- Águas de vaso sanitário; - Esgoto doméstico;	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	3 a 8 m ²	50 a 79%	1 vez por ano	Sim	R\$ 1.500,00 a 2.500,00/ano
Biossistema integrado (BSI)	- Águas de vaso sanitário;	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	25 a 100 m ²	80% ou mais	5 vezes ou mais por ano	Sim	R\$ 1.500,00 a 2.500,00/ano

Tecnologia	Tipo de esgoto tratado	Necessário unidade de pré-tratamento	Tipo de sistema	Área necessária*	Eficiência de remoção de matéria orgânica	Frequência de manutenção	Remoção do Lodo	Custo**
	- Esgoto doméstico;							

*Para um sistema que atende até 5 pessoas.

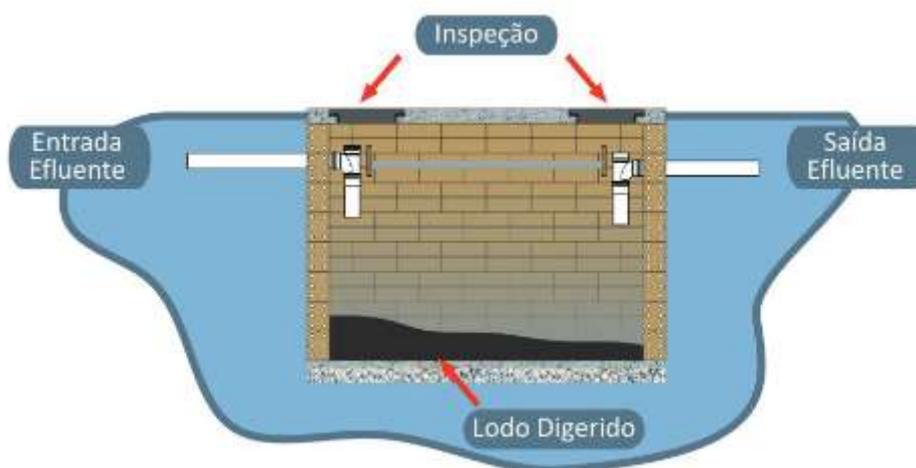
**Valores calculados para 2018 para um sistema que atende até 5 pessoas.

Fonte: Tonetti *et al.*, 2018.

3.4 TANQUE SÉPTICO

O tanque séptico é considerado um bom reator para o tratamento primário de esgotos, além de ser de fácil operação, construção e baixo custo (FUNASA, 2014). Segundo Tonetti *et al.* (2018), o tanque séptico é uma unidade de tratamento para águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico, sendo constituído por uma câmara que armazena esgoto por um determinado período, nessa ocorrendo sedimentação dos sólidos e flutuação dos óleos e gorduras. Os sólidos sedimentados formam o lodo com os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Figura 2 - Esquema com os principais componentes de um tanque séptico



Fonte: FUNASA, 2014.

Há a disponibilidade de compra de tanques sépticos pré-fabricados. Esses produtos, de acordo com as especificações apresentadas pela Acqualimp (2021), são fabricados de acordo com a NBR 7.229/1993, específica para a utilização de tanques sépticos. São constituídos por polietileno de alta densidade (PEAD), hermeticamente fechados e à prova de vazamentos e infiltrações. Além disso, não sofrem ações corrosivas e mesmo após usados podem ser retirados e reutilizados em outros locais.

3.5 WETLAND CONSTRUÍDO

Kadlec e Wallace (2008) conceituam *wetland*, também chamados de banhados construídos, jardins filtrantes e banhados alagados, como terras que se encontram alagadas durante parte do ou todo o ano devido à sua localização. A água em abundância permite que a produção biológica nos *wetlands* seja uma das maiores nos ecossistemas existentes. Além da presença de água nesse ecossistema, há a ocorrência de plantas macrófitas. Esse ecossistema, também denominado *wetland* natural, tem a capacidade de transformar poluentes de águas

residuais em subprodutos e nutrientes essenciais. De Paoli e Von Sperling (2013) afirmam que essa remoção dos poluentes acontece por meio das interações entre os efluentes e os sedimentos, as plantas, a atmosfera, os microrganismos e o meio suporte que constituem o ecossistema. Essas interações envolvem processos físicos, químicos e biológicos. A Figura 3 mostra o pantanal brasileiro que, segundo o jornal The Guardian (2018), é considerado o maior *wetland* natural do mundo.

Figura 3 - Pantanal Brasileiro



Fonte: The Guardian, 2018.

De acordo com Salati (2011), utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água em *wetlands* naturais, é possível obter ecossistemas artificiais que reproduzem os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no ecossistema natural. Esse ecossistema artificial é conhecido como *wetland* construído (WC).

Os sistemas de WC visam, além de reproduzir as características de *wetlands* naturais, potencializar as características que colaboram para uma melhor qualidade no tratamento da água residuária. De acordo com o Ministério da Saúde (2018), esses sistemas podem ser utilizados para tratamento de efluentes domésticos, industriais, agrícolas, pluviais e para controle de enchentes, retenção de sedimentos e restauração de rios urbanos poluídos. Ainda, são sistemas com eficiência de remoção de poluentes superior às demais soluções descentralizadas, com baixo custo de implantação, manutenção e operação, sendo essa simplificada, e sendo considerados uma vantajosa alternativa de tratamento descentralizado de esgotos. Tonetti *et al.* (2018) recomendam que o sistema de banhados construídos seja utilizado como unidade complementar de tratamento de esgoto, sendo precedido por tratamento primário, como tanque séptico, biodigestor ou reator anaeróbio compartimentado, a fim de evitar entupimento do material filtrante. Segundo Leal *et al.* (2017), a demanda considerável de área

para a implantação dessa tecnologia se dá porque as interações despoluidoras ocorrem em taxas inferiores se comparadas aos sistemas convencionais. Ainda, Leal considera que a paisagem local é beneficiada pela estética do sistema. De acordo com Silva (2007), esses sistemas possuem tolerância às flutuações no ciclo hidrológico.

Segundo Amancio (2016), os custos de implantação desse sistema são variáveis, mas costumam atingir investimentos de 50 a 90% menores que um sistema de tratamento convencional. Além disso, a vida útil do sistema se mostra favorável. Para Sezerino (2015), a vida útil é relacionada com a correta manutenção do sistema, que deve garantir que seja realizada a remoção de sólidos grosseiros e sólidos em suspensão através de tratamento primário. O estudo de Rouso (2014), mostra que, se a manutenção for feita devidamente, o sistema pode operar com boa eficiência por pelo menos 20 anos.

Apesar das diversas vantagens, a utilização dos banhados construídos possui desvantagens. De acordo com Lima (2016), pode ocorrer a colmatção do meio suporte com alguma frequência, demandando controle constante da carga hidráulica aplicada no sistema, a fim de reduzir as chances de ocorrência. A eficiência do sistema é influenciada pelo clima do local, sendo maior em temperaturas mais altas. Além disso, pode haver, após um tempo, acúmulo de compostos orgânicos removidos pelo sistema e é requerido um período de início até a vegetação se estabelecer. Para Jesus e Winckler (2015), a maior desvantagem da utilização de banhados é a necessidade de grandes áreas para a implantação do sistema.

3.5.1 Sustentabilidade Ambiental

De acordo com Santiago (2008) *apud* UNEP (2004), entre as vantagens ambientais da utilização de WC podem ser citadas as seguintes:

- Emprego de energia solar nos processos envolvidos;
- A remoção de metais pesados e contaminantes orgânicos através da utilização de fitotecnologias específicas, como fitoextração e rizodegradação;
- Possibilidade de transformação de poluentes em produtos benéficos, como biomassa a partir dos nutrientes, podendo ser utilizada como bioenergia para a comunidade local;

Além disso, o sistema atende aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)³ propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Entre os dezessete objetivos propostos, os que interagem com os processos e produtos que envolvem WC são os seguintes⁴:

- Saúde e bem-estar: com o a realização do tratamento de esgotos há redução na incidência de doenças de transmissão hídrica e consequente melhora da saúde pública. Além disso, o direcionamento de esgotos para tratamento reduz a incidência de odores e exposição de dejetos, proporcionando um ambiente mais agradável para a população residente;
- Água potável e saneamento: o objetivo visa universalizar o acesso da população ao saneamento básico, estando o tratamento de esgotos realizado pelos WC colaborando para essa universalização;
- Energia acessível e limpa: WC possuem consumo energético nulo, sendo baseada puramente em processos naturais e apresentando sustentabilidade energética;
- Trabalho decente e crescimento econômico: as rotinas de operação e manutenção dos sistemas WC são mais simples que os tratamentos convencionais. Não utilizam produtos químicos e não geram ruídos ou vetores, promovendo ambientes de trabalho mais seguros para os operadores.
- Indústria, inovação e infraestrutura: visando a construção de infraestruturas confiáveis, modernas e resilientes, esse objetivo é contemplado pelos WC por esses apresentarem soluções robustas, com segurança operacional e por terem se tornado um ícone de sustentabilidade socioambiental em indústrias e empreendimentos;
- Cidades e comunidades sustentáveis: WC são uma tecnologia que permite a integração harmônica, paisagística e sustentável entre tratamento de esgotos, meio ambiente e população. Com a utilização das plantas, é possível transformar o ambiente em um jardim ou área verde;
- Ação contra a mudança global do clima: WC não emitem gases de efeito estufa, não contribuindo com o aquecimento global;
- Vida na água: o objetivo engloba reduzir significativamente a poluição marinha provinda da atividade terrestre. O tratamento de esgotos por WC faz com que ocorra redução do lançamento de substâncias poluidoras em corpos d'água, preservando o ambiente marinho;

³ criados para estimular o curso global de ação rumo ao desenvolvimento sustentável, buscando o equilíbrio das suas três dimensões: a econômica, a social e a ambiental.

⁴ Disponível em: < <https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-constru%C3%ADdos-e-os-ods-o-futuro-do-saneamento>> Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

- Vida terrestre: esse objetivo inclui promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres e de água doce, entre eles as zonas úmidas. Sendo áreas úmidas construídas, os *wetlands* contribuem para a proteção e conservação da biodiversidade das espécies dos habitats em que se encontram;

3.5.2 Princípios do Tratamento

Os principais fatores que influenciam no tratamento de efluentes realizado por WC são as plantas macrófitas, o meio filtrante utilizado e os microrganismos envolvidos.

I. Plantas macrófitas

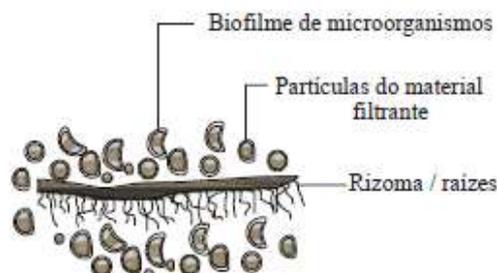
De acordo com Trindade *et al.* (2010), as plantas aquáticas possuem capacidade de absorver o excesso de nutrientes e poluentes da água na qual estão se desenvolvendo. Para Barreto (2011), essas plantas proporcionam grande área superficial para a fixação e crescimento de microrganismos, estabilizam o leito filtrante, reduzem a velocidade do escoamento e fornecem carbono orgânico e oxigênio na rizosfera, sendo esse oxigênio auxiliar nos processos aeróbios e de nitrificação. Essas plantas, segundo Santiago (2008), auxiliam na remoção de metais pesados e outras substâncias tóxicas. Além de participarem do processo de tratamento do efluente, essas plantas promovem embelezamento paisagístico.

Tanner (1995) especifica que para a escolha adequada da macrófita a ser utilizada deve ser verificada a impossibilidade de ocorrência de ervas daninhas ou espécies que possam interferir no ecossistema existente. A planta deve tolerar as condições climáticas do local, poluentes e alagamentos, além de possuir rápido crescimento e alta capacidade de remoção de poluentes.

II. Meio Filtrante

De acordo com o Ministério da Saúde (2018), o meio filtrante atua de forma física, química e bioquímica no tratamento de esgotos em WC. A atuação de forma física se dá através da filtração do esgoto. Na forma química, essa atuação acontece com o processo de adsorção de poluentes sobre os grãos que constituem o meio suporte. A forma bioquímica ocorre pela atuação do meio como suporte para o desenvolvimento do biofilme bacteriano. A Figura 4 apresenta a formação do biofilme em torno do material filtrante.

Figura 4 - Representação esquemática da formação do biofilme aderido ao material filtrante nas raízes



Fonte: Sezerino, 2006.

Segundo Sezerino (2006), a escolha do material deverá ser feita com base na finalidade do tratamento a ser realizado. Podem ser utilizados pedregulhos, areias, siltes e argilas, levando em consideração para a utilização a boa permeabilidade e a promoção de adsorção por parte do material.

III. Microrganismos

No sistema de WC estão presentes principalmente protozoários e bactérias, sendo as últimas os microrganismos predominantes. Formando um biofilme em torno dos grãos do material filtrante, essas bactérias são de extrema importância na decomposição da matéria orgânica, sendo as principais responsáveis pela degradação biológica que ocorre, pela oxidação da matéria carbonácea e pela nitrificação e desnitrificação (SEZERINO, 2006).

3.5.3 Remoção dos poluentes

Por meio da utilização das plantas macrófitas, do meio filtrante e da presença dos microrganismos é obtido um ambiente propício para a ocorrência das reações aeróbias e anaeróbias envolvidas na remoção de poluentes. Essas reações resultam na redução ou eliminação de sólidos suspensos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e patógenos, como é apresentado, juntamente com seus respectivos mecanismos de remoção, no Quadro 3-5.

Quadro 3-5 - Principais mecanismos de remoção de poluentes e patógenos em WC

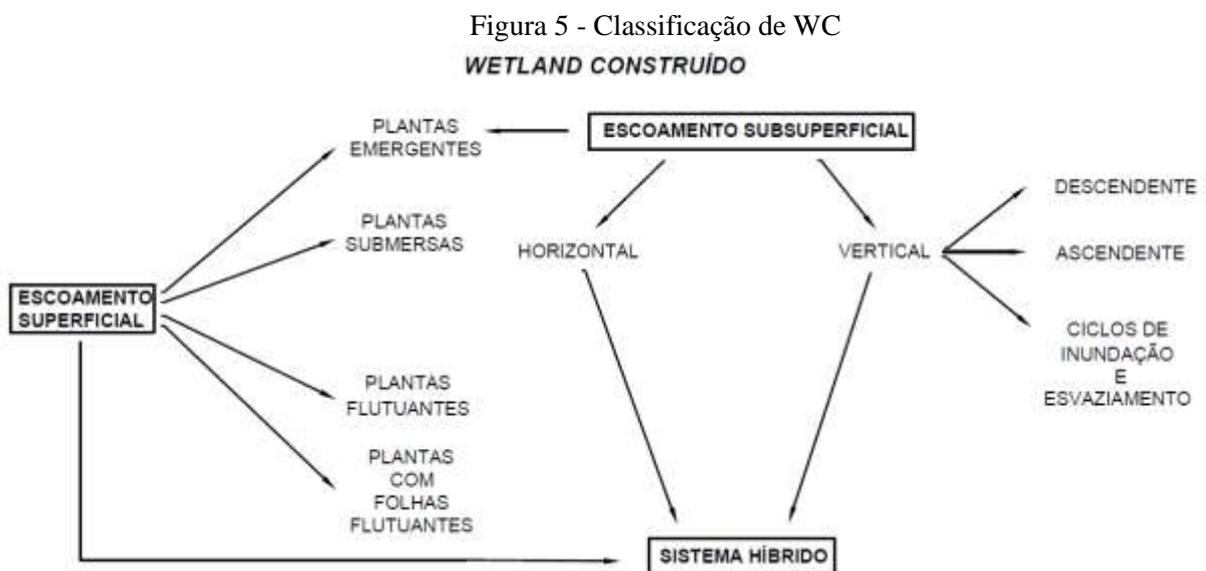
Parâmetro	Principal mecanismo de remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação e filtração
Matéria Orgânica	Sedimentação e filtração para a remoção de partículas de matéria orgânica, degradação biológica (aeróbia e/ou anaeróbia) para a remoção de matéria orgânica dissolvida
Nitrogênio	Amonificação e subsequente nitrificação e desnitrificação, retirada pela planta, adsorção e volatilização da amônia
Fósforo	Reações de adsorção e precipitação impulsionados por propriedades do filtro, retirada pela planta

Parâmetro	Principal mecanismo de remoção
Patógenos	Sedimentação, filtração, morte natural ou predatória (por protozoários ou metazoários)

Fonte: Adaptado de Philippi e Sezerino, 2004.

3.5.4 Modalidades

Wetlands construídos são encontrados em diferentes modalidades, tendo essas diferentes finalidades. Mendonça (2015), especifica dois tipos de sistemas de WC, sendo eles os de escoamento superficial e o de escoamento subsuperficial. A Figura 5 apresenta as modalidades de WC mais comumente utilizadas.



Fonte: Adaptado de Mendonça, 2015.

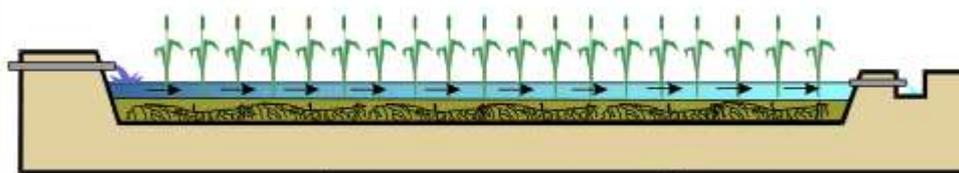
Segundo Mendonça (2015), WC de Escoamento Superficial (WCS) e de Escoamento Subsuperficial (WCSS) se diferem quanto ao nível da lâmina d'água na superfície do substrato, tendo a superficial lâmina d'água acima da superfície e o subsuperficial lâmina d'água abaixo da superfície. O sistema híbrido é a combinação dos sistemas superficial e subsuperficial, buscando uma potencialização dos resultados obtidos por esses e obtendo um resultado final com melhores indicadores no tratamento dos efluentes.

3.5.4.1 Sistemas de Escoamento Superficial

Segundo Dotro *et al.* (2017), sistemas de escoamento superficial possuem áreas que, geralmente, são levemente recarregadas. Possuem vários gêneros de plantas que podem ser utilizados e são geralmente utilizados em tratamentos de nível terciário. Esse sistema realiza o tratamento do efluente através da utilização de substrato e plantas emergentes. Segundo Mendonça (2015), o processo de tratamento do esgoto ocorre através de filtração, oxidação

biológica, adsorção e precipitação. A Figura 6 ilustra a composição de um sistema de escoamento superficial.

Figura 6 - WC de Escoamento Superficial



Fonte: Salati, 2006.

