

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Pedro Luiz Pereira dos Santos

**ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO
EMPREGADO NO TRATAMENTO DE LODO DE FOSSA SÉPTICA**

Florianópolis

2022

Pedro Luiz Pereira dos Santos

**ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO
EMPREGADO NO TRATAMENTO DE LODO DE FOSSA SÉPTICA**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

dos Santos, Pedro Luiz
ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO DE WETLAND CONSTRUÍDO
EMPREGADO NO TRATAMENTO DE LODO DE FOSSA SÉPTICA / Pedro
Luiz dos Santos ; orientador, Pablo Heleno Sezerino, 2022.
42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Wetlands
Construídos Verticais. 3. Tratamento Descentralizado. 4.
Lodo de Fossa Séptica. 5. Recirculação do Lodo. I. Heleno
Sezerino, Pablo . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.
III. Título.

Pedro Luiz Pereira dos Santos

**ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO DE WETLAND CONSTRUÍDO
EMPREGADO NO TRATAMENTO DE LODO DE FOSSA SÉPTICA**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Sanitarista e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 26 de Julho de 2022.

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.
Avaliadora
Instituição UFSC

Eng. Ágata Bogado Dominguez
Avaliadora
Instituição GESAD/PPGEA-UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Clóvis e Adriana, que nunca pouparam esforços para me proporcionar o melhor que eles puderam oferecer.

AGRADECIMENTOS

À minha família por ter me apoiado, em especial, aos meus pais pela base, formação de caráter, princípios, e por me apoiarem por toda a trajetória na universidade.

Aos meus amigos da faculdade, que deixaram a rotina exaustiva de estudos e provas um pouco mais leve e divertida. À todos os meus amigos que sempre me apoiaram, tanto nos melhores momentos como nos mais difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino, por todo o apoio, explicações, compreensão, recomendações bibliográficas, materiais disponibilizados e por sempre se mostrar disponível para me atender com sua experiência.

À Universidade Federal de Santa Catarina por me proporcionar uma formação de alta qualidade, e aos seus colaboradores, professores/as, TAEs e terceirizados/as.

RESUMO

O tratamento descentralizado pode se tornar uma solução viável para pequenas sociedades que vivem em pontos mais remotos ou longe do raio de atuação de grandes estações de tratamento. Os *wetlands* construídos são uma tecnologia que utiliza raízes de macrófitas e material filtrante, primeiramente utilizados para tratamento de esgoto, depois adaptados para disposição e desaguamento de lodo. Ele se tornou um dos principais sistemas implantados na França para comunidades de até 2000 habitantes para tratamento de esgoto. O trabalho apresenta um projeto de *wetland* construído para pesquisa de iniciativa entre o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina e a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). A pesquisa terá duração de quatro anos e a carga dimensionada para este período irá variar de 40-250 kg.ST/m².ano com o intuito de avaliar o desempenho desta tecnologia em atender este tipo de lodo. O projeto também irá contemplar um sistema de recirculação do lodo, para validar a recirculação como um processo de pós-tratamento efetivo para lodo de fossa séptica. O projeto final foi dimensionado com dois módulos de 60 m² cada e o orçamento estimado será de R\$ 100.409,59 para a execução da obra na ETE, o que resulta em um custo por metro quadrado de R\$ 836,75.

Palavras-chave: Tratamento Descentralizado. Wetlands construídos verticais. Lodo de Fossa Séptica. Recirculação do lodo.

ABSTRACT

The decentralized treatment can become a viable solution for small societies that lives in the most remote places or far away from the major treatment plants range of action. The constructed wetlands are a technology wich uses macrophytes roots and a filter layer, initially dimensioned for sewage treatment, then adapted for sludge disposal, and dewatering. It has become one of the main deployed systems for sewage treatment in France for communities with up to 2000 inhabitants. This proposition presentes a constructed wetland project for a research initiative between the Department of Sanitary and Environmental Engineering of the Federal University of Santa Catarina and Santa Catarina's Water and Sanitation Company (CASAN). The research will last for 4 years and the dimensioned loadfor this period vary from 40 to 250 kg.ST/m².year with the intetion of verifying the performance of this technology to attend this kind of sludge. This project will also contemplate a sludge recirculation system, to validate the recirculation as a effective way of after treatment for septic tank sludge. The final project was dimensioned containing two 60 m² modules each and the estimanted execution budget will be R\$100.409,59, wich results in a square meter cost of R\$ 836,75.