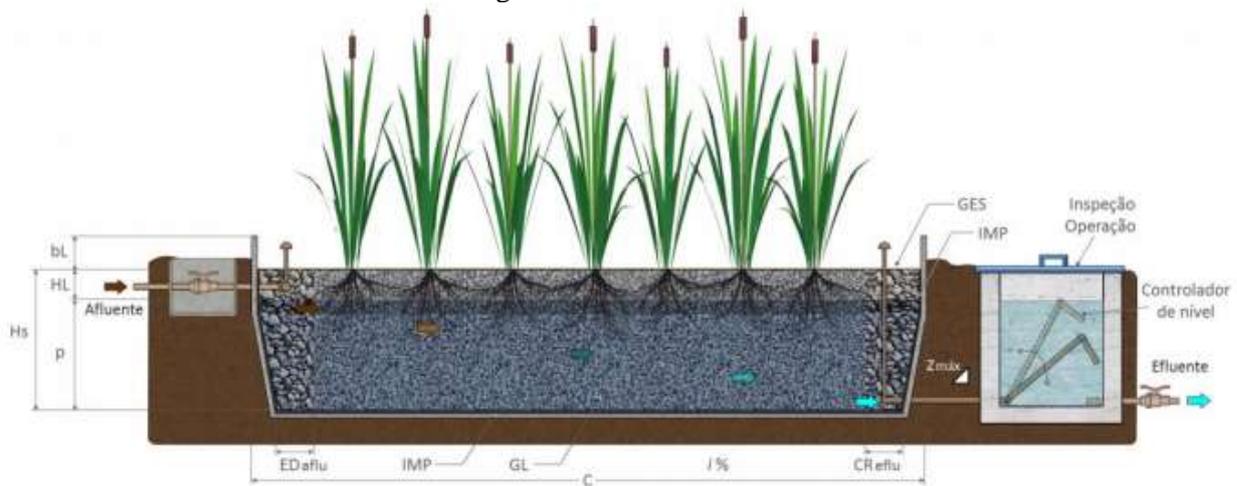
3.5.4.2 Sistemas de Escoamento Subsuperficial

Os sistemas de escoamento subsuperficial, de acordo com Dotro *et al.* (2017), são divididos em subsuperficial de fluxo horizontal (WFH) e vertical (WFV). O de fluxo vertical, por sua vez, pode ser dividido em ascendente e descendente. Essas modalidades são geralmente utilizadas para tratamentos de nível secundário. Segundo Von Sperling, (2013), o fato de não haver lâmina d'água livre faz com que diminua a ocorrência de maus odores e surgimento de mosquitos e ratos. De acordo com Sezerino e Von Sperling (2018), é indicado que tanto os sistemas de fluxo horizontal quanto os de fluxo vertical recebam afluentes submetidos previamente ao tratamento primário, sugerindo o tanque séptico como alternativa para esse tratamento.

- **Fluxo Horizontal**

Segundo Sezerino e Von Sperling (2018), o líquido afluente é disposto na parte inicial do sistema, chamada “zona de entrada”. Após a passagem pela zona de entrada, o líquido passa pela zona principal do leito, por onde escoar de forma vagarosa até atingir a zona de saída, localizada na extremidade oposta à zona de entrada. Ainda, é colocado que o escoamento ocorre de maneira predominante e no sentido horizontal, ao longo da seção, e o líquido fica abaixo do nível superior do material filtrante, estando o meio saturado hidráulicamente durante o processo. Devido à condição de saturação da água ocorre, sobretudo, o processo de degradação anaeróbia. De acordo com Dotro *et al.* (2017), é necessário tratamento primário para evitar colmatação do filtro. A Figura 7 apresenta a ilustração de um WFH.

Figura 7 - WC de Fluxo Horizontal

**Legenda:**

Hs - altura do meio suporte;
 p - profundidade útil do líquido;
 HL - distância vertical entre o nível superior do esgoto e o topo do meio suporte;
 Hs - altura do meio suporte (substrato);
 bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede.
 C - comprimento longitudinal;
 Zmáx - declividade máxima do talude interno (quando necessário);

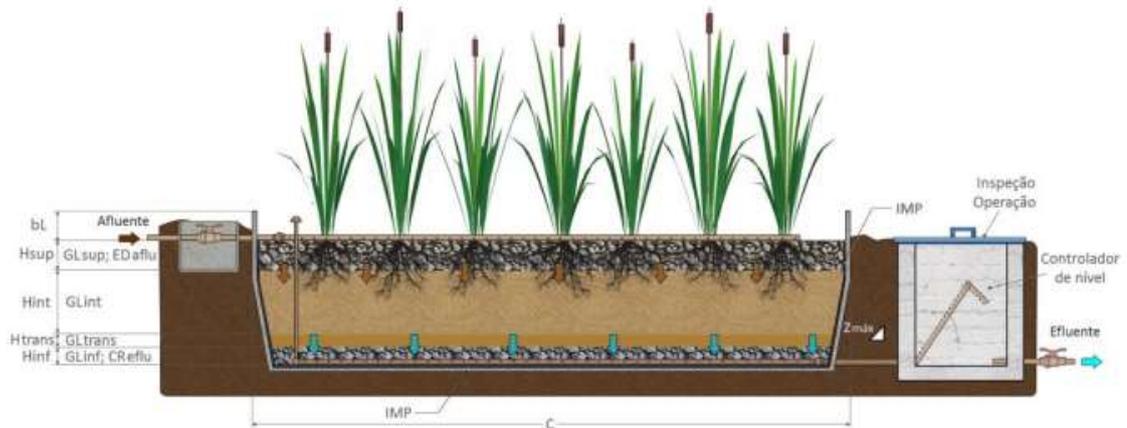
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);
 GES - granulometria da zona de entrada e saída;
 GL - granulometria do leito filtrante;
 ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente;
 CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente;
 i % - declividade longitudinal de fundo.

Fonte: Sezerino e Von Sperling, 2018.

- **Fluxo Vertical**

Dotro *et al.* (2017) conceituam que nesse sistema o efluente é lançado de forma intermitente na superfície do meio filtrante e o percola verticalmente através das raízes das plantas macrófitas presentes. Como ocorre intervalo entre os lançamentos, o meio não está sempre saturado e entre esses intervalos dos lançamentos ocorre a entrada de oxigênio, permitindo que um processo de degradação aeróbia aconteça e permitindo a ocorrência da nitrificação da amônia. Para evitar que ocorra colmatção do filtro, é necessário que seja feito tratamento primário do esgoto. Segundo Von Sperling (2018), esses sistemas costumam necessitar de bombas ou sifões para a alimentação no leito de operação. A Figura 8 ilustra uma WFV.

Figura 8 - WC de Fluxo Vertical

**Legenda:**

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

Fonte: Sezerino e Von Sperling, 2018.

3.5.4.3 Sistemas Híbridos

De acordo com Sezerino *et al.* (2018), sistemas híbridos são definidos como arranjos onde são dispostas diferentes modalidades de *wetland* em sequência, combinando diferentes características e permitindo que seja otimizada a eficiência do tratamento do efluente. Enquanto os sistemas verticais promovem nitrificação por serem bem oxigenados, os sistemas horizontais promovem boa desnitrificação por serem anóxicos, tornando interessante a associação em série destes sistemas (SEZERINO, 2006).

3.5.5 Indicadores de eficiência

O resultado obtido pelo tratamento pelos diferentes modelos depende, além da constituição do sistema, do nível de tratamento no qual são empregados. A Tabela 1 apresenta os valores de eficiência dos tratamentos realizados pelos modelos de WC apresentados.

Tabela 1 - Valores de eficiência de remoção dos principais WC

Parâmetros	WFH	WFV ^a	WFS
Nível de tratamento	Secundário	Secundário	Terciário
Sólidos Suspensos Totais	>80%	>90%	>80%
Matéria Orgânica (DBO ₅)	>80%	>90%	>80%
Nitrogênio Amoniacal	20 – 30%	>90%	>80%
Nitrogênio Total	30 – 50%	<20%	30 – 50%
Fósforo Total	10 – 20%	10 – 20%	10 – 20%
Coliformes	2 log ₁₀	2 - 4 log ₁₀	1 log ₁₀

^aCamada única de FV, com camada principal constituída de areia (tamanho do grão 0.06 – 4 mm)

Fonte: Adaptado de *Treatment Wetlands*, 2017.

3.5.6 Operação e manutenção

De acordo com Sezerino *et al.* (2018), a fim de controlar a colmatação e o crescimento do sistema de raízes das plantas, é recomendado que seja realizada periodicamente a medição de vazão no dispositivo de saída. A diminuição das vazões de pico de saída pode indicar o amadurecimento em termos de crescimento das plantas e o possível entupimento do meio filtrante.

Ainda, deve ser realizada regularmente a poda das plantas, de maneira a estimular o crescimento dessas e, com isso, garantir que ocorra uma maior remoção de poluentes por fitoextração. Não havendo frequência determinada para essa poda, deve ser observado o tempo para que a planta possa crescer e o tempo que a planta começa a ressecar, sendo a partir desse ponto necessária a poda. A poda deve ser feita de forma inclinada para que não ocorra acúmulo de água da chuva no caule, o que pode diminuir seu crescimento. Além disso, o corte deve retirar boa parte do tecido folhar, ao passo que não deve retirar por completo a parte aérea da planta. Além da poda, é necessário que seja feito o controle visual de pragas, garantindo que não ocorra comprometimento das macrófitas. Como não é necessária mão de obra especializada, os custos de operação envolvem ter um responsável pela manutenção especificada.

3.6 PROJEÇÃO POPULACIONAL

Para fins de elaboração de projetos de saneamento, é necessário o conhecimento das projeções de uso do sistema ao longo dos anos. Para que a projeção de vazão anual seja estimada, é necessária a realização da projeção populacional do local em questão. Os métodos mais comumente utilizados para esta determinação são os métodos de crescimento aritmético, geométrico e da curva logística.

Segundo Penner *et al.* (2017), apesar do método da curva logística ser mais preciso, há a necessidade de uma série histórica maior, não sendo possível a utilização dos dados dos censos

do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Partindo-se de dados dos últimos censos, é possível a utilização dos métodos aritmético e geométrico com a obtenção de bons resultados.

Von Sperling (1998) conceitua que o método aritmético traz o crescimento populacional segundo uma taxa constante. O método consiste na determinação e posterior aplicação da taxa de crescimento, sendo essa baseada nos dados coletados em períodos anteriores.

3.7 REDE COLETORA

De acordo com a BRK Ambiental (2020), as redes de esgoto coletam, através de canalizações, a água utilizada em residências, prédios, indústrias e comércio. Além disso, é definido que a rede de esgoto é um conjunto de tubulações que transporta o esgoto coletado até a estação de tratamento de esgoto. A NBR 9.649/1986 conceitua a rede coletora de esgoto como sendo o conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgoto e órgãos acessórios. O Quadro 3-6 traz conceitos relacionados à rede coletora.

Quadro 3-6 - Definições relacionadas à rede coletora

Item	Definição
Ligação Predial	Trecho do coletor compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto
Coletor de esgoto	Trecho da rede coletora que recebe as contribuições de esgoto advindos das ligações prediais a ele ligadas
Coletor principal	Coletor de esgoto com a maior extensão em uma mesma bacia hidrossanitária
Coletor tronco	Trecho da rede coletora que recebe apenas contribuição dos coletores de esgoto
Emissário	Trecho da rede que recebe apenas contribuição de esgoto da extremidade a montante
Trecho	Segmento de tubulação compreendido entre singularidades sucessivas, sendo essas singularidades órgãos acessórios, mudanças de direção, seção, declividade ou mudança significativa de vazão
Diâmetro nominal (DN)	Diâmetro utilizado para a classificação das dimensões de tubulações e acessórios
Órgãos acessórios	Poço de visita (PV): câmara visitável localizada na rede. Possui abertura superior pela qual é possível a realização de manutenções. Devem estar dispostos nos pontos singulares da rede (início de coletor, mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e mudança de material, reunião de coletores e onde há degraus. Terminal de limpeza (TL): permite a inserção de equipamentos de limpeza, estando localizado na cabeceira dos coletores. Pode substituir o PV no início dos coletores
Profundidade	Diferença entre a cota do terreno e a cota da geratriz inferior interna da tubulação

Item	Definição
Recobrimento	Diferença entre a cota do terreno e a cota da geratriz superior externa da tubulação (não inferior a 0,9 m para coletor assentado no leito da via do tráfego)
Tubo de queda	Dispositivo localizado no PV que liga o coletor de montante ao fundo do poço
Coefficiente de retorno	Relação entre a contribuição de esgoto e o volume de água efetivamente consumido

Fonte: NBR 9.649/1986.

3.8 CORPO RECEPTOR

De acordo com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, um corpo receptor é um corpo hídrico superficial que recebe lançamento de efluente. Para que seja possível o lançamento de efluentes em determinado corpo d'água no Rio Grande do Sul, deve ser respeitada a legislação estabelecida pela FEPAM. A legislação específica para o lançamento de efluentes é a Diretriz Técnica nº 05/2017, que faz uso das Resoluções nº 355/2017 do CONSEMA e nº 357/2005 do CONAMA.

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA também estabelece os padrões e condições de qualidade das águas. Essas condições são especificadas de acordo com a classe de enquadramento na qual o corpo d'água foi classificado.

O corpo hídrico pode ser classificado como Classe I, Classe II, Classe III, Classe IV ou Classe Especial. Os valores máximos e mínimos dos parâmetros orgânicos e inorgânicos de lançamento são específicos para cada classe e são apresentados na Resolução nº 357/2005 do CONAMA. Se a qualidade do efluente a ser lançado estiver em concordância com os valores determinados na legislação, o lançamento é permitido.

Para que seja feita a verificação dos requisitos apresentados nas legislações, é necessário o conhecimento da vazão de referência do corpo receptor em questão. De acordo com Tucci (2010), para a estimativa da vazão de referência do corpo receptor em locais onde essa não é conhecida, é necessário que seja realizada a regionalização de vazões, ajustando uma equação que estime dados para toda a região com condições semelhantes. Para isso, é necessário que seja determinada a vazão específica que, de acordo com o Atlas das Águas de Minas (2021), é a quantidade de água produzida por extensão de uma área de drenagem limitada. Através da determinação dessa vazão, é possível determinar a vazão em qualquer ponto do curso d'água.

Em casos onde a vazão dos corpos d'água não permite que o efluente seja lançado no local, de acordo com a Resolução nº 430/2011 do CONAMA, o efluente final pode ser infiltrado no solo, desde que esse tenha capacidade de infiltração adequada e que se tenha área disponível.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em sete etapas, sendo elas a escolha do município, a caracterização do município, o dimensionamento do tratamento primário, o dimensionamento do tratamento secundário, a determinação do corpo receptor, o dimensionamento da rede coletora e, por fim, o orçamento. A metodologia utilizada para esse desenvolvimento é apresentada neste capítulo. Em concomitância ao desenvolvimento das etapas, foi realizado contato constante com representantes do município escolhido, tendo sido as decisões urbanísticas e projetuais compartilhadas e aprovadas em reuniões periódicas.

4.1 ESCOLHA DO MUNICÍPIO

Foi levada em consideração para a escolha do município a anterior parceria do local com o Sistema de Apoio ao Saneamento Básico, projeto de Extensão realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a FUNASA. A parceria visou desenvolver o Plano Municipal de Saneamento Básico do município em concomitância com a participação da comunidade. Considerou-se que a continuidade da parceria entre a Universidade e o município daria sequência ao desenvolvimento social e urbanístico da localidade, contribuindo para a prática das ações previstas no Plano Municipal de Saneamento. As etapas realizadas para a escolha são apresentadas a seguir.

1. Elencar os municípios contemplados pela elaboração dos planos;
2. Após elencar os municípios contemplados pela elaboração dos planos, a partir dos dados dos censos de 1991, 2000 e 2010, foi realizada a projeção populacional para esses municípios;
3. Através do software Google Earth, foi analisada a topografia e a disponibilidade de área para a implantação do sistema nos municípios, sendo dada prioridade de escolha para os que possuem grande área disponível, topografia regular e favorável à implantação de rede coletora e, ainda, que possuem menores populações;
4. Verificou-se a disponibilidade de dados dos municípios previamente triados, sendo escolhido o município que se mostrou mais favorável à implantação do sistema e que possuiu dados de possíveis corpos receptores;
5. A partir da realização do contato com representantes do município foi identificado o interesse por parte do mesmo em desenvolver um método de

tratamento para o esgoto do local, sendo confirmada a utilização desse para o estudo;

Após a escolha do município, foi realizada a caracterização do local. Para fins de projeto, foram determinados a topografia, os dados censitários, o clima e dados relacionados ao saneamento básico do município. A determinação das curvas de nível da topografia foi realizada através do software Global Mapper e a projeção populacional foi realizada através do método aritmético.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Para o tratamento secundário, estando previamente determinada a utilização de WC, optou-se pela utilização de *wetlands* de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal. A escolha levou em conta que o modelo não causa geração de maus odores, diferentemente das WC de fluxo superficial, além de necessitar área reduzida em relação à área necessária para as superficiais. Em comparação com WC de fluxo vertical, as de fluxo horizontal, apesar de necessitarem maior área, possuem maior simplicidade de implantação e manutenção, além de não necessitarem de fluxo intermitente, fator esse que tornaria o método mais caro.

Não possuindo norma técnica como referência no Brasil, o dimensionamento foi realizado de acordo com o documento consenso elaborado por Von Sperling e Sezerino (2018), que conta com a colaboração de pesquisadores e praticantes vinculados ao grupo de estudos em sistemas *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias.

Após o dimensionamento do sistema de tratamento foi realizada a escolha do local no qual esse será implantado. A escolha levou em consideração a disponibilidade e o tamanho do terreno em concomitância com a proximidade aos corpos receptores. Além disso, a fim do cumprimento do Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico do município e da conservação e garantia do bom funcionamento do sistema de tratamento, a área escolhida não está localizada em zonas risco alto de inundação.

4.3 DETERMINAÇÃO DO CORPO RECEPTOR

Para a determinação do corpo receptor, foram levantadas informações relacionadas aos corpos d'água existentes no município, tais como localização, vazão e históricos de alagamento. O corpo receptor escolhido está localizado próximo aos terrenos que possuem viabilidade para a implantação do sistema de tratamento. Após a escolha do corpo receptor a ser utilizado, foi feita a verificação da viabilidade legal da sua utilização.

Para a verificação da viabilidade legal da utilização do corpo hídrico, foi realizada a análise do cumprimento das especificações apresentadas na legislação específica para o lançamento de efluentes no Rio Grande do Sul, sendo essa a Diretriz Técnica nº 05/2017, que faz uso das Resoluções nº 355/2017 do CONSEMA e nº 357/2005 do CONAMA.

Estando o corpo receptor em conformidade com a análise, é permitido que seja realizado o lançamento do efluente no local. Com isso, foi determinado o ponto de lançamento do efluente, estando esse próximo à localização do sistema de tratamento.

4.4 DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA

Para o dimensionamento da rede coletora se fez uso do software SANCAD, que possibilita o dimensionamento da rede de esgoto seguindo as Normas Técnicas NBR 9.649/1986, que trata de projetos de rede de esgoto e NBR 14.486/2000, que trata de sistemas enterrados para a condução de esgoto sanitário para projeto de redes coletoras com tubos de PVC. O software permite a geração do memorial de cálculo.