Keywords: Decentralized Treatment. Vertical Constructed Wetlands. Septic Tank Sludge. Sludge Recirculation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação gráfica de uma fossa séptica	17
Figura 2 - Caminhão Limpa-Fossa.....	19
Figura 3 - Representação de um <i>Wetland</i> Vertical.....	20
Figura 4 - Imagem via satélite ETE Canasvieiras.....	23
Figura 5 - Imagem via satélite da área disponibilizada para o piloto.....	23
Figura 6 - Fluxograma do planejamento do desenvolvimento do projeto.....	24
Figura 7 - Imagem in loco do local disponibilizado para a execução do piloto.....	25
Figura 8 - Fluxograma operacional do <i>wetland</i>	29
Figura 9 - Cabo de aço utilizado para separação dos módulos.....	29
Figura 10 - Cabo de aço utilizado para separação dos módulos.....	20
Figura 11 - Representação dos módulos do <i>Wetland</i>	31
Figura 12 - Representação dos sistemas de alimentação e recirculação do <i>Wetland</i>	32
Figura 13 - Vista de corte do <i>Wetland</i>	33
Figura 14 - Representação da tubulação de drenagem.....	34
Figura 15 - Sistema de drenagem dos módulos do <i>Wetland</i>	34
Figura 16 - Modelo representado em imagem de satélite.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do lodo de fossa séptica	18
Tabela 2 - Tabela de resultados do dimensionamento do volume de aplicação.....	28
Tabela 3 - Estimativa do Orçamento.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ETE Estação de Tratamento de Esgoto

Funasa Fundação Nacional de Saúde

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

WVC Wetland Vertical Construído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	LODO DE FOSSA SÉPTICA TRANSPORTADO POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA	17
2.2	WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL	20
2.3	RECIRCULAÇÃO DO EFLUENTE PRODUZIDO NO WETLAND COMO UMA OPÇÃO DE PÓS-TRATAMENTO.....	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.2	FLUXOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.3	FONTES E BASES DE DADOS	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	LOCAL DISPONIBILIZADO PARA A OBRA.....	25
4.2	PARTICULARIDADES DO LODO RECEBIDO NA ETE DE CANASVIEIRAS	26
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	27
4.3.1	DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE APLICAÇÃO.....	27
4.3.2	ROTINA OPERACIONAL TEÓRICA.....	29
4.4	COMPONENTES DO SISTEMA.....	28
4.5	PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO	35
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	APÊNDICE A	40

ANEXO A - Dados disponibilizados pela CASAN.....	42
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é um direito universal previsto por lei. De acordo com a Lei N. 11.445 (Brasil, 2007) o governo deve buscar formas de universalizar a disposição de saneamento básico para todos os cidadãos brasileiros. Porém, sabemos que essa não é a realidade para grande parte da população, o tratamento e coleta de esgoto ainda é uma atividade precária no Brasil e, em alguns estados, este serviço é quase inexistente (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015). Segundo o SNIS (2021), somente cerca de 55,0% da população é abrangida por uma rede pública de esgotamento sanitário e este cenário fica ainda pior se olharmos para alguns estados em isolado, onde nos índices chegam a apenas 13,1% na região Norte e 30,3% para a região Nordeste.

Geralmente, municípios urbanos possuem uma rede de esgotamento sanitário centralizada, dimensionada para abranger parte da zona populacional urbana naquele local, porém é uma tecnologia com alto custo de implementação, operação e manutenção, muitas vezes tornando complexa esta alternativa para municípios rurais marginais. Uma opção é o investimento em tecnologias de esgotamento sanitário descentralizadas, como tanques sépticos, que atuam bem em esgotos domésticos, separando a espuma da parte sólida do esgoto, realiza digestão anaeróbia e estabilização parcial do lodo. No entanto, não é a destinação final para este lodo, visto que o tanque terá que ser esvaziado e limpo, em média, a cada 1 ano por caminhões limpa-fossa, necessitando de uma disposição para este lodo resultante. Assim, é apresentado como alternativa de pesquisa em questão neste trabalho: os *Wetlands* construídos como meio de tratamento de lodo de caminhão de limpa-fossa.