O traçado da rede coletora foi elaborado visando a não utilização de linhas de recalque e bombas. Devido aos custos de operação e manutenção necessários para a utilização dessas, se tornaria dificultosa a adoção de rede por parte do município. Além disso, o dimensionamento foi guiado pela topografia favorável e pela localização do sistema de tratamento.

4.5 ORÇAMENTO

Para a realização do orçamento foram levantados os quantitativos da implantação e feita a especificação dos materiais a serem utilizados. Após, foram utilizados os valores de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, referentes a março de 2021 e desonerados, para a orçamentação do projeto, conforme as orientações das Leis nº 12.844/2013 e 13.043/2014. Após a utilização dos dados de referência, foram adicionados os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

5. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do presente trabalho seguiu as etapas apresentadas na metodologia.

5.1 ESCOLHA DO MUNICÍPIO

De acordo com o Wartchow *et al.* (2020), 51 municípios foram contemplados pela parceria entre a FUNASA e o IPH-UFRGS. A Tabela 2 apresenta esses municípios e suas respectivas projeções populacionais, realizadas para o horizonte de 20 anos, de 2021 a 2041. Nos casos em que a taxa de crescimento encontrada foi negativa, visando a segurança do projeto, a taxa foi considerada 0,47% ao ano que, segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, foi a taxa média de crescimento anual no Estado. Nos municípios onde a taxa encontrada foi maior que 5%, o valor adotado foi de 5%, a fim de evitar o superdimensionamento. Os resultados apresentados foram obtidos através da sequência de cálculos indicada para o método aritmético, determinada por Von Sperling (1998). As Equações 1 e 2 compõem esse método e possibilitam que a população de projeto seja determinada.

$$r = \frac{P_1 - P_0}{(t_1 - t_0)} \quad (1)$$

Em que:

t é a taxa de crescimento aritmético populacional em função do tempo (hab/ano);

P_1 é a população no ano t_1 ;

P_0 é a população no ano t_0 ;

t_1 é um ano qualquer;

t_0 é o ano de início da projeção;

$$P_t = P_0 + r(t - t_0) \times P_0 \quad (2)$$

Em que:

P_t é a população estimada no ano t (hab);

r é a taxa de crescimento populacional em função do tempo (hab/ano);

t é um ano qualquer;

t_0 é o ano de início da projeção;

Tabela 2 – Projeção Populacional dos municípios analisados

Município	População 2010	População 2000	População 1991	Taxa de crescimento 91-00 (%)	Taxa de crescimento 00-10 (%)	2021	2041
Engenho Velho	1527	2134	2197	0,47	0,47	1532	1542
Porto Vera Cruz	1852	2464	3810	0,47	0,47	1857	1867

Município	População 2010	População 2000	População 1991	Taxa de crescimento 91-00 (%)	Taxa de crescimento 00-10 (%)	2021	2041
Novo Xingu	1757	0	0		5,00	1812	1912
Vanini	1984	1887	1826	0,36	0,54	1990	2001
Gramado dos Loureiros	2269	2543	2464	0,35	0,47	2274	2284
Pedras Altas	2212	0	0		5,00	2267	2367
Lajeado do Bugre	2487	2463	2596	0,47	0,11	2488	2490
Santa Margarida do Sul	2352	0	0		5,00	2407	2507
Dom Pedro de Alcântara	2550	2636	2839	0,47	0,47	2555	2565
Salvador das Missões	2669	2665	2997	0,47	0,02	2669	2670
São José das Missões	2720	3000	3493	0,47	0,47	2725	2735
Vista Alegre	2832	2996	3148	0,47	0,47	2837	2847
Herveiras	2954	2957	3097	0,47	0,47	2959	2969
Garruchos	3234	3675	3160	1,56	0,47	3239	3249
Capão do Cipó	3104	0	0		5,00	3159	3259
Dois Lajeados	3278	3224	3220	0,01	0,18	3280	3284
Dona Francisca	3401	3902	3586	0,90	0,47	3406	3416
Turuçu	3522	3710	3756	0,47	0,47	3527	3537
Quinze de Novembro	3653	3582	3430	0,47	0,22	3655	3660
Áurea	3665	3889	4013	0,47	0,47	3670	3680
Arambaré	3693	3917	3276	1,82	0,47	3698	3708
Novo Machado	3925	4718	5235	0,47	0,47	3930	3940
Jaquirana	4177	4814	4053	1,76	0,47	4182	4192
Três Palmeiras	4381	4620	5030	0,47	0,47	4386	4396
Pinhal Grande	4471	4725	3768	2,25	0,47	4476	4486
Humaitá	4919	5228	5794	0,47	0,47	4924	4934
Caçara	5071	5580	6202	0,47	0,47	5076	5086
Lindolfo Collor	5227	4414	2543	4,71	1,73	5246	5281
Tavares	5351	5342	5075	0,56	0,02	5351	5352
Trindade do Sul	5787	5922	6927	0,47	0,47	5792	5802
Chuí	5917	5167	4406	1,64	1,41	5932	5961
Ipê	6016	5456	5718	0,47	1,03	6027	6048
Hulha Negra	6043	5359	6231	0,47	1,26	6057	6082

Município	População 2010	População 2000	População 1991	Taxa de crescimento 91-00 (%)	Taxa de crescimento 00-10 (%)	2021	2041
Cândido Godói	6535	7092	7911	0,47	0,47	6540	6550
Herval	6753	8487	7169	1,73	0,47	6758	6768
Minas do Leão	7631	7321	7066	0,39	0,45	7636	7645
Pedro Osório	7811	8107	7748	0,49	0,47	7816	7826
Erval Seco	7878	9177	9883	0,47	0,47	7883	7893
Iraí	8078	9250	10194	0,47	0,47	8083	8093
São Vicente do Sul	8440	8336	7576	1,01	0,14	8442	8444
Tuparendi	8557	9542	9843	0,47	0,47	8562	8572
Pantano Grande	9895	10979	10017	0,97	0,47	9900	9910
Arvorezinha	10225	10262	9808	0,49	0,47	10230	10240
Roca Sales	10284	9284	8811	0,57	1,08	10296	10317
Salto do Jacuí	11880	12948	10876	1,78	0,47	11885	11895
Espumoso	15240	16185	17010	0,47	0,47	15245	15255
Horizontalina	18348	17699	17023	0,42	0,39	18352	18360
Ivoti	19874	15318	11818	2,54	2,55	19902	19953
Palmeira das Missões	34328	38192	38438	0,47	0,47	34333	34343
Marau	36364	28361	22151	2,43	2,45	36391	36440
Itaqui	38159	39770	35356	1,23	0,47	38164	38174

Fonte: Elaborado pela Autora.

Após a análise dos dados dos municípios, Porto Vera Cruz foi escolhida para a realização do estudo. O município foi escolhido pois possui grande área disponível para a implantação, sendo essa área próxima à zona urbana. Além disso, há disponibilidade de dados relacionados ao saneamento básico do município e aos possíveis corpos receptores. A topografia do local é favorável para a implantação de rede de esgoto e a população residente é pequena. Além disso, a prefeitura do município concordou em participar da elaboração do projeto para a possível utilização do sistema como tratamento de esgoto do local. Ressalta-se que a escolha do município de Porto Vera Cruz foi feita com base no conjunto de informações disponíveis relacionadas ao local, não descartando a possibilidade dos outros municípios avaliados utilizarem o método de tratamento estudado.

5.2 PORTO VERA CRUZ

Porto Vera Cruz é um município localizado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo fronteira com Panambi ao oeste, Alecrim ao norte, Santo Cristo ao leste e Porto Lucena ao Sul, estando nas margens do Rio Uruguai. A Figura 9, a Figura 10, a Figura 11, a

Figura 12 e a Figura 13 apresentam imagens aéreas do município, que possui pequena área urbana com vias majoritariamente asfaltadas

Figura 9 - Porto Vera Cruz



Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 10 - Localização de Porto Vera Cruz



Fonte: Wikipedia, 2006.

Figura 11 - Vista aérea de Porto Vera Cruz



Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Vera Cruz, 2019.

Figura 12 - Vista aérea de Porto Vera Cruz



Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Vera Cruz, 2019.

Figura 13 - Vista aérea de Porto Vera Cruz



Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Vera Cruz, 2019.

A Tabela 3 traz os dados populacionais de Porto Vera Cruz, retirados dos Censos de 1991, 2000 e 2010. A Tabela 4 apresenta as taxas de crescimento populacional calculadas a partir dos dados da Tabela 3. A Tabela 5 apresenta a projeção populacional para o município, que apresenta uma população de projeto de 509 habitantes para a área urbana.

Tabela 3 - População do município de Porto Vera Cruz

Ano	População Total	População Rural	População Urbana
1991	3810	3417	393
2000	2.464	1.962	502
2010	1852	1412	440

Fonte: Elaborado pela Autora.

Tabela 4- Taxas de crescimento populacional

Taxa de Crescimento	Calculada	Utilizada
Taxa de crescimento população urbana 00-10 (%)	-1,41	0,47
Taxa de crescimento população rural 00-10 (%)	-3,90	0,47
Taxa de crescimento população total 00-10 (%)	-3,30	0,47

Fonte: Elaborado pela Autora.

Tabela 5 - Projeção populacional de Porto Vera Cruz

Ano	Total	Rural	Urbana
2010	1852	1412	440
2011	1861	1419	442
2012	1869	1425	444
2013	1878	1432	446
2014	1887	1439	448
2015	1896	1445	450
2016	1905	1452	453
2017	1914	1459	455
2018	1923	1466	457
2019	1932	1473	459
2020	1941	1480	461
2021	1950	1487	463
2022	1959	1494	465
2023	1968	1501	468
2024	1978	1508	470
2025	1987	1515	472
2026	1996	1522	474
2027	2006	1529	477
2028	2015	1536	479
2029	2025	1544	481
2030	2034	1551	483
2031	2044	1558	486
2032	2053	1565	488
2033	2063	1573	490
2034	2073	1580	492
2035	2082	1588	495
2036	2092	1595	497
2037	2102	1603	499
2038	2112	1610	502
2039	2122	1618	504
2040	2132	1625	506
2041	2142	1633	509

Fonte: Elaborado pela Autora.

5.2.1 Área

A análise de áreas disponíveis foi realizada através do software Google Earth. Após a identificação, foi utilizada a base de dados disponível no site IPTUBR, que apresenta a divisão de lotes do município e permite que seja realizada a medição das áreas disponíveis, como é apresentado na Figura 14.

Porto Vera Cruz possui grande extensão de área disponível para a implantação de banhados construídos. De acordo com o banco de dados do site IPTUBR, cerca de 160.000 m² de áreas não edificadas estão disponíveis. A Tabela 6, elaborada a partir da delimitação de lotes disponível no banco de dados do site IPTUBR, apresenta a área aproximada dos lotes que possuem disponibilidade e localização favorável para a implantação de *wetlands*. A localização das áreas é favorável porque se encontra nas imediações do arroio que passa pelo município, sendo esse um possível corpo receptor para o efluente tratado.

Figura 14 - Identificação de lotes da área urbana de Porto Vera Cruz



Fonte: IPTUBR, 2021.

Tabela 6 - Identificação de área não edificada

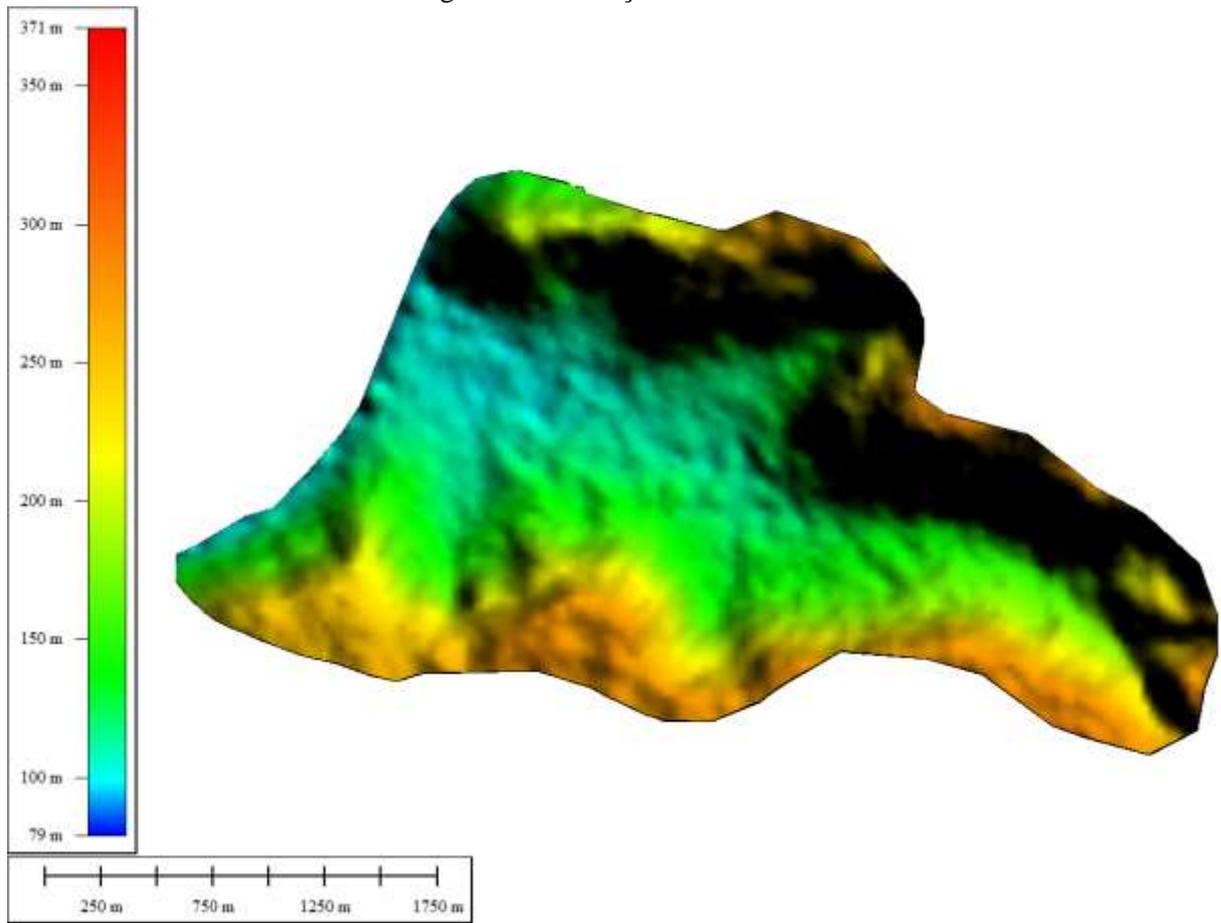
Lote	Área (m²)
OCH2	13389
OCH3	12200
OCH5	24715
OCH6	16430
OCH7	15337
OCH8	31100
OCH9	30770
OCH11	29493

Fonte: Elaborado pela Autora.

5.2.2 Topografia

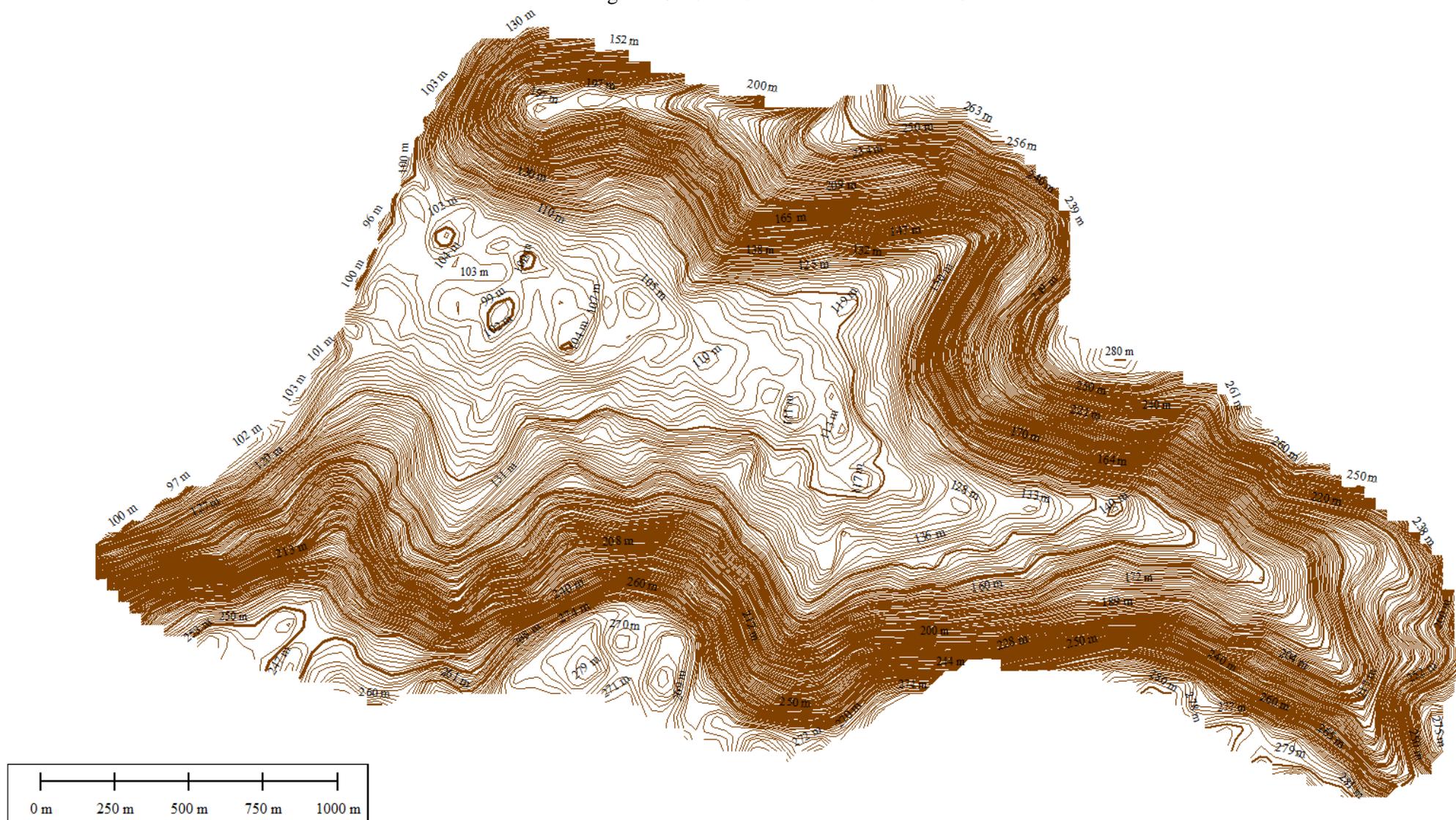
A topografia da área urbana é favorável para a implantação de uma rede de coleta de esgoto que não necessite de linha de recalque e de estação de bombeamento, como pode ser visto na Figura 15 e na Figura 16, que apresentam as elevações e as curvas de nível do município, retiradas do software Global Mapper. As cotas altimétricas do local variam entre 100 e 300 metros, aproximadamente.