A tecnologia dos *Wetlands* construídos é relativamente nova se comparada com outras alternativas de tratamento, os primeiros sistemas são datados da década de 1950 na Alemanha e na década de 1960 na Holanda. Nos Estados Unidos, as pesquisas se iniciaram por volta de 1970 e 1980, onde as aplicações desta tecnologia começaram de forma gradual e lenta. O termo “*Wetlands* construídos” nos dias de hoje se referem a sistemas dimensionados para aproveitar processos que acontecem no meio ambiente de forma natural, porém sobre condições controladas (Stefanakis, 2014). De maneira simplificada, o sistema dimensionado para lodo é constituído por um leito de desaguamento que possui um material filtrante de diferentes granulometrias onde são plantadas macrófitas com o objetivo de, dependendo do tipo do *wetland*, promover processos de digestão aeróbica e com potencial para nitrificação.

O projeto de pesquisa tem como objetivo desenvolvimento de um projeto básico de um sistema de *wetlands* construídos de fluxo vertical para tratamento de lodo oriundo de fossa séptica. O *wetland* também contará com um sistema de recirculação do lodo para validar este método como uma maneira de realizar o pós-tratamento do lodo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um projeto executivo de *wetlands* construídos de escoamento vertical com recirculação para tratamento de lodo de fossa séptica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar um sistema de *wetlands* construídos de dois módulos para tratamento de lodo de fossa séptica transportado por caminhão limpa-fossa.
- Fazer um levantamento orçamentário da execução do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LODO DE FOSSA SÉPTICA TRANSPORTADO POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA

Nas fossas sépticas, parte do lodo decanta e sedimenta no fundo, outra parte flota e forma a espuma ou lodo flotante. Na parte intermediária, situa-se o esgoto, que pode ocupar proporções distintas do volume do reator em função de vários fatores de forma e sobretudo das condições operacionais, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Representação gráfica de uma fossa séptica seguida de filtro anaeróbio e sumidouro



Fonte: Funasa (2014)

O lodo digerido é o produto do primeiro tanque da fossa séptica e é caracterizado por uma alta concentração de sólidos totais (ST) e matéria orgânica. A composição química do lodo é determinada pela quantidade de ST, sólidos voláteis (SV), gorduras e óleos, proteínas e nutrientes (Uggetti, 2011). Na Tabela 1, é possível ver a caracterização quantitativa do acúmulo de fundo de lodo de fossa séptica descrita por Magri et al. (2014).

Tabela 1: Composição química do lodo de fossa séptica

PAÍSES	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (MG/L)				
	ST	STV	DQO	N-NH4+	P total
EUA	1.132 - 130.475	353 - 71.402	1.500 - 703.000	3 - 116	20 - 760
França	36.570 - 46.400	25.810 - 31.570	2.502 - 3.873	-	-
Gana	11.900	-	7.800	-	-
Filipinas	72.000	-	37.000		
Argentina	6.000 - 35.000	-	4.200	150	-
Tailândia	2.000 - 67.000	900 - 52.500	1.200 - 76.000	120 - 1.200	-
Brasil	40.829	24.809	47.732	2.427	1.252

Fonte: Adaptado de Magri, Philippi, Suntti, Fogolari e Zaguni (2014).

Visto que estas análises foram realizadas com amostras de fundo do lodo de fossa séptica, é possível entender o motivo das concentrações dos parâmetros estarem tão altas. Outro ponto que pode ser percebido, é a variação destes parâmetros para as diferentes localidades das análises. Este fato pode ser explicado por diferentes abordagens, primeiro, a formação deste esgoto depende muito das particularidades de cada local, cultura, alimentação, quantidades, entre outras variáveis. Outro fator importante, que parcialmente ditará a concentração dos parâmetros, é o período de permanência do lodo na fossa séptica, como explica Magri et al. (2014).

Os caminhões limpa-fossa (Figura 2) geralmente retiram todo o material que está na fossa, fazendo com que o conteúdo do caminhão tenha enorme variação qualitativa em comparação a esgoto ou lodo de ETE, é uma mistura de esgoto e lodo que por vezes possui características mais próximas de esgoto e outras vezes mais próximas de lodo de ETE, mas não tão próximas a ponto de se caracterizarem como tal.