Figura 15 - Elevações de Porto Vera Cruz



Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 16 - Curvas de nível de Porto Vera Cruz



Fonte: Elaborado pela Autora.

5.2.3 Dados Censitários

O IBGE Cidades traz dados referentes às características da população e da localidade, como é apresentado na Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 7 - População

População Estimada (2020)	1.308
População no último censo (2010)	1.852
Densidade demográfica (2010)	16,30 hab/km ²

Fonte: IBGE Cidades, 2021.

De acordo com o perfil territorial da fronteira noroeste (2015), o município possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,690, sendo esse menor do que os do Rio Grande do Sul e do Brasil, tendo esses 0,746 e 0,727, respectivamente. Entretanto, pode ser verificada uma tendência de crescimento do IDH do município se comparado aos registros anteriores, tendo sido eles 0,406 em 1991 e 0,544 em 2000.

Tabela 8 - Dados territoriais e ambientais

Área da unidade territorial (2020)	114,284 km ²
Esgotamento sanitário adequado (2010)	29,2%
Arborização das vias públicas (2010)	100%
Bioma (2019)	Mata atlântica
Sistema costeiro-marinho (2019)	Não pertence
Hierarquia urbana (2018) *	Centro Local (5)
Região de influência (2018)	Santo Cristo
Região intermediária (2020)	Ijuí
Região imediata (2020)	Santa Rosa
Mesorregião (2020)	Noroeste Rio-grandense
Microrregião (2020)	Santa Rosa

*A hierarquia urbana indica a centralidade da Cidade de acordo com a atração que exerce a populações de outros centros urbanos para acesso a bens e serviços e o nível de articulação territorial que a Cidade possui por estar inserida em atividades de gestão pública e empresarial. São cinco níveis hierárquicos, com onze subdivisões: Metrôpoles (1A, 1B e 1C), Capitais Regionais (2A, 2B e 2C), Centros Sub-regionais (3A e 3B), Centros de Zona (4A e 4B) e Centros Locais (5)

Fonte: IBGE Cidades, 2021.

A Tabela 9 apresenta uma comparação do município em relação aos demais municípios do Brasil e do Rio Grande do Sul. As colocações são baseadas na avaliação de 5.570 municípios no Brasil e 497 municípios no Rio Grande do Sul, sendo possível, a partir da tabela, inferir que o município possui grande déficit de infraestrutura sanitária.

Tabela 9 - Posição no ranking de atendimento de esgotamento sanitário adequado

Índice de atendimento de esgotamento sanitário adequado	Posição no ranking
No Brasil	3160
No Estado	341

Fonte: IBGE Cidades, 2021.

De acordo com o IBGE (2010), como apresenta a Tabela 10, a média de moradores por domicílio no município é de 2,69, sendo 2,53 na área urbana e 2,74 na área rural.

Tabela 10 - Média de moradores em domicílios particulares permanentes
Média de moradores em domicílios particulares permanentes (pessoas)

Situação do domicílio		
Total	Urbana	Rural
2,69	2,53	2,74

Fonte: IBGE Sidra, 2010.

5.2.4 Clima

De acordo com o Clima Tempo (2021), a partir da observação dos dados climatológicos do município nos últimos 30 anos, foi constatado que o mês mais frio do ano é junho, tendo esse mês a temperatura mínima de 10 °C e a máxima de 19 °C. Já o mês com maior precipitação é novembro, com 262 mm. A Tabela 11 traz os dados climatológicos registrados.

Tabela 11 - Dados climatológicos anuais de Porto Vera Cruz

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22	33	134
Fevereiro	20	31	70
Março	20	30	126
Abril	20	30	84
Maio	16	25	102
Junho	10	19	77
Julho	12	20	102
Agosto	10	21	79
Setembro	16	25	116
Outubro	17	26	224
Novembro	19	29	262
Dezembro	20	31	125

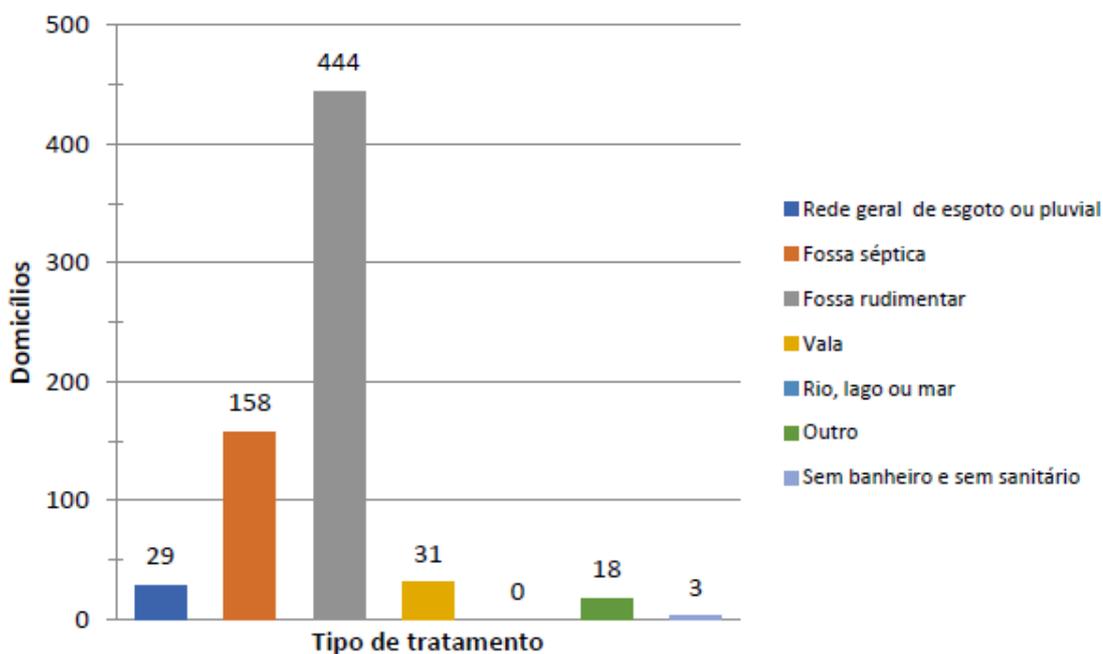
Fonte: Clima tempo, 2021.

5.2.5 Saneamento Básico

De acordo com o PMSB do município, 100% da população é atendida com abastecimento de água, sendo poços e nascentes localizados nas propriedades a principal forma de atendimento. Quanto aos resíduos sólidos, 85% dos domicílios são atendidos pela coleta realizada pela Prefeitura Municipal. Há domicílios ligados à rede de esgoto, que possui cerca de 600 metros e atende cerca de 40 domicílios.

Segundo o PMSB, a rede de esgoto é direcionada para 2 fossas sépticas seguidas de 2 filtros biológicos e uma vala de infiltração (sumidouro). Os domicílios que não são ligados à rede de esgoto cloacal possuem fossa séptica ou fossa rudimentar. Ainda, há a possibilidade de domicílios lançarem seus efluentes na rede de drenagem pluvial. A Figura 17 apresenta a distribuição dos domicílios quanto ao destino do esgoto produzido.

Figura 17 - Destino do esgoto dos domicílios com banheiro ou sanitário



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Vera Cruz, 2018.

O PMSB também afirma que não há informações quanto às ligações prediais existentes devido à antiguidade da rede cloacal. Em sua rede de esgoto existente, o município não possui estações elevatórias e interceptores e não há informações sobre emissários. O sistema de tratamento existente é de responsabilidade do município e não há um técnico responsável. Além disso, não há dados relacionados ao volume e à capacidade de tratamento. A Figura 18, a Figura 19 e a Figura 20 apresentam o sistema de tratamento atual, e a Figura 21 apresenta a planta da rede de esgoto existente no município.

Figura 18 - Sistema de tratamento de esgoto



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Vera Cruz, 2018.

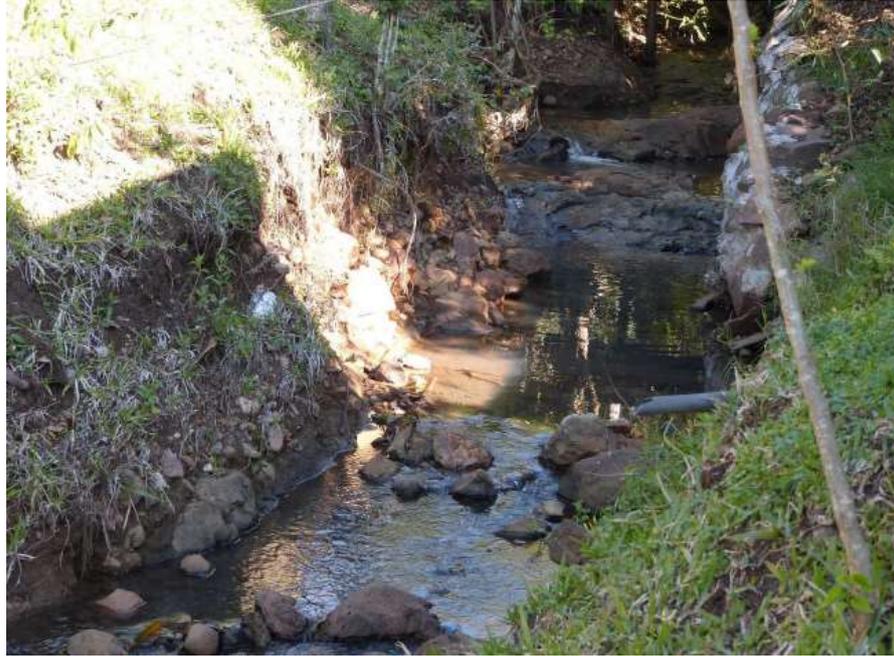
Figura 19 - Sistema de tratamento de esgoto



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Vera Cruz, 2018.

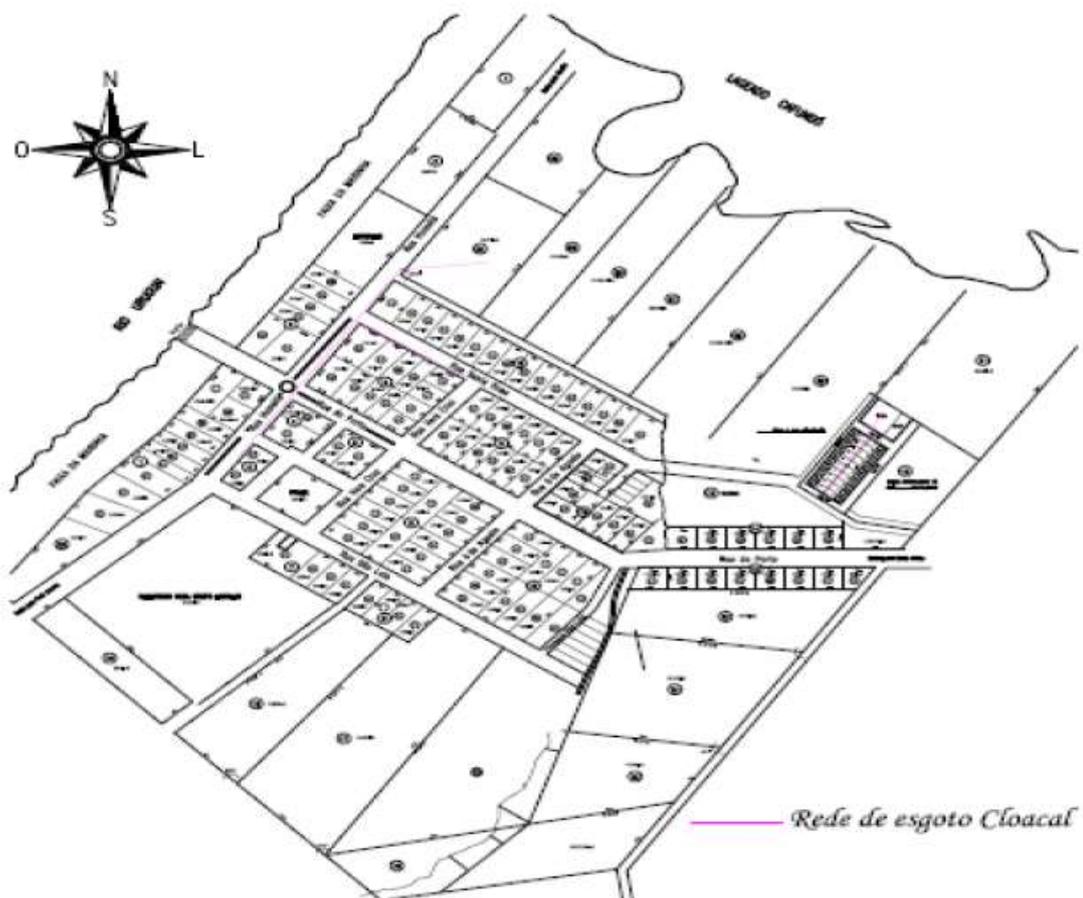
Após o tratamento realizado no sistema, o efluente que não é infiltrado no solo através da vala de infiltração é lançado em um córrego que não possui denominação, de acordo com o Plano de Saneamento. A Figura 20 apresenta o córrego para onde são direcionados os efluentes.

Figura 20 - Córrego de destinação dos efluentes



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Vera Cruz, 2018.

Figura 21 – Mapeamento da rede de esgoto sanitário de Porto Vera Cruz

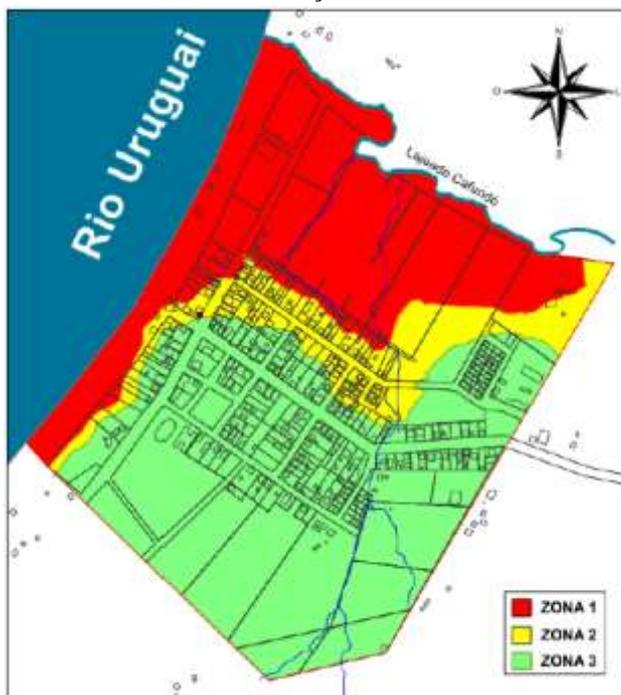


Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico, 2018.

5.2.6 Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico

O Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico do município especifica as zonas com risco de inundação no local. São identificadas como Zona 1 as zonas com alto risco de inundação, atingidas por eventos com período de até 10 anos. A Zona 2 possui baixo risco de inundação, com eventos com retorno superior a 10 anos, enquanto a Zona 3 possui pouco ou nenhum risco. As zonas são ilustradas na Figura 22.

Figura 22 – Zonas de risco de inundação da área urbana de Porto Vera Cruz



Fonte: Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico.

O município manifestou interesse em desenvolver as áreas sem risco de alagamento, especificando que o sistema de tratamento deveria ser desenvolvido fora da Zona 1.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO

A NBR 7.229/1993 indica que os parâmetros de projeto do tanque séptico devem ser os seguintes.

5.3.1 Distâncias mínimas

- Distância mínima horizontal de 1,50 metros de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água;
- Distância mínima horizontal de 3,0 metros de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água;
- Distância mínima horizontal de 15,0 metros de poços freáticos e de corpos da água de qualquer natureza;

5.3.2 Contribuição de despejos

A contribuição de despejos calculada deve considerar:

- O número de pessoas atendidas;
- 80% de consumo local de água retorna como esgoto;
- Nos prédios em que haja, simultaneamente, ocupantes permanentes e temporários, a vazão total de contribuição resulta na soma das vazões correspondentes a cada tipo de ocupante;

5.3.3 Período de detenção dos despejos

Os períodos mínimos de detenção, que são o tempo médio de permanência da parcela líquida do esgoto dentro da zona de decantação do tanque séptico, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7.229/1993

5.3.4 Contribuição de lodo fresco

A contribuição de lodo fresco, que é o lodo instável que está em início de processo de digestão, é estimada na Tabela 13.

Tabela 13 - Contribuição diária de esgoto e de lodo fresco, em litros, por tipo de prédio e ocupante

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf)	
1 Ocupantes permanentes			
- Residência			
Padrão alto	pessoa	160	1
Padrão médio	pessoa	130	1
Padrão baixo	pessoa	100	1
- Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- Alojamento provisório	pessoa	80	1
1 Ocupantes temporários			
- Fábrica em geral			
	pessoa	70	0,3
- Escritório			
	pessoa	50	0,2
- Edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,2
- Escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,2
- Bares	pessoa	6	0,1

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf)	
- Restaurantes e similares	pessoa	25	0,1
- Cinemas, teatros e locais de curta permanência	pessoa	2	0,02
- Sanitários públicos ^(A)	pessoa	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo etc.).

Fonte: NBR 7.229/1993

5.3.5 Taxa de acumulação de total de lodo

Segundo a NBR, a taxa de acumulação de lodo depende dos seguintes fatores:

- Volumes de lodo digerido e em digestão, produzidos por cada usuário, em litros;
- Faixas de temperatura ambiente (média do mês mais frio, em graus Celsius);
- Intervalo entre limpezas, em anos;

As taxas de acumulação estimadas são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - 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 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBR 7.229/1993

5.3.6 Dimensionamento

O dimensionamento do tanque séptico é realizado através da utilização da Equação 3.

$$V = 1000 + N (C T + K Lf) \quad (3)$$

Em que:

V é o volume útil, em litros;

N é o número de pessoas ou unidades de contribuição;

C é a contribuição de despejos (L/unidade.dia) ou (L/hab.dia);

T é o período de detenção, em dias;

K é a taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

Lf é a contribuição de lodo fresco (L/hab.dia ou L/unidade.dia);

5.3.7 Medidas internas mínimas

As medidas internas mínimas necessárias na concepção do tanque são as seguintes:

- Profundidade útil, de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 - 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	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7.229/1993

- Diâmetro mínimo de 1,10 metros;
- Largura interna mínima de 0,80 metros

O dimensionamento do tanque foi realizado considerando uma taxa de retorno de 80% do consumo *per capita* diário de água por habitante. Para a determinação do Lf foram consideradas residências de padrão alto, devido ao fato de que essas possuem o maior valor de contribuição diária de esgoto (160 L/hab.dia), valor próximo a média *per capita* do município (172,24 L/hab.dia). A Tabela 16 apresenta os valores utilizados para o cálculo do volume útil do tanque.

Tabela 16 - Variáveis utilizadas no cálculo do volume útil do tanque séptico

Consumo <i>per capita</i> de água (L/hab.dia) (SNIS, 2019)	215,3
N	428
C (L/hab.dia)	172,24
C (L)	73.725,61
T	0,5
K	65
Intervalo entre limpezas (anos)	1
Lf	1
Volume útil (L)	65.685,4

Fonte: Elaborado pela Autora.

A fim de garantir a segurança do projeto, foi adotada uma eficiência de remoção de 50% de DBO. Utilizando a contribuição *per capita* de 50 g DBO/hab.dia, indicada por Von Sperling (1998), determinou-se que a carga afluyente de DBO é de 21,40 kg/dia. Com isso, a carga de DBO efluente aos tanques é de 10,70 kg/dia.

Para fins de praticidade de instalação, foi escolhida a utilização de fossas sépticas pré-fabricadas. A partir do volume útil calculado, foi determinada a quantidade de fossas necessárias e o volume que essas devem possuir. Utilizando como base as fossas sépticas disponíveis comercialmente, são necessárias oito unidades de 10.000 litros.

5.4 DIMENSIONAMENTO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL DE FLUXO HORIZONTAL

A especificação das características e elementos constituintes do *wetland* construído de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (WFH) fez uso das informações apresentadas nos Anexos I, II, III, IV, V, VI e VII, propostas por Sezerino e Von Sperling (2018). A rotina de dimensionamento de WFH é apresentada a seguir.

a) Determinação da carga de DBO afluyente

A carga de DBO presente no esgoto bruto é determinada pela Equação 4:

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = \text{Carga per capita} \times \text{População} \quad (4)$$

Em que:

Carga de DBO do esgoto bruto é a carga de DBO do esgoto sem tratamento prévio;

Carga *per capita* é a contribuição, em g/hab.dia de DBO;

População é a quantidade de habitantes que contribuem com DBO;

De acordo com a NBR 13.969/1997, que trata de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, o valor comumente utilizado para a carga *per capita* é de 50 g/hab.dia.

A carga de DBO recebida pelo sistema, quando o esgoto é previamente tratado, deve considerar a eficiência de remoção do tratamento prévio. A Equação 5 possibilita essa relação.

$$\text{Carga de DBO afluyente} = \text{Carga de DBO do esgoto bruto} - \left(1 - \frac{E}{100}\right) \quad (5)$$

Em que:

Carga de DBO afluyente é a carga de DBO afluyente aos *wetlands* em g/d;

Carga de DBO do esgoto bruto é a carga de DBO do esgoto sem tratamento prévio;

E é a eficiência de remoção do tratamento prévio, em %;

b) Cálculo de área superficial requerida

A área total requerida para os *wetlands* é calculada através da Equação 6.

$$\text{Área total requerida} = \frac{\text{Carga de DBO afluyente aos wetlands}}{\text{Taxa de aplicação orgânica superficial}} \quad (6)$$

Em que:

Taxa de aplicação orgânica superficial se refere a quantidade de DBO aplicada no sistema em gDBO/m².dia.

c) Verificação da taxa de aplicação hidráulica superficial resultante

O cálculo da taxa de aplicação hidráulica superficial é feito através da Equação 7.

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial} = \frac{Q_{\text{afl}}}{A_{\text{req}}} \quad (7)$$

Em que:

Q_{afl} é a vazão média afluyente ao *wetland*;

A_{req} é a área superficial requerida;

d) Determinação do comprimento e da largura de casa unidade

As dimensões são determinadas através da área requerida e da relação comprimento largura.

e) Determinação da profundidade útil e da altura do material filtrante

Devem ser especificadas a profundidade útil do líquido e a altura total ocupada pelo meio filtrante.

Após o dimensionamento do sistema de tratamento foi realizada a escolha do local no qual esse será implantado. A escolha levou em consideração a disponibilidade e o tamanho do terreno em concomitância com a proximidade aos corpos receptores.

A partir da identificação da carga afluyente de DBO ao *wetland*, que é a carga efluente do tanque séptico, foi realizado o dimensionamento do sistema de fluxo subsuperficial horizontal. A Tabela 17 apresenta os dados utilizados para a determinação da área requerida.

Tabela 17 – Valores para a determinação da área requerida

Taxa de aplicação orgânica superficial (gDBO/m².dia)	10
Área superficial requerida (m²)	1070,10
Número de unidades	8
Relação entre comprimento e largura	2:1
Comprimento (m)	17
Largura (m)	8,5
Área superficial por unidade (m²)	144,5
Área superficial total utilizada (m²)	1156

Fonte: Elaborado pela Autora.

A taxa de aplicação orgânica superficial máxima utilizada levou em consideração as condições climáticas do local, que possui temperaturas variando entre 10°C e 19°C, tendo no inverno condições desfavoráveis para a eficiência de tratamento. O número de unidades adotadas visou a flexibilização operacional do sistema, visto que a área requerida é grande, assim como a adaptação ao terreno utilizado. As demais especificações projetuais são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Especificações projetuais do *wetland*

Altura do meio suporte (m)	0,5
Profundidade da lâmina de esgoto (m)	0,4
Distância entre o nível de esgoto e o topo do meio suporte (m)	0,1
Borda livre (m)	0,1
Inclinação das paredes ou taludes internos	1:1
Declividade longitudinal do fundo (%)	0,01
Comprimento da zona de entrada (m)	0,5
Comprimento da zona de saída (m)	0,5
Granulometria do leito	Brita 2
Granulometria do leito nas zonas de entrada e saída	Brita 4
Tubulações de entrada e saída	PVC DN100 com furos de 20mm a cada 10 cm em toda a extensão da largura da unidade
Planta macrófita	<i>Typha domingensis</i> (taboa)
Impermeabilização	Geomembrana de PEAD com 1,5 mm de espessura
Controlador de nível	Tubulação regulável

Fonte: Elaborado pela Autora.

A escolha da altura do meio suporte, assim como da profundidade da lâmina de esgoto, visou a utilização de maiores granulometrias nas camadas, a fim de reduzir a colmatação do meio e os custos de implantação, visto que maiores granulometrias possuem menores custos. Devido ao fato de as unidades possuírem grande área, foi utilizada inclinação para as paredes. A utilização da declividade longitudinal de fundo foi feita visando reduzir a perda de carga no percurso. A macrófita utilizada foi escolhida devido à sua comprovada adaptabilidade às variações climáticas e eficiência satisfatória quando utilizada para tratamento de esgoto em banhados. A Figura 23 apresenta o desenvolvimento dessa macrófita em um WFH, tendo sido o experimento realizado em Frederico Westphalen, no Rio Grande do Sul, que é próxima à Porto Vera Cruz e possui condições climáticas semelhantes.

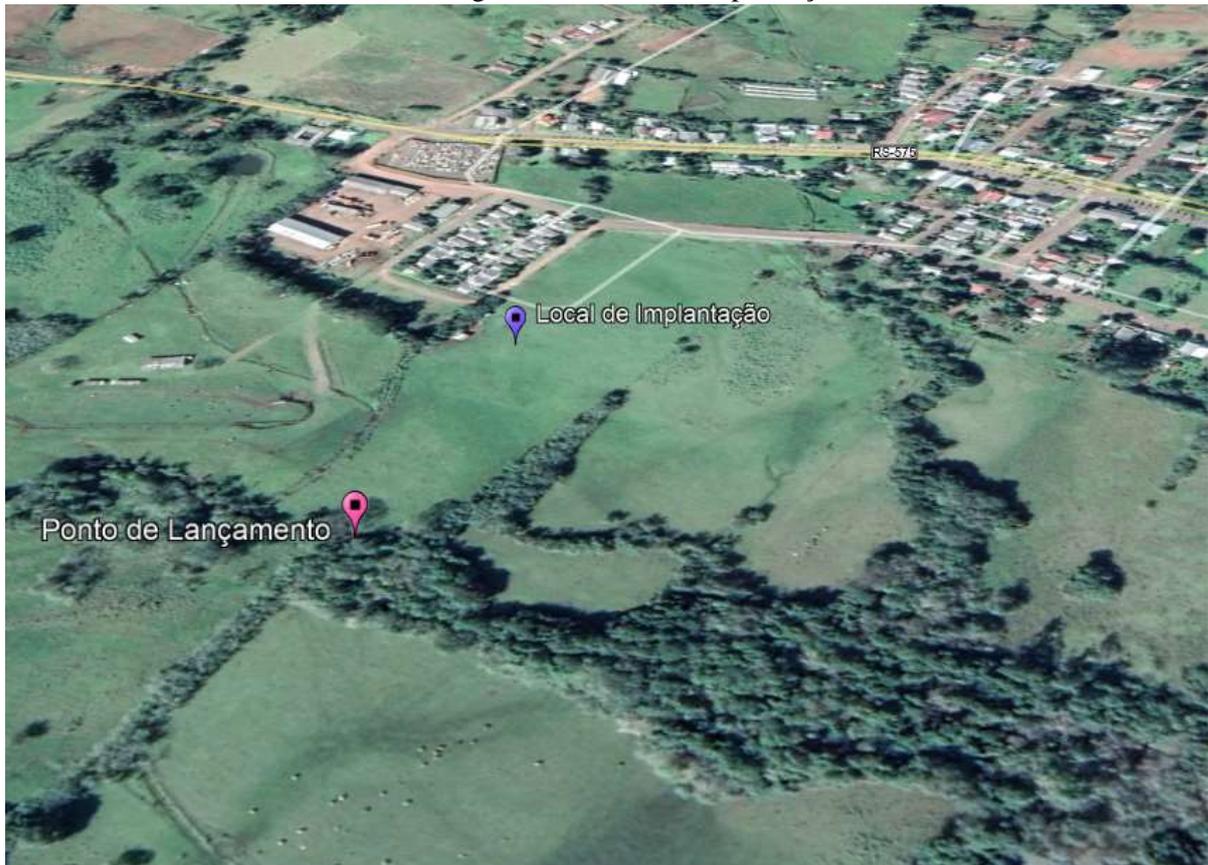
Figura 23 – Desenvolvimento da macrófita *Typha domingensis Pers.* em *wetland* construído de fluxo horizontal ao longo do período de estudo



Fonte: Pelissari *et al.*, 2019.

O local de implantação escolhido é apresentado na Figura 24. O terreno está situado no lote OCH-9, apresentado na Tabela 6, possuindo 30.770 m² e estando próximo ao corpo receptor. Além disso, o local onde o *wetland* estará situado se encontra majoritariamente na Zona 3 de inundação, estando uma pequena porção localizada na Zona 2. O local está distanciado a mais de 500 metros do Rio Uruguai e a mais de 30 metros dos corpos d'água, não se encontrando em áreas de preservação permanente (APP).

Figura 24 – Local de implantação



Fonte: Elaborado pela Autora.

É esperado que a combinação da fossa séptica como tratamento primário com o WFH tenha uma eficiência mínima de 85%, como é indicado Anexo VII. As representações do sistema de tratamento dimensionado estão apresentadas nos Apêndices IV e V.

5.5 CORPO RECEPTOR

A Resolução do CONSEMA nº 355/2017 estabelece que a seguinte relação deve ser satisfeita para que não ocorra comprometimento do corpo hídrico receptor:

$$\frac{Q_{chr}}{Q_e} \geq \frac{\text{Padrão de emissão}}{\text{Concentração na classe}}$$

Em que:

Q_{chr} é a vazão de referência do corpo hídrico receptor;

Q_e é a vazão do efluente;

Padrão de emissão é a concentração de DBO_5 , em mg/L, que pode ser lançada para uma determinada faixa de vazão efluente;

Concentração na classe é a concentração de DBO_5 , em mg/L, que pode ser lançada em uma determinada classe de corpo receptor;

Identificando a Q_{90} da região, apresentada na Figura 25, e a área de drenagem do ponto de lançamento do efluente, como sendo 5,5 L/s.km² e 6,35 km², respectivamente, foi possível determinar a vazão do corpo receptor no ponto de lançamento. O valor encontrado para a vazão no ponto de lançamento foi de 34,93 L/s.

Utilizando a vazão, previamente determinada, do efluente tratado, foi possível a verificação da possibilidade de lançamento do efluente no ponto de lançamento escolhido. Os valores utilizados para a verificação da inequação, assim como a verificação, são apresentados abaixo.

- 34,93 L/s é a vazão de referência do corpo receptor;
- 0,85 L/s é a vazão do efluente;
- O padrão de emissão, de acordo com a Resolução do CONSEMA nº 355/2017 é de 120 mg/L para essa faixa de vazão;
- A concentração na Classe II, de acordo com a Resolução nº 357/2005, é de 5 mg/L;

$$\frac{34,93}{0,85} \geq \frac{120}{5}$$

Com isso, foi possível concluir que o efluente pode ser lançado no ponto desejado.

5.6 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ESGOTO

A utilização do software SANCAD permitiu o dimensionamento da rede de esgoto segundo as Normas Técnicas NBR 9.649/1986 e NBR 14.486/2000. A NBR 9.649/1986 especifica que para todos os trechos da rede devem ser estimadas as vazões inicial e final. As vazões podem ser determinadas de acordo com as Equações 10 e 11:

$$Q_{inicial} = \frac{k_2 \times P_{inicial} \times q \times C}{86.400} + Q_{inf} \quad (10)$$

$$Q_{final} = \frac{k_1 \times k_2 \times P_{final} \times q \times C}{86.400} + Q_{inf} \quad (11)$$

Em que:

K_1 é o coeficiente de vazão máxima diária, convencionado 1,2;

K_2 é o coeficiente de vazão máxima horária, convencionado 1,5;

$P_{inicial}$ é a população inicial;

P_{final} é a população final;

q é o consumo *per capita* de água em L/hab.dia;

C é o coeficiente de retorno, convencionado 0,8;

Q_{inf} a vazão de infiltração, convencionada 0,5 L/s.km;

A declividade mínima de cada trecho deve ser calculada de acordo com a Equação 12, estabelecida pela NBR nº 14.486/2000:

$$I_0 = 0,0035 Q_i^{-0,47} \quad (12)$$

Em que:

I_0 é a declividade mínima, em m/m;

Q_i é a vazão inicial, em L/s;

Ainda, deve ser verificada a tensão trativa. A Equação 13 permite que o valor seja calculado.

$$\sigma_t = \gamma \times R_H \times I_0 \quad (13)$$

Em que:

σ_t é a tensão trativa;

γ é o peso específico da água, sendo 10^4 N/m³;

R_H é o raio hidráulico;

I_0 é a declividade;

De acordo com a NBR 9.649/1986, em casos em que a velocidade final é superior a velocidade crítica, a maior lâmina admissível é de 50% do diâmetro do coletor, garantindo a ventilação da tubulação. A velocidade crítica pode ser determinada através da Equação 14:

$$V_c = 6 (g R_H)^{1/2} \quad (14)$$

Em que:

g é aceleração da gravidade;

R_H é o raio hidráulico;

Ainda, em casos em que a velocidade final é inferior à velocidade crítica, a lâmina máxima deve ser de 75%. A lâmina é determinada através da Equação 15.

$$(\%) = \frac{h}{D} \quad (15)$$

Em que:

h é a altura da lâmina;

D é o diâmetro da tubulação;

- As tubulações adotadas devem possuir diâmetro mínimo DN100;
- A declividade máxima será a declividade que corresponde à velocidade de 5 m/s;

- A fim de evitar condições de remanso, em casos em que a cota do nível d'água na saída de qualquer poço de visita ou tubo de inspeção e limpeza estiver acima da cota de entrada, deve ser verificada a influência no trecho a montante;

A NBR nº 14.486/2000 estabelece que a tensão trativa mínima para tubulações de PVC é de 0,6 Pa. Além disso, deve ser levada em consideração a vazão de infiltração, que é representada pela Equação 16.

$$Q_{inf} = T_{inf} \times L \quad (16)$$

Em que:

T_{inf} é a taxa de contribuição linear, em l/s.km, amplamente considerada na literatura considerada 0,5 de acordo com a Diretriz Técnica/2018 da CORSAN;

L é o comprimento do trecho, em metros;

Para a utilização do programa foi necessária a inserção do traçado da rede, elaborado previamente no software Autocad, e dos dados apresentados na Tabela 19. Apesar da população de projeto para a área urbana ser de 509 habitantes, parte das residências não foram contempladas pelo traçado da rede de esgoto, devido à necessidade de tubulações com profundidades excessivas. Além disso, o local não contemplado se encontra na região em que há rede de esgoto existente, sendo necessária a substituição da mesma em caso de ligação com a rede nova e conseqüente aumento do custo de implantação. Tendo sido identificadas 32 residências fora da área de abrangência da rede a ser implantada e utilizando a média do município de 2,53 moradores por domicílio, tem-se que aproximadamente 428 habitantes contribuirão para a rede de esgoto. Devido ao fato de não haver cadastro da rede de água, não foi possível considerar as interferências na rede de esgoto e, portanto, é indicado que, em caso de execução, seja feito o cadastro da rede, que seja respeitada a distância mínima de 1,0 metro entre as duas redes e que a tubulação de água esteja a, no mínimo, 0,20 metros acima da rede de esgoto, de acordo com a NBR 12.266/1992.

Tabela 19 – Dados utilizados no software SANCAD

Dados	Valor
População de projeto	428
Contribuição <i>per capita</i> (L/hab.dia)	215,3
K1	1,2
K2	1,5
Coefficiente de retorno (%)	80
Material predominante	PVC
Manning do material	0,01
Diâmetro mínimo (mm)	100

Dados	Valor
Coeficiente de infiltração (L/s.m)	0,0005
Recobrimento mínimo (m)	0,90

Fonte: Elaborado pela Autora.

A partir da inserção dos dados foi gerado o dimensionamento da rede, sendo o memorial de cálculo apresentado no Apêndice I e a planta baixa e de localização da rede coletora apresentada no Apêndice III. O Quadro 5-1 apresenta as denominações utilizadas no memorial de cálculo.

Quadro 5-1 – Denominações utilizadas no memorial de cálculo	
Denominação	Significado
Coletor	Trecho da rede
PV Mont.	Poço de visita a montante do trecho
PV Jus.	Poço de visita à jusante do trecho
L	Comprimento do trecho
C.T. Mont.	Cota do terreno a montante do trecho
C.T. Jus.	Cota do terreno à jusante do trecho
C.C. Mont.	Cota do coletor a montante do trecho
C.C. Jus.	Cota do coletor à jusante do trecho
Prof. Mont.	Profundidade do trecho a montante
Prof. Jus.	Profundidade do trecho à jusante
D	Diâmetro
Decliv.	Declividade do trecho
Q	Vazão no trecho
V	Velocidade no trecho
Verít	Velocidade crítica no trecho
H/D	Lâmina d'água
TL	Terminal de limpeza

Fonte: Elaborado pela Autora.

5.7 ORÇAMENTO

De acordo com a NBR nº 12.266/1992, para a remoção da pavimentação, foi utilizada largura da vala acrescida de 0,40 metros. Para a reposição da pavimentação, foi utilizada a área de remoção com espessura de 0,05 metros. A largura da vala foi calculada utilizando as instruções do Caderno de Encargos da CORSAN referente ao movimento do solo (2013).