Esta caracterização de lodo de fossa séptica, focada nas características brasileiras, pode ser encontrada com mais detalhes em manuais como “Operação e Manutenção de Tanques Sépticos – Lodo” (1ª Edição – 2014) disponibilizada pela Fundação Nacional de Saúde e em livros como “LODO DE FOSSA SÉPTICA” (1ª Edição – 2009) disponibilizado pelo PROSAB (Editora ABES), ambos referenciados neste presente trabalho.

Figura 2: Caminhão Limpa-fossa



Fonte: Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina¹ (2020)

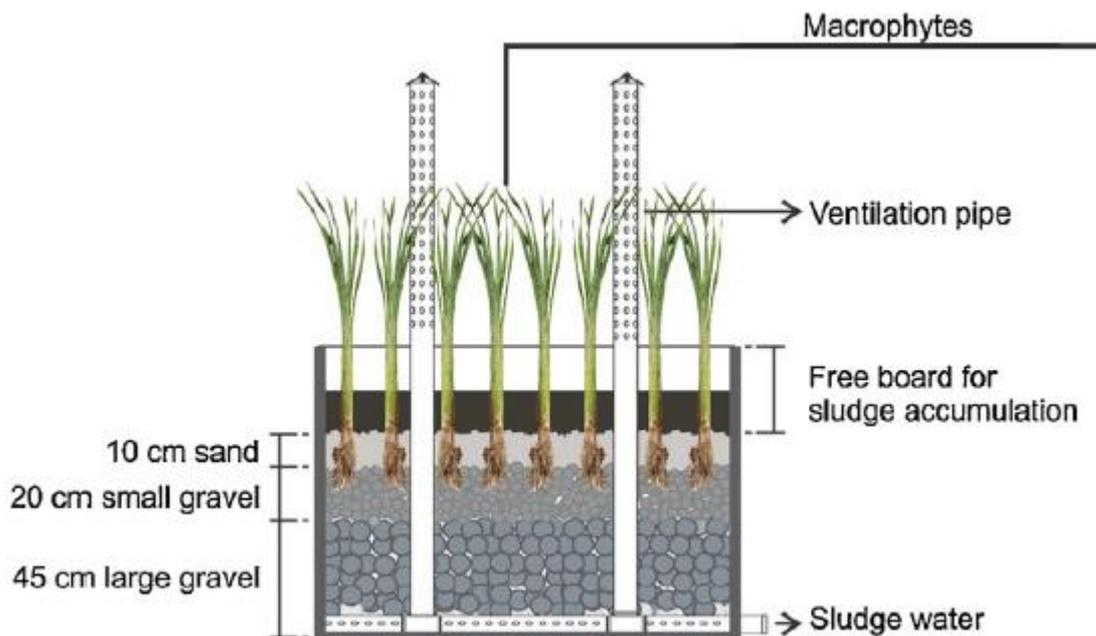
Segundo o estudo do Prosab (2009) sobre a concepção do conteúdo de caminhões limpa-fossa, é evidente que estes resíduos são muito mais concentrados se comparados com esgotos sanitários, mas não chegam a ter características semelhantes às de lodo de ETE. Estudos levantaram que o lodo possui uma grande concentração de matéria orgânica, das formas de nitrogênio e as concentrações de sólidos são características deste tipo de efluente.

¹ Disponível em: <<https://www.ima.sc.gov.br/index.php/noticias/1444-caminhoes-limpa-fossa-empresas-de-geoposicionamento-precisam-de-homologacao-do-ima>> Acessado em: 06/06/2022

2.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL

Nos *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCV), o lodo é distribuído uniformemente por toda a área superficial do leito, de forma intermitente. O afluente penetra o material filtrante, que é usualmente formado por areia e brita, até ser coletado pelo sistema de drenagem no fundo do WC (Figura 3). O período de secagem pode durar de 1 a 2 dias ou semanas, dependendo da quantidade de material que é despejado, assim como as condições do clima do local, por exemplo, humidade do ar, temperatura, chuvas, entre outras. Uma camada de lodo se concentra na parte superficial do WCV ao longo do tempo, até que se chegue na sua capacidade máxima, geralmente sendo alcançada após 10-15 anos de operação (Magri et al., 2016), podendo mudar dependendo da forma de dimensionamento utilizada, e então o carregamento do lodo é interrompido. Este método de carregamento é importante, pois aumenta a transferência de oxigênio pelo leito, trazendo condições aeróbicas para a oxidação do nitrogênio amoniacal, realizando a nitrificação do efluente.