Quanto às macrófitas, foram utilizadas 4 mudas por metro quadrado de superfície do leito filtrante, conforme indicado por Sezerino *et al.* (2018). A composição utilizada foi feita a partir da média de valores de duas fornecedoras. O orçamento é apresentado no Apêndice II.

O valor total do orçamento foi de R\$ 791.481,42, sem acréscimo do BDI. De acordo com o Acórdão nº 2622/2013 o valor do BDI deve estar dentro dos valores apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores do BDI por tipo de obra

TIPO DE OBRA	1º Quartil	Médio	3º Quartil
Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas	20,76%	24,18%	26,44%

Fonte: Acórdão 2.622/2013

O valor utilizado no orçamento foi o médio, de 24,18%, sendo esse aplicado no custo total da obra. Assim, o valor total para a implantação é de R\$ 982.861,63. A partir do Apêndice II, é possível inferir que 48% do valor total do custo de implantação é referente à rede coletora, 42% é referente ao sistema de tratamento e 10% é referente aos custos gerais envolvidos. A Tabela 21 apresenta a influência de cada item em relação ao custo total do sistema de tratamento.

Tabela 21 – Influência dos itens no custo do sistema de tratamento

Item	% Custo
Macrófitas	17
Escavação	46
Leito filtrante (brita nº2)	8
Impermeabilização	1
Camada de entrada e saída (brita nº4)	0,2
Fossa Séptica	27

Fonte: Elaborado pela Autora.

Analisando o Apêndice II e a Tabela 21, pode-se concluir que a escavação é o item que mais torna a implantação custosa. Ainda assim, o custo de implantação do sistema de tratamento é de R\$ 969,11 por habitante.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fator preponderante para a utilização de *wetlands* construídos é a disponibilidade de área para a implantação do sistema. Tendo em vista a grande disponibilidade de área não edificada em municípios de zonas rurais, a utilização desse sistema é atrativa e deve ser considerada quando é realizado o estudo de alternativas para o tratamento de esgoto desses locais. Além de considerar a grande área para a implantação, devem ser avaliadas as temperaturas no local em que o sistema será utilizado, visto que há redução da taxa de remoção de matéria orgânica quando o sistema é submetido a baixas temperaturas, sendo esse um fator relevante para os municípios do Rio Grande do Sul, visto que possuem grandes variações térmicas. Para uma boa manutenção do sistema e para a obtenção de melhores resultados no tratamento do esgoto sanitário, deve ser realizada a poda constante das macrófitas.

O desenvolvimento do estudo indica que a implantação desse sistema é possível em Porto Vera Cruz. O município possui extensas áreas não edificadas disponíveis para a implantação do sistema de *wetland* construído de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal como tratamento secundário, combinado ao tratamento primário com tanque séptico. O sistema de tratamento é localizado próximo a um corpo d'água que atendeu aos requisitos legais para o lançamento do efluente em um corpo receptor. Esse sistema representou cerca de 42% dos custos da obra, sendo 46% dessa parcela correspondente aos custos com escavação.

A rede de esgoto foi desenvolvida de maneira a não necessitar de linhas de recalque e estações de bombeamento, reduzindo os custos de implantação. Apesar disso, a rede de esgotos foi a parcela mais onerosa da obra, representando cerca de 48% do valor total, devido principalmente aos custos de escavação. A disponibilidade de vários terrenos com áreas extensas na zona urbana do município tornou o projeto da rede coletora de esgoto mais flexível, visto que pôde ser traçada de maneira favorável à topografia sem comprometer a localização do sistema. As dificuldades encontradas em relação ao projeto da rede coletora estão relacionadas a inexistência de um cadastro preciso da rede de esgoto atual e da rede de abastecimento de água, acrescentando imprecisão ao traçado, caso exista interferências no local.

O estudo permitiu concluir que quando houver a possibilidade de utilizar mais unidades de tratamento, dispostas em locais diferentes, de maneira a reduzir ou extinguir a necessidade de rede de esgoto e, por consequência, os custos de implantação, a adoção do sistema se tornará mais vantajosa.

O desenvolvimento do trabalho permitiu concluir que a proposta de implantação da solução de tratamento apresenta boas eficiências de remoção da matéria orgânica, manutenção

e operação simples e com custos reduzidos e que é uma alternativa sustentável ambientalmente. Apesar da extensa área necessária e do custo de implantação relativamente alto em relação às outras formas de tratamento descentralizado, a operação e a manutenção simples e pouco custosas tornam a utilização desse sistema vantajosa, visto que necessita de menores investimentos dos municípios durante a sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUÁTICOS. *Typha Dominguese (Tabouá)*. Disponível em: [http://acquaticos.com.br/produto/1157/typha-dominguese-\(taboua](http://acquaticos.com.br/produto/1157/typha-dominguese-(taboua). Acesso em: 02 de maio de 2021.

AMANCIO, Kelly Cristina Nascimento. **Estudo de viabilidade técnica e ambiental do sistema de wetlands construídos no tratamento de águas residuárias**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília., Brasília, 2017.

ANSARI, Abid *et al.* **Phytoremediation. Management of Environmental Contaminants**, 2016. Volume 4. Suíça: Springer, 2016.

AQUÁRIOS PLANTADOS. *Typha Domingensis Taboa*. Disponível em: <https://www.aquariosplantados.com.br/typha-domingensis-taboa>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.648/1986: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229/1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.486/2000: Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – Projetos de redes coletoras com tubos PVC**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969/1997: Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. **Predição da vazão máxima em pequenas bacias na região do semiárido mineiro**. 2021. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/predicao_de_vazao_em_pequenas_bacias_hidrograficas_nas_regioes_norte_e_nordeste_do_estado_de_minas_gerais.html. Acesso em: 28 de março de 2021.

BARRETO, André Baxter. **Seleção de macrófitas aquáticas com potencial para remoção de metais-traço em fitorremediação**. 2011. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.844 do dia 19 de julho de 2013.** Amplia o valor do Benefício Garantia-Safra para a safra de 2011/2012 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 01, 2013.

BRASIL. **Lei nº 13.043 do dia 13 de novembro de 2014.** Dispõe sobre os fundos de índice de renda fixa, sobre a responsabilidade tributária na integralização de cotas de fundos ou clubes de investimento por meio da entrega de ativos financeiros, sobre a tributação das operações de empréstimos de ativos financeiros e sobre a isenção de imposto sobre a renda na alienação de ações de empresas pequenas e médias e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 01, 2014.

BRASIL, **Lei nº 14.026 do dia 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 01, 2020.

BRASIL, Resolução 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.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 28 de março de 2021.

BRASIL, Resolução 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.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 28 de março de 2021.

BRASIL, Resolução CONAMA N° 377/2006. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário.** Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2006_Res_CONAMA_377.pdf. Acesso em: 24 de novembro 2020.

BRASIL, Resolução CONAMA N° 430/2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005 do CONAMA.** Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2006_Res_CONAMA_377.pdf. Acesso em: 24 de novembro 2020.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Perfil Territorial**. Brasília, 2015. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/caderno/caderno_territorial_228_Fronteira%20Noroeste%20-%20RS.pdf. Acesso em: 02 de maio de 2021.

BRK Ambiental. **Conheça o conceito de ociosidade na rede de esgoto e seus impactos**. 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/rede-de-esgoto/#:~:text=As%20redes%20de%20esgoto&text=Esse%20sistema%20%C3%A9%20uma%20medida,para%20a%20preserva%C3%A7%C3%A3o%20dos%20mananciais>. Acesso em: 18 de março de 2021.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – Insumos e Composições, Desonerado**. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660. Acesso em: 25 de abril de 2021.

CLIMA TEMPO. **Clima Tempo**, 2021. Climatologia em Porto Vera Cruz, BR. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/4481/portoveracruz-rs>. Acesso em: 21 de março de 2021.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Diretrizes Técnicas: Manual de Procedimentos para Projeto e Execução de Parcelamento de Solo – Anexo E**. Porto Alegre, 2018.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Caderno de Encargos: Movimento do Solo**. Porto Alegre, 2013.

DE PAOLI, André C.; VON SPERLING, Marcos. Avaliação das condições hidrodinâmicas de *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial (unidade plantada e não plantada). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v.1, n. 2, p. 213-222, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294738601_avaliacao_das_condicoes_hidrodinamicas_de_wetlands_de_escoamento_horizontal_subsuperficial_unidades_plantada_e_nao_plantada/fulltext/56e0bac608ae979addf0fc85/avaliacao-das-condicoes-hidrodinamicas-de-wetlands-de-escoamento-horizontal-subsuperficial-unidades-plantada-e-nao-plantada.pdf. Acesso em: 21 de novembro de 2020.

DIB, André. *Brazil's Pantanal – the world's biggest wetland: in pictures*. **The Guardian**, 2 de fevereiro de 2018. Disponível em:

<https://www.theguardian.com/environment/gallery/2018/feb/02/brazils-pantanal-the-worlds-biggest-wetland-in-pictures>. Acesso em: 17 de outubro de 2020.

Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar – DTHA. **Secretaria de Saúde da Bahia**, 2020. Disponível em: <http://www.saude.ba.gov.br/suvisa/vigilancia-epidemiologica/doencas-transmissiveis/doencas-de-transmissao-hidrica-e-alimentar-dtha/>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

DOTRO, Gabriela *et al.* **Treatment Wetlands**. Londres: IWA Publishing, 2017.

EMPRESA WETLANDS CONSTRUÍDOS. **Site Wetlands Construídos**, 2020. Conteúdos e eventos relevantes sobre a tecnologia *wetlands* construídos. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-constru%C3%ADdos-e-os-ods-o-futuro-do-saneamento>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, Resolução CONSEMA N° 355/2017. **Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2021.

Fiscalização não acompanha velocidade da construção de novas fossas. **Correio Braziliense**, 21 de fevereiro de 2016. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

FREITAS, Eduardo de. Hierarquia das cidades no Brasil. **Brasil Escola**, 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/hierarquia-das-cidades-no-brasil.htm>. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER, Diretriz Técnica n° 05/2017. **Referente ao descarte e ao reuso de efluentes líquidos no Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DT-005-2017.PDF>. Acesso em: 28 de março de 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de orientações para municípios de pequeno porte referente à celebração de convênios de cooperação e contratos de programa**. Fundação Nacional da Saúde., 2020. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/CONTRATOS.pdf/f16b5f7b-66bf-4cc3-af48-84d13ab06ae4>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Operação e manutenção de tanques sépticos – lodo.** Fundação Nacional da Saúde., 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/operacaoemantencadetanquessepticos_lodo.pdf. Acesso em: 15 de fevereiro de 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Termo de referência para a elaboração de planos municipais de saneamento básico.** Fundação Nacional da Saúde., 2018. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/23919/TR+PMSB+2018+Funasa+WEB.pdf/89ae-fa32-ee9a-4e96-924d-ad50f98b39c1>. Acesso em: 10 de julho de 2020.

GLOBO RURAL. **Tratamento de esgoto nas áreas rurais é 50% menor que nas urbanas.** Revista Globo Rural, 2021. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2021/03/tratamento-de-egoto-nas-areas-rurais-e-50-menor-do-que-nas-urbanas.html>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

GODINHO, Marina S.; GUEDES, Juliana S. M. **Wetlands construídos: estudo de caso Parc du Chemin de l'Ile e aplicabilidade em municípios brasileiros sob a perspectiva da ecologia e economia.** In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2017, Belo Horizonte. Resumos. p 1-10.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-vera-cruz/panorama>. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9858&t=downloads>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9858&t=download>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contagem da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3451#resultado>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento brasileiro**. Instituto Trata Brasil, 2018. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/sumario_executivo.pdf. Acesso em: 10 de julho de 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento Básico: periferias são preteridas em relação às capitais**. Instituto Trata Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2010/04/12/saneamento-basico-periferias-sao-preteridas-em-relacao-as-capitais/>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

IPTUBR. **Porto Vera Cruz**. Disponível em: <http://iptubr.com.br/portoveracruz/>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

JESUS, Bruna M.; Winkler, Vanessa L. **Avaliação de um sistema de wetlands construído no pós-tratamento de efluente de frigorífico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. **Treatment Wetlands**. 2ª Edição. Boca Raton: CRC Press, 2008.

LEAL, Laiz Reis.; ALVAREZ, Cristina Engel.; CASER, Karla do Carmo. **Parâmetros de cálculo da viabilidade econômica na implantação de wetlands construídos para condomínios residenciais**. In: **II ENCONTRO NACIONAL SOBRE REABILITAÇÃO URBANA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DO EDIFÍCIO A ESCALA URBANA**, 2017, Lisboa. Resumos. p. 373-382.

LIMA, Rodrigo Fidelis. **Potencialidades dos wetlands construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras**. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LOURENÇO, Lucas Silva. **Remoção da matéria orgânica e nutrientes de esgoto doméstico por wetland na Estação de Tratamento Aparecida – Campos Novos**. 2017. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

MADEIRA MADEIRA. **Fossa séptica 10.000 litros Acqualimp**. Disponível em: <https://www.madeiramadeira.com.br/fossa-septica-10-000l-acqualimp-2655340.html?seller=8198&origem=pla->

[2655340&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=fossas-septicas-1127&utm_term=&utm_id=12917674215&gclid=EA1aIQobChMI_bjF15Cs8AIVxAWRCh2UgAI9EAQYASABEgIQVfD_BwE&taxonomy.lvl0=Materiais_Hidr%C3%A1ulicos](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092464601127&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=fossas-septicas-1127&utm_term=&utm_id=12917674215&gclid=EA1aIQobChMI_bjF15Cs8AIVxAWRCh2UgAI9EAQYASABEgIQVfD_BwE&taxonomy.lvl0=Materiais_Hidr%C3%A1ulicos).

Acesso em: 20 de março de 2021.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR J. A.; **Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries**. Journal of Environmental Management, v. 90, 2009.

MATOS, M.; VON SPERLING, M.; MATOS, A.; DIAS, D.; SANTOS, C. **Colmatção e desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial ao longo de oito anos de operação**. Eng. Sanit. Ambient. v. 23, n. 6, p. 1227-1237, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/34578>.

MENDONÇA, Alexandre Antonio. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida**. 2015. Tese (Mestrado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

OLIJNYK, Débora Parcias. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetland) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Lima. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: LIRA, WS.; CÂNDIDO, GA. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, 2013, p. 213-232. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em 22 de setembro de 2020.

OMS pede aumento de investimentos para atingir meta de banheiro para todos. **Organização Pan-Americana de Saúde**, 2018. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5776:oms-pede-aumento-de-investimentos-para-atingir-meta-de-banheiro-para-todos&Itemid=839. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

ORMONDE, Vanusa Soares. **Avaliação de “wetlands” construídos no pós-tratamento de efluentes de lagoa de maturação**. 2012. Tese (Mestrado em Gestão de Água e Resíduos) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

PELLISSARI, C. *et al.* Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovino da bovinocultura leiteira em *wetlands* construídos. **Eng Sanit. Ambient.** v. 24, p. 585-590, junho de 2019.

PENNER, Giovanni; DIAS, Ana Gabriela; JÚNIOR, Laércio. **Engenharia Ambiental e Sanitária: Interfaces do Conhecimento.** 2ª Edição. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

PESSOA, M. L. (Org.). Saneamento no RS. *In: Atlas FEE.* Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/saneamento/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

PHILIPPI, Luiz Sergio; SEZERINO, Pablo Heleno. **Aplicação de sistemas tipo *wetland* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** 1ª Edição. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VERA CRUZ. **A História.** 2019. Disponível em: [https://www.portoveracruz.rs.gov.br/site/conteudos/2496-a-historia#fotos\[0\]/2/](https://www.portoveracruz.rs.gov.br/site/conteudos/2496-a-historia#fotos[0]/2/). Acesso em: 08 de março de 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VERA CRUZ. **Plano de Zoneamento Ambiental e Urbanístico.** 2018.

ROUSSO, Benny Zuse. **Desempenho de um *wetland* construído horizontal empregado no tratamento de esgoto doméstico ao longo de 20 anos de operação.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SALATI, Eneas. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Controle de qualidade de água através de sistemas *wetland* construídos.** Rio de Janeiro, 2006.

Saneamento Básico ainda é um problema no Rio Grande do Sul. **Instituto Trata Brasil,** 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/09/22/saneamento-basico-ainda-e-um-problema-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

SANTIAGO, Aníbal da Fonseca. **Sistema condominial de coleta de esgoto e tratamento em decanto-digestor seguido de alagados construídos. Estudo de caso: município de Nova Redenção-BA.** 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANTOS, Soanne Hemylle. **Avaliação de um *wetland*: Sistema alagado construído para tratamento de esgoto.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Saneamento Ambiental) - Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, 2017.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2017. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202007/15182955-bloco01-programa-detalhado-de-trabalho.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul: Clima, temperatura e precipitação**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>. Acesso em: 19 de março de 2021.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul: Crescimento Populacional**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/crescimento-populacional>. Acesso em: 3 de março de 2021.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* **Wetlands Construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário – Recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Florianópolis, 2018.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* *Wetlands* construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos. **Revista Engenharia e Construção Civil**. v. 2, p. 1-10, dezembro de 2015.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*Constructed Wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**. 2018. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2021.

TANNER, Chris. **Plants for constructed wetland treatment systems – A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species**. *Ecological Engineering*, Nova Zelândia, p. 59-83, 1996.

TONETTI, Adriano Luiz *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. 2018. Campinas/SP: Biblioteca Unicamp, 2018.

TRINDADE, C. *et al.* Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do campus carreiros – FURG, Rio Grande, RS. **Cadernos de Ecologia Aquática**. v.5, p. 1-22, 2010.

TUCCI, Carlos E. M.; **Regionalização de Vazões**. 2010. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/regionalizacao-de-vazoes-i/>. Acesso em: 28 de março de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

TREATMENT WETLANDS. *Treatment Wetlands*. 2011. Disponível em: <http://treatmentwetlands.blogspot.com/2011/08/>. Acesso em: 3 de abril de 2021.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2ª Edição. Belo Horizonte: SEGRAC, 1998.

VON SPERLING, Marcos.; SEZERINO, Pablo Heleno. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes**. 2018. Boletim *Wetlands* Brasil, Edição Especial, Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 17 de março de 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNEP. **Integrated Watershed Management - Ecohydrology & Phytotechnology - Manual**. 2004.

WARTCHOW, D.; REIS, F. O.; TREVISAN, M. L. Sistema de Apoio ao Saneamento Básico. **Expressa Extensão**. v. 25, p. 91-106, janeiro de 2020.

Wetland Wonderland. World Wide Fund for Nature, 2020. Disponível em: https://wwf.panda.org/discover/knowledge_hub/where_we_work/pantanal/?. Acesso em: 17 de outubro de 2020.

WIKIPÉDIA. **Porto Vera Cruz**. 2006. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Porto_Vera_Cruz Acesso em: 11 de maio de 2021.

APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ESGOTO

Coletor	PV Mont.	PV Jus.	L (m)	C.T. Mont. (m)	C.T. Jus. (m)	C.C. Mont. (m)	C.C. Jus. (m)	Prof. Mont. (m)	Prof. Jus. (m)	D (mm)	Decliv. (m/m)	Q inicial (L/s)	Q final (L/s)	V inicial (m/s)	V final (m/s)	V crít. (m/s)	Tensão Tratativa (Pa)	H/D inicial	H/D final
011-001	TL-011	PV-010	43,18	111,683	109,047	110,683	108,047	1	1	100	0,06105	0,0412	0,0451	1,31	1,31	2,08	7,018	0,2	0,2
010-001	TL-010	PV-006	31,27	116,406	115,125	115,406	114,125	1	1	100	0,04097	0,0298	0,0327	1,14	1,14	2,17	5,14	0,22	0,22
009-001	TL-009	PV-022	58,06	111,371	109,661	110,371	108,661	1	1	100	0,02945	0,0554	0,0607	1,01	1,01	2,25	3,97	0,24	0,24
008-001	TL-008	PV-040	69,91	129,624	127,705	128,624	126,705	1	1	100	0,02745	0,0667	0,073	0,99	0,99	2,27	3,757	0,25	0,25
008-002	PV-040	PV-016	53,71	127,705	121,576	126,705	120,576	1	1	100	0,11411	0,1179	0,1291	1,64	1,64	1,94	11,425	0,17	0,17
007-001	TL-007	PV-037	97,52	126,271	119,659	125,271	118,659	1	1	100	0,0678	0,093	0,1019	1,36	1,36	2,05	7,616	0,2	0,2
007-002	PV-037	PV-038	47,83	119,659	117,312	118,658	116,311	1,001	1,001	100	0,04907	0,1386	0,1519	1,21	1,21	2,13	5,918	0,21	0,21
007-003	PV-038	PV-039	52,14	117,312	115,243	116,309	114,241	1,003	1,002	100	0,03966	0,1883	0,2064	1,13	1,13	2,18	5,011	0,23	0,23
007-004	PV-039	PV-002	54,7	115,243	113,096	114,241	112,096	1,002	1	100	0,03921	0,2405	0,2635	1,12	1,12	2,18	4,967	0,23	0,23
006-001	TL-006	PV-026	69,2	117,277	115,036	116,277	114,036	1	1	100	0,03238	0,066	0,0723	1,05	1,05	2,23	4,276	0,24	0,24
005-001	TL-005	PV-034	62,71	139,857	133,664	138,857	132,664	1	1	100	0,09876	0,0598	0,0655	1,55	1,55	1,97	10,21	0,18	0,18
005-002	PV-034	PV-035	66,31	133,664	131,592	132,658	130,586	1,006	1,006	100	0,03125	0,1231	0,1348	1,03	1,03	2,24	4,159	0,24	0,24
005-003	PV-035	PV-036	100,56	131,592	121,745	130,586	120,745	1,006	1	100	0,09786	0,219	0,2399	1,55	1,55	1,97	10,137	0,18	0,18
005-004	PV-036	PV-006	66,8	121,745	115,125	120,745	114,125	1	1	100	0,0991	0,2827	0,3097	1,56	1,56	1,97	10,237	0,18	0,18
004-001	TL-004	PV-030	49,65	128,99	123,917	127,99	122,917	1	1	100	0,10218	0,0474	0,0519	1,57	1,57	1,96	10,484	0,18	0,18
004-002	PV-030	PV-031	78,83	123,917	118,826	122,915	117,824	1,002	1,002	100	0,06458	0,1226	0,1343	1,34	1,34	2,07	7,333	0,2	0,2
004-003	PV-031	PV-032	70,07	118,826	115,134	117,823	114,133	1,003	1,001	100	0,05266	0,1894	0,2075	1,24	1,24	2,11	6,253	0,21	0,21

Coletor	PV Mont.	PV Jus.	L (m)	C.T. Mont. (m)	C.T. Jus. (m)	C.C. Mont. (m)	C.C. Jus. (m)	Prof. Mont. (m)	Prof. Jus. (m)	D (mm)	Decliv. (m/m)	Q inicial (L/s)	Q final (L/s)	V inicial (m/s)	V final (m/s)	V crít. (m/s)	Tensão Tratativa (Pa)	H/D inicial	H/D final
004-004	PV-032	PV-025	63,71	115,134	115,748	114,109	113,925	1,025	1,823	100	0,00289	0,2502	0,2741	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
003-001	TL-003	PV-023	41,18	132,315	130,796	131,315	129,796	1	1	100	0,03689	0,0393	0,043	1,1	1,1	2,2	4,735	0,23	0,23
003-002	PV-023	PV-024	84,09	130,796	121,758	129,796	120,758	1	1	100	0,10748	0,1195	0,1309	1,6	1,6	1,95	10,905	0,18	0,18
003-003	PV-024	PV-025	66,91	121,758	115,748	120,758	114,748	1	1	100	0,08982	0,1833	0,2008	1,5	1,5	1,99	9,483	0,18	0,18
003-004	PV-025	PV-026	11,79	115,748	115,036	113,925	113,891	1,823	1,145	100	0,00289	0,4447	0,4872	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
003-005	PV-026	PV-027	61,46	115,036	111,073	113,891	110,073	1,145	1	100	0,06212	0,5693	0,6237	1,32	1,32	2,07	7,114	0,2	0,2
003-006	PV-027	PV-028	51,5	111,073	108,596	110,071	107,594	1,002	1,002	100	0,0481	0,6184	0,6775	1,21	1,21	2,13	5,826	0,22	0,22
003-007	PV-028	PV-029	75,95	108,596	108,519	107,57	107,351	1,026	1,168	100	0,00289	0,6909	0,7568	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
003-008	PV-029	PV-008	65,29	108,519	109,54	107,35	107,161	1,169	2,379	100	0,00289	0,7532	0,825	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
002-001	TL-002	PV-015	48,21	124,994	122,664	123,994	121,664	1	1	100	0,04833	0,046	0,0504	1,21	1,21	2,13	5,848	0,22	0,22
002-002	PV-015	PV-016	54,67	122,664	121,576	121,659	120,571	1,005	1,005	100	0,0199	0,0982	0,1075	0,88	0,88	2,35	2,92	0,27	0,27
002-003	PV-016	PV-017	53,14	121,576	116,853	120,571	115,853	1,005	1	100	0,08878	0,2668	0,2921	1,5	1,5	1,99	9,397	0,19	0,19
002-004	PV-017	PV-018	73	116,853	114,044	115,849	113,04	1,004	1,004	100	0,03848	0,3364	0,3684	1,11	1,11	2,19	4,894	0,23	0,23
002-005	PV-018	PV-019	60,46	114,044	110,212	113,04	109,212	1,004	1	100	0,06331	0,3941	0,4316	1,33	1,33	2,07	7,22	0,2	0,2
002-006	PV-019	PV-020	52,76	110,212	109,053	109,206	108,047	1,006	1,006	100	0,02197	0,4444	0,4867	0,91	0,91	2,32	3,156	0,26	0,26
002-007	PV-020	PV-021	56,33	109,053	108,618	108,038	107,609	1,015	1,009	100	0,00762	0,4981	0,5455	0,62	0,62	2,6	1,37	0,35	0,35
002-008	PV-021	PV-022	45,61	108,618	109,661	107,598	107,466	1,02	2,195	100	0,00289	0,5416	0,5931	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45

Coletor	PV Mont.	PV Jus.	L (m)	C.T. Mont. (m)	C.T. Jus. (m)	C.C. Mont. (m)	C.C. Jus. (m)	Prof. Mont. (m)	Prof. Jus. (m)	D (mm)	Decliv. (m/m)	Q inicial (L/s)	Q final (L/s)	V inicial (m/s)	V final (m/s)	V crít. (m/s)	Tensão Trativa (Pa)	H/D inicial	H/D final
002-009	PV-022	PV-014	40,97	109,661	108,77	107,466	107,348	2,195	1,422	100	0,00289	0,6361	0,6966	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-001	TL-001	PV-001	97,01	120,675	113,32	119,675	112,32	1	1	100	0,07582	0,0925	0,1013	1,42	1,42	2,03	8,31	0,19	0,19
001-002	PV-001	PV-002	88,67	113,32	113,096	112,294	112,038	1,026	1,058	100	0,00289	0,1771	0,1939	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-003	PV-002	PV-003	40,47	113,096	113,996	112,038	111,921	1,058	2,075	100	0,00289	0,4562	0,4997	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-004	PV-003	PV-004	8,3	113,996	113,784	111,921	111,897	2,075	1,887	100	0,00289	0,4641	0,5084	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-005	PV-004	PV-005	32,62	113,784	114,357	111,897	111,803	1,887	2,554	100	0,00289	0,4952	0,5425	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-006	PV-005	PV-006	57,49	114,357	115,125	111,803	111,637	2,554	3,488	100	0,00289	0,55	0,6026	0,44	0,44	2,87	0,633	0,45	0,45
001-007	PV-006	PV-007	56,94	115,125	112,222	111,637	111,222	3,488	1	100	0,00729	0,9168	1,0045	0,61	0,61	2,61	1,323	0,35	0,35
001-008	PV-007	PV-008	53,67	112,222	109,54	111,222	108,54	1	1	100	0,04997	0,968	1,0606	1,22	1,22	2,12	6,003	0,21	0,21
001-009	PV-008	PV-009	43,14	109,54	109,115	107,153	107,037	2,387	2,078	100	0,00269	1,7624	1,9307	0,44	0,45	3,03	0,633	0,5	0,53
001-010	PV-009	PV-010	11,57	109,115	109,047	107,037	107,006	2,078	2,041	100	0,00268	1,7734	1,9428	0,44	0,45	3,03	0,633	0,51	0,54
001-011	PV-010	PV-011	28,54	109,047	108,766	107,005	106,93	2,042	1,836	100	0,00263	1,8418	2,0177	0,45	0,46	3,06	0,634	0,52	0,55
001-012	PV-011	PV-012	53,1	108,766	109,44	106,929	106,791	1,837	2,649	100	0,0026	1,8925	2,0732	0,45	0,46	3,08	0,632	0,53	0,56
001-013	PV-012	PV-013	70,9	109,44	109,548	106,79	106,609	2,65	2,939	100	0,00255	1,9601	2,1473	0,45	0,46	3,1	0,632	0,55	0,58
001-014	PV-013	PV-014	55,44	109,548	108,77	106,608	106,468	2,94	2,302	100	0,00253	2,013	2,2052	0,45	0,46	3,12	0,632	0,56	0,59
001-015	PV-014	FIM	42,13	108,77	107,561	106,456	106,344	2,314	1,217	100	0,00266	2,6893	2,9458	0,49	0,5	3,24	0,728	0,66	0,71

APÊNDICE II – ORÇAMENTAÇÃO

Código	Item	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
9841	TUBO PVC, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO OU ÁGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	15,03	3233,47	48599,05
20172	TE, PVC, 90 GRAUS, BBP, JE, DN 100 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	un	52,85	27,00	1426,95
3520	JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 90 GRAUS, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	un	8,54	4,00	34,16
4723	PEDRA BRITADA N. 4 (50 A 76 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	47,04	16,56	778,89
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	50,5	561,00	28330,50
COMP. PRÓPRIA	MUDA TYPHA DOMINGENSIS	un	13,35	4352	58099,00
COMP. PRÓPRIA	FOSSA SÉPTICA PEAD 10.000 L	un	11089,91	8,00	88719,28
90082	LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA.AF_05/2018	m²	2,38	17800,00	42364,00
90105	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO) COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M3 / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA MENOR QUE 0,8 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_02/2021	m³	6,34	19,89	126,13
90092	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M E ATÉ 3,0 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (0,8 M3/111 HP), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_02/2021	m³	4,48	996,22	4463,06
90094	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 3,0 M ATÉ 4,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (0,8 M3/111 HP), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_02/2021	m³	4,24	182,36	773,21
93378	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM SOLO DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	m³	19,01	19,89	378,18
93368	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³ / POTÊNCIA: 111 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	m³	13,03	996,22	12980,74
93370	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³ / POTÊNCIA: 111 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 3,0 A 4,5 M, COM SOLO DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	m³	9,97	182,36	1818,14
101570	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO PONTALETEAMENTO, COM PROFUNDIDADE DE 0 A 1,5 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	m²	16,67	1713,61	28565,92
101572	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO PONTALETEAMENTO, COM PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	m²	13,17	461,42	6076,90

Código	Item	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
101574	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO PONTALETEAMENTO, COM PROFUNDIDADE DE 3,0 A 4,5 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	m ²	10,27	60,36	619,94
97636	DEMOLIÇÃO PARCIAL DE PAVIMENTO ASFÁLTICO, DE FORMA MECANIZADA, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m ²	15,05	2581,51	38851,76
25864	MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,50 MM (NBR 15352)	m ²	29,28	153,12	4483,32
98112	TIL (TUBO DE INSPEÇÃO E LIMPEZA) CONDOMINIAL PARA ESGOTO, EM PVC, DN 100 X 100 MM. AF_12/2020	un	114,98	11,00	1264,78
98420	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) POÇO DE VISITA CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,0 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,50 M, INCLUINDO TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO, DIÂMETRO DE 60 CM. AF_04/2018	un	1.388,84	26,00	36109,84
98421	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) POÇO DE VISITA CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,0 M, PROFUNDIDADE DE 1,50 A 2,00 M, INCLUINDO TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO, DIÂMETRO DE 60 CM. AF_04/2018	un	1.550,91	3,00	4652,73
98422	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) POÇO DE VISITA CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,0 M, PROFUNDIDADE DE 2,00 A 2,50 M, INCLUINDO TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO, DIÂMETRO DE 60 CM. AF_04/2018	un	1.712,99	6,00	10277,94
98423	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) POÇO DE VISITA CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,0 M, PROFUNDIDADE DE 2,50 A 3,00 M, INCLUINDO TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO, DIÂMETRO DE 60 CM. AF_04/2018	un	1.802,29	3,00	5406,87
98424	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) POÇO DE VISITA CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,0 M, PROFUNDIDADE DE 3,00 A 3,50 M, INCLUINDO TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO, DIÂMETRO DE 60 CM. AF_04/2018	un	1.891,60	1,00	1891,60
90733	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_01/2021	m	2,78	2819,47	7838,13
99063	LOCAÇÃO DE REDE DE ÁGUA OU ESGOTO. AF_10/2018	m	3,57	2819,47	10065,51
95995	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO, CAMADA DE ROLAMENTO - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF_11/2019	m ³	1.191,79	129,08	153831,04
101124	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA E DESCARGA EM SOLO DE 1A CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (100HP/LÂMINA: 2,19M3). AF_07/2020	m ³	9,92	15484,34	153604,69
98504	PLANTIO DE GRAMA EM PLACAS. AF_05/2018	m ²	17,69	259,89	4597,42
101194	CERCA COM MOURÕES DE CONCRETO, RETO, H=2,30 M, ESPAÇAMENTO DE 2,5 M, CRAVADOS 0,5 M, COM 4 FIOS DE ARAME MISTO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_05/2020	m	41,44	829,00	34353,76
101205	PORTÃO COM MOURÕES DE MADEIRA ROLIÇA, DIÂMETRO 11 CM, COM 5 FIOS DE ARAME FARPADO Nº 14 CLASSE 250, SEM DOBRADIÇAS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_05/2020	m	32,59	3,00	97,77

APÊNDICE III – PLANTA BAIXA E DE LOCALIZAÇÃO DA REDE DE ESGOTO



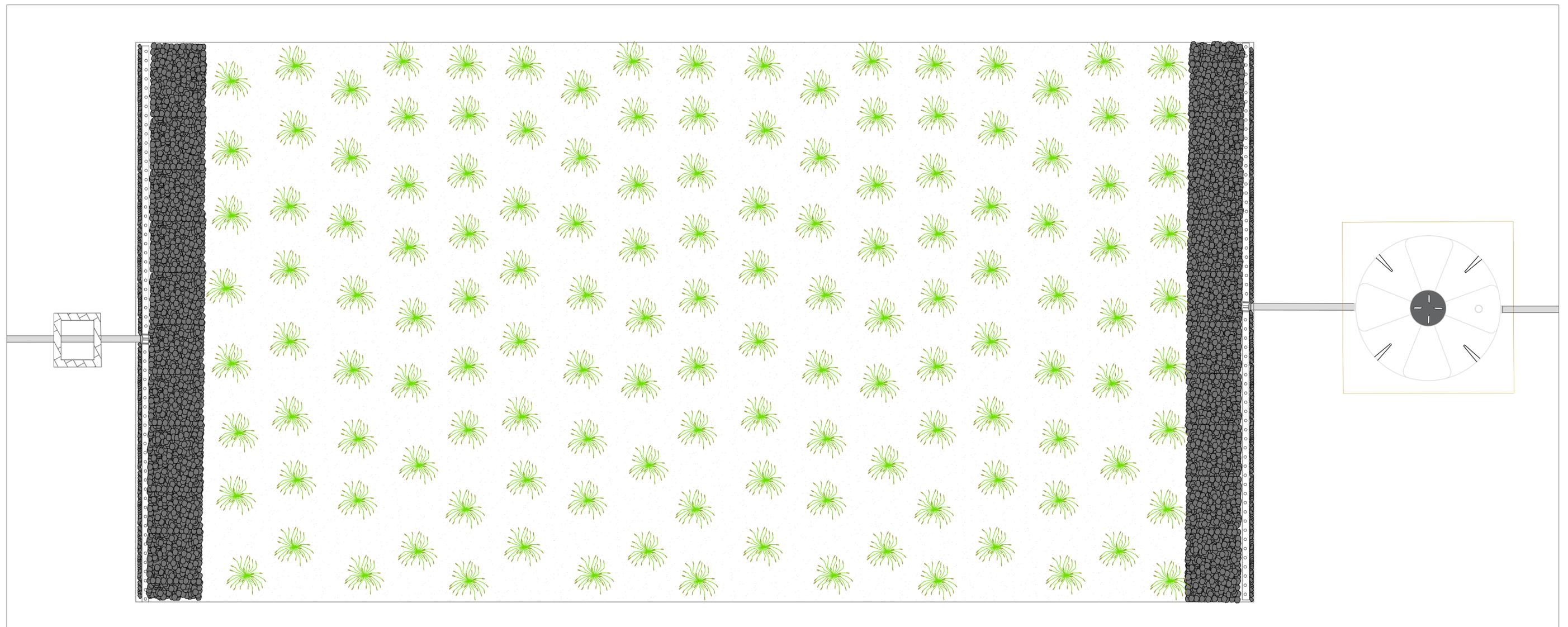
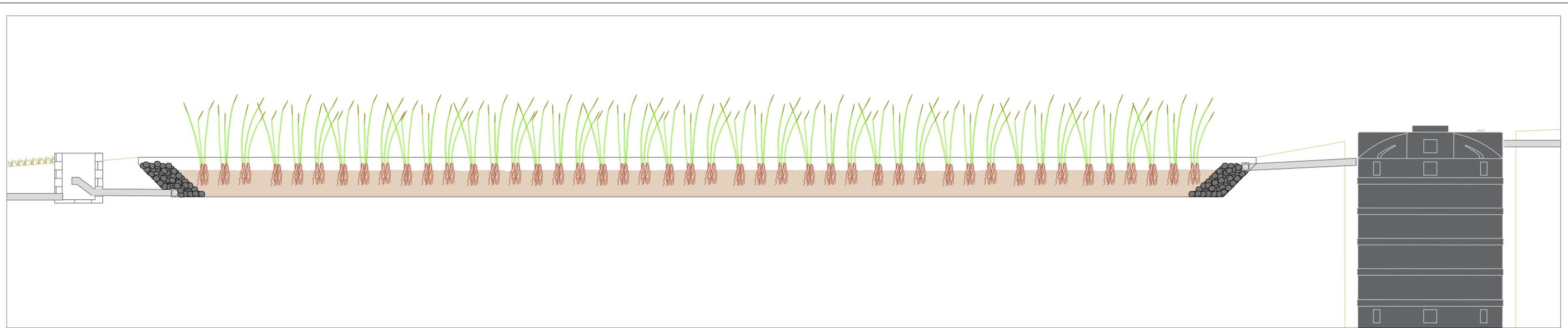
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DA REDE COLETORA SEM ESCALA

- LEGENDA:
- REDE COLETORA PROJETADA
 - PV – POÇO DE VISITA
 - CURSO D'ÁGUA
 - LIMITE DO TERRENO
 - TL – TERMINAL DE LIMPEZA

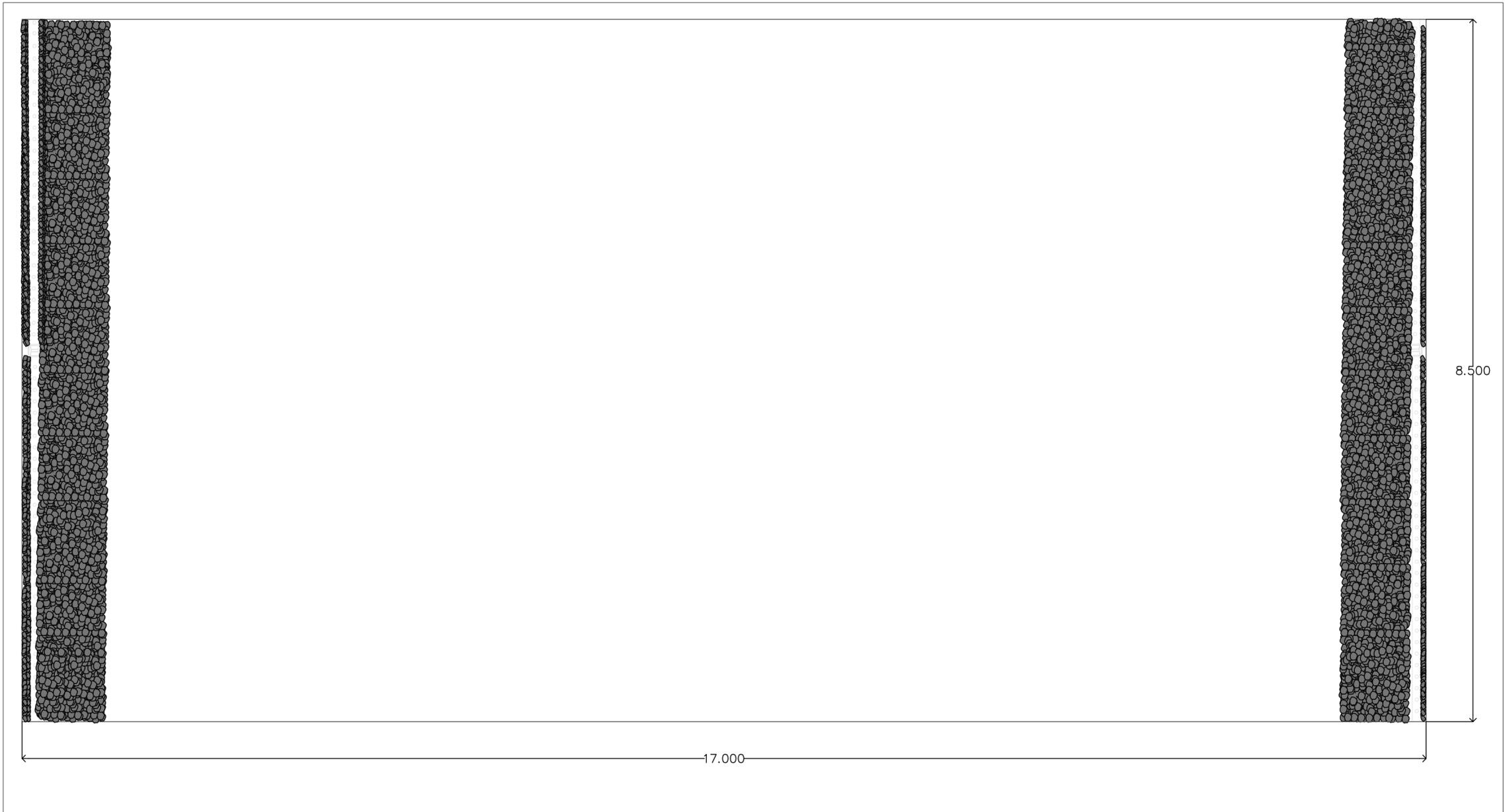
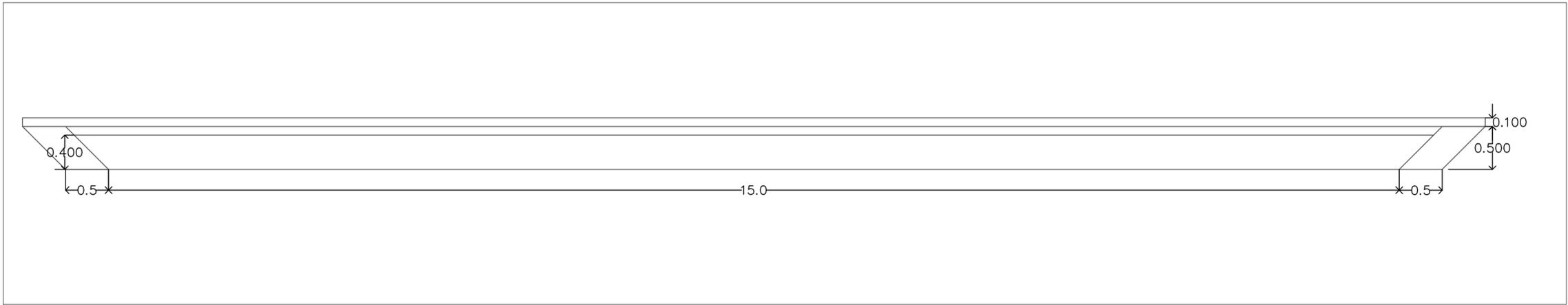
PLANTA BAIXA DA REDE COLETORA
ESCALA 1:1300

PROJETO DE REDE DE ESGOTO SANITÁRIO PORTO VERA CRUZ – RS	
REDE COLETORA – PLANTA BAIXA E DE LOCALIZAÇÃO ESCALA INDICADA	01/01

APÊNDICE IV – SISTEMA DE TRATAMENTO



APÊNDICE V – SISTEMA DE TRATAMENTO - CORTES



PROJETO SISTEMA DE TRATAMENTO
DE ESGOTO SANITÁRIO
PORTO VERA CRUZ – RS

ESCALA 1:40

WETLAND – CORTES

01/01

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DO DIMENSIONAMENTO DO WCH

Item	Sigla	Valor	Comentários
Altura do meio suporte	Hs	0,50 a 0,90 m	Os maiores valores de altura estão normalmente associados a granulometrias mais finas do meio filtrante, de forma a se ter uma maior área da seção transversal (altura x largura) e, consequentemente, reduzir a perda de carga hidráulica. Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
Profundidade da lâmina de esgoto	p	0,40 a 0,80 m	Os maiores valores de profundidade estão normalmente associados a granulometrias mais finas do meio filtrante, de forma a se ter uma maior área da seção transversal (altura x largura) e, consequentemente, menor perda de carga hidráulica. Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
Distância entre o nível de esgoto e o topo do meio suporte	HL	0,10 m	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
Borda livre (distância entre o topo do meio suporte e o nível do terreno fora da unidade ou da parte superior da parede, caso existente)	bL	0,10 a 0,20 m	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
Relação comprimento:largura	C : L	2 : 1 – 4 : 1	Ref (relação C:L): IWA Task Group (2017)
Largura máxima de cada módulo	Lmáx	25 a 30 m	Objetivo: facilitar a distribuição equânime da vazão ao longo da largura da unidade ou módulo. Ref: IWA Task Group (2017)
Número de unidades em paralelo	N	-	A divisão da área total requerida em mais de uma unidade propicia maior flexibilidade operacional, no caso da necessidade de manutenção e limpeza em uma das unidades. Em sistemas maiores, poderá haver um maior número de unidades em paralelo, de forma a evitar que haja unidades individuais de grandes dimensões
Inclinação das paredes ou taludes internos (horizontal/vertical)	Z	Variando de 0:1 a 2:1	Em sistemas de pequeno porte é frequente a adoção de paredes verticais, de alvenaria ou concreto. Em sistemas com taludes internos e escavação em solo, a inclinação do talude dependerá do tipo de solo, a ser definido com base em conhecimentos geotécnicos do solo local ou do solo de empréstimo a ser utilizado. Neste caso, valores usuais de Z situam-se entre 1:1 e 2:1.

Item	Sigla	Valor	Comentários
Declividade longitudinal do fundo	i	0 a 1 %	Alguns sistemas, principalmente com elevadas taxas de aplicação hidráulica, adotam declividades longitudinais para compensar a perda de carga advinda da colmatação dos poros. O nível d'água na saída é ditado pela altura da tubulação de saída, ao passo que o nível d'água na entrada é mais elevado, pois é acrescido da perda de carga hidráulica, que aumenta à medida que a colmatação no leito progride com o tempo. Em sistemas com maiores taxas de aplicação hidráulica, pode se considerar a inclusão da declividade de fundo. Caso seja adotada a declividade, ela deve ser apenas no fundo, e o topo do meio suporte permanece nivelado.

Fonte: Sezerino e Von Sperling, 2018.

ANEXO II – CARACTERÍSTICAS DO LEITO FILTRANTE DO WCH

Item	Sigla	Valor ou descrição	Comentários
Granulometria do leito	GL	Poderão ser usados brita, cascalho, escória siderúrgica ou outros materiais que possuam resistência física e que não sofram desagregação devido às atividades químicas e biológicas que ocorrem no leito. A granulometria destes materiais é referenciada em termos da britagem: brita 0 (4,8 a 9,5 mm); brita 1 (9,5 a 19 mm); ou brita 2 (19 a 25 mm).	Granulometrias menores propiciam melhor capacidade de filtração, mas conduzem a entupimentos (colmatação) mais rápidos. Granulometrias menores devem estar associadas a maiores alturas do meio suporte e a menores taxas de aplicação hidráulica. . Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017).
Granulometria do leito nas zonas de entrada (distribuição do afluente) e saída (coleta do efluente)	GES	Britagem correspondente a brita 4 (50 a 76 mm) ou pedra de mão (granulometria superior a 76 mm)	

Fonte: Sezerino e Von Sperling, 2018.

ANEXO III – DETALHES CONSTRUTIVOS DO WCH

Item	Sigla	Valor ou descrição	Comentários
Entrada e distribuição do afluente	ED eflu	Comprimento da zona de entrada entre 0,5 e 1,0 m. Usualmente se adota entrada submersa no leito de distribuição, para evitar a exposição de esgoto acima da superfície. No entanto, há sistemas que têm a distribuição em tubulações ou canais abertos, de forma a facilitar a limpeza. Em qualquer situação, a estrutura de entrada deve cobrir toda a largura da unidade ou módulo. Para sistemas de pequeno porte, usualmente se utiliza tubulação de distribuição DN 100 mm com furos de 20 mm de diâmetro, espaçados a cada 10 cm.	
Coleta e retirada do efluente	CR eflu	Comprimento da zona de saída entre 0,5 e 1,0 m. Para sistemas de pequeno porte, a coleta do efluente é por tubulação de drenagem DN 100 mm perfurada com furos de 20 mm de diâmetro espaçados a cada 10 cm, cobrindo a largura da unidade ou módulo, e situada próximo ao fundo do <i>wetland</i> . Na saída, introduzir uma forma de alterar o nível de água no final do <i>wetland</i> (controlador de nível) por meio de tubulação regulável, tubulação flexível ou válvula telescópica, usualmente colocada em caixa situada fora do <i>wetland</i> .	
Impermeabilização do fundo e paredes ou taludes internos	IMP	Utilização de materiais e métodos que garantam a impermeabilização do fundo e das paredes (alvenaria ou concreto) ou taludes internos (solo) e que garantam a resistência mecânica e aos impactos da radiação solar. Materiais frequentemente utilizados são geomembranas ou camadas de lona plástica e bidim intercalados, quando escavados em solo. Para geomembranas de PEAD, a espessura mínima recomendada é de de 1,5 mm, no caso de ETEs atendendo populações superiores a cerca de 50 habitantes.	Ref: Espessura da geomembrana: DWA (2017).

Fonte: Adaptado Sezerino e Von Sperling, 2018.

ANEXO IV – PLANTAS MACRÓFITAS PARA WCH

Item	Especificação	Comentários
Plantas potencialmente utilizáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Typha (taboa); - Cyperus papyrus (papiro); - Zizania bonariensis (junco); - Juncus spp (junco); - Eleocharis spp; - Alternanthera spp; - Brachiaria spp; - Cynodon spp (capim Tifton 85); - Pennisetum purpureum (capim-elefante); - Chrysopogon zizanioides (capim Vetiver); - Canna generalis (biri). 	<p>Outras plantas podem ser potencialmente utilizáveis, desde que se adaptem bem às condições operacionais impostas. Pode-se valorizar a utilização de plantas com funções ornamentais ou que possibilitem alguma utilização do material após corte.</p>
Manejo das plantas	<p>Usualmente são plantadas com cerca de 4 propágulos por m² (variável com a espécie) mas, com o passar do tempo, a densidade de plantas aumenta consideravelmente. Deve-se controlar o crescimento de espécies invasoras. Cortes mais frequentes, realizados durante a fase de crescimento da planta, potencializam uma maior capacidade de extração de nutrientes e outros compostos. A remoção das plantas, após o corte, evita a liberação no leito filtrante dos compostos absorvidos.</p> <p>Em sistemas de grande porte, a biomassa oriunda da poda das macrófitas poderá ser encaminhada para compostagem.</p>	

Fonte: Adaptado Sezerino e Von Sperling, 2018

ANEXO V – CRITÉRIOS DE PROJETO DO WCH

Item	Valor	Comentários
Taxa de aplicação orgânica superficial máxima	6 a 15 gDBO/m ² .dia	<p>- A área calculada é a área da parte superior do leito filtrante, e não a área do fundo ou a meia profundidade.</p> <p>- Calcular com a carga afluente baseada na vazão média.</p> <p>- Os maiores valores das taxas de aplicação orgânica superficial estão usualmente associados a condições climáticas mais favoráveis (temperaturas mais quentes), ao passo que os menores valores estão usualmente associados a condições climáticas menos favoráveis (temperaturas mais frias), dentro da faixa climática brasileira.</p> <p>A decisão do projetista deve levar em consideração, portanto, os requisitos de área, a expectativa com relação ao efluente final e à longevidade da operação, sem a necessidade de limpeza ou troca do meio filtrante.</p> <p>Ref: adaptado de IWA Task Group (2017) e de resultados da aplicação de modelos matemáticos de dimensionamento, com coeficientes de remoção (K) elevados, buscando retratar condições tropicais.</p>
Taxa de aplicação hidráulica superficial máxima	Tratamento de efluente primário, como tanque séptico: 0,02 a 0,08 m ³ /m ² .dia	<p>- A área calculada é a área da parte superior do leito filtrante, e não a área do fundo ou a meia profundidade.</p> <p>- Calcular com vazão média.</p> <p>- A área superficial requerida é o quociente entre a vazão afluente ao sistema e a taxa de aplicação hidráulica superficial adotada.</p>
Taxa de aplicação orgânica máxima na seção transversal	250 gDBO/m ² .dia	<p>Calcular como o quociente da carga de DBO afluente (baseada na vazão média) e a área da seção transversal (largura x profundidade útil do líquido) na entrada (após a zona de distribuição).</p> <p>Este parâmetro de projeto visa evitar cargas aplicadas excessivas na seção transversal, que poderiam implicar maiores acúmulos de sólidos na zona próxima à entrada e colmatação mais rápida.</p> <p>A maior colmatação deverá ocorrer na saída da zona de entrada (com granulometria maior) e trecho inicial da zona filtrante principal (com granulometria menor, que induzirá um maior acúmulo de sólidos).</p> <p>Ref: IWA Task Group (2017).</p>

Fonte: Adaptado Sezerino e Von Sperling, 2018.

ANEXO VI – TIPOS DE TRATAMENTO A MONTANTE DO WCH

Item	<i>Wetlands</i> horizontais recebendo efluente de tratamento primário	Comentários
Tratamento preliminar	Gradeamento e desarenação	
Tratamento primário ou secundário a montante do <i>wetland</i>	Tanques sépticos (várias configurações)	Poderá haver outras unidades ou sistemas na etapa anterior de tratamento biológico.

Fonte: Adaptado Sezerino e Von Sperling, 2018.

**ANEXO VII – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO ESPERADAS PARA WCH
RECEBENDO EFLUENTE DE TRATAMENTO PRIMÁRIO**

Item	Wetlands horizontais recebendo efluente de tratamento primário	Comentários
Eficiência de remoção assumida na etapa a montante do wetland		
DBO	25 a 35 %	As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas, caso o projeto, a construção e a operação sejam adequadas. Naturalmente, poderão ocorrer valores inferiores ou superiores. Caso desejado, o projetista poderá ficar a favor da segurança, assumindo valores mais próximos ao limite inferior da faixa.
DQO	20 a 30 %	
Eficiências globais de remoção esperadas no sistema como um todo		
DBO	> 85 %	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas, caso o projeto, a construção e a operação sejam adequadas. Naturalmente, poderão ocorrer valores inferiores ou superiores. Caso desejado, o projetista poderá ficar a favor da segurança, assumindo valores mais próximos ao limite inferior da faixa.
DQO	> 80 %	Ref: GESAD/UFSC
SST	> 85 %	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group 2017; experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
N amoniacal	< 40 %	Em condições climáticas bem favoráveis, com o emprego de baixas taxas de aplicação superficial, com o cultivo de macrófitas eficientes na extração de nitrogênio e um manejo da vegetação que conduza a cortes mais frequentes, na fase de crescimento, podem-se alcançar eficiências de remoção mais elevadas. Ref: adaptado de IWA Task Group (2017).
N total	< 50 %	Ver comentário relativo a N amoniacal. Ref: adaptado de IWA Task Group (2017).
Fósforo total	< 20 %	Ref: adaptado de IWA Task Group (2017).
Coliformes termotolerantes	1 a 3 unidades log	Ref: Maiga, von Sperling, Mihelcic (2017).

Fonte: Adaptado Sezerino e Von Sperling, 2018.