Figura 3: Representação de um *Wetland* Vertical para Lodo de Tanque Séptico



Fonte: Magri, Francisco, Sezerino e Philippi (2016).

A camada mais superficial do *wetland* é onde ficam as macrófitas, responsáveis por várias funções no WCV. As plantas utilizadas são geralmente nativas para melhor funcionamento do sistema, pois são plantas que se adaptam muito bem às condições do ambiente. As macrófitas mais usuais são: *Phragmites australis* e *Thypha sp.* Local onde há também uma camada do meio suporte, com a função de prevenir a erosão durante a alimentação intermitente. A camada seguinte é o material filtrante, que é a camada principal da unidade, formada por areia e com o objetivo principal de filtrar o afluente do carregamento. O movimento das macrófitas causado pelo vento atua ajudando o material filtrante a não colmatar e penetrando ar entre as frestas, facilitando a digestão aeróbica. Há uma camada de transição entre o material filtrante e a camada inferior de drenagem, ela proporciona uma transição entre materiais, impedindo que os grãos da camada superior penetrem na camada inferior. A camada inferior geralmente tem uma inclinação de 0-1% e é onde está situado o sistema de drenagem do líquido, que leva o efluente até um local para armazenamento, segundo Von Sperling e Sezerino (2018).

2.3 RECIRCULAÇÃO DO EFLUENTE PRODUZIDO NO WETLAND CONSTRUÍDO COMO UMA OPÇÃO DE PÓS-TRATAMENTO

A ação da gravidade é uma característica primordial de *wetlands* construídos de fluxo vertical, é responsável por seu funcionamento, porém também traz malefícios para sua eficiência. A gravidade faz com que o lodo seja drenado verticalmente através da faixa porosa do *wetland*, fazendo com que haja pouco tempo de contato entre o afluente e o material filtrante e as raízes das macrófitas. Este fato dificulta os processos de desnitrificação e remoção de fósforo (P) do material percolado (Stefanakis et al., 2014).

Visto isto, este trabalho também aplica a metodologia de recirculação do líquido drenado durante o processo de desaguamento do lodo de tanque séptico aplicado no *wetland* para aumentar a eficiência do tratamento. No sistema de recirculação, parte do efluente que sai do *wetland* é despejado novamente na superfície do sistema de tratamento, com o intuito de haver mais tempo de contato do líquido drenado com o material filtrante e as raízes das plantas.

Isto faz com que haja condições mais propícias para que ocorra processos de desnitrificação (Stefanakis et al., 2014).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é parte de um projeto executivo do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) da UFSC em conjunto da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), com o objetivo de desenvolver um projeto piloto de tratamento de lodo de fossa séptica transportado por caminhões em *wetlands* verticais aplicando a recirculação parcial do lixiviado com pós-tratamento. O piloto será executado na Estação de Tratamento de Canasvieiras, localizada na cidade de Florianópolis, e o planejamento é que ele seja utilizado durante 4 anos para pesquisa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A obra será realizada na Estação de Tratamento de Esgoto de Canasvieiras, operada pela CASAN, localizada na Av. Luiz Boiteux Piazza – Cachoeira do Bom Jesus, Florianópolis – SC (Figuras 4 e 5). Esta estação recebe o esgoto de grande parte do norte da ilha, como Praia Brava, Cachoeira do Bom Jesus, Canasvieiras, entre outras.

A quantidade de caminhões limpa-fossa que a ETE atende é de aproximadamente 60 por dia, totalizando um montante de 1800 a 2000 caminhões por mês, é importante frisar que o projeto de pesquisa não visa atender toda a demanda de caminhões da ETE, apenas tem como objetivo realizar a pesquisa sobre o tratamento deste tipo de efluente. O lodo chega na ETE por estes caminhões que despejam o material em um local específico, onde o lodo passa primeiro por um gradeamento, para retirada dos sólidos mais grosseiros, depois por uma caixa de areia, seguido por uma caixa separadora, onde são retiradas parte das gorduras e óleos, para finalmente chegar em uma elevatória que bombeia este lodo para a estação de tratamento.

Figura 4: Imagem via satélite da ETE Canasvieiras



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 5: Imagem via satélite da área disponibilizada para o piloto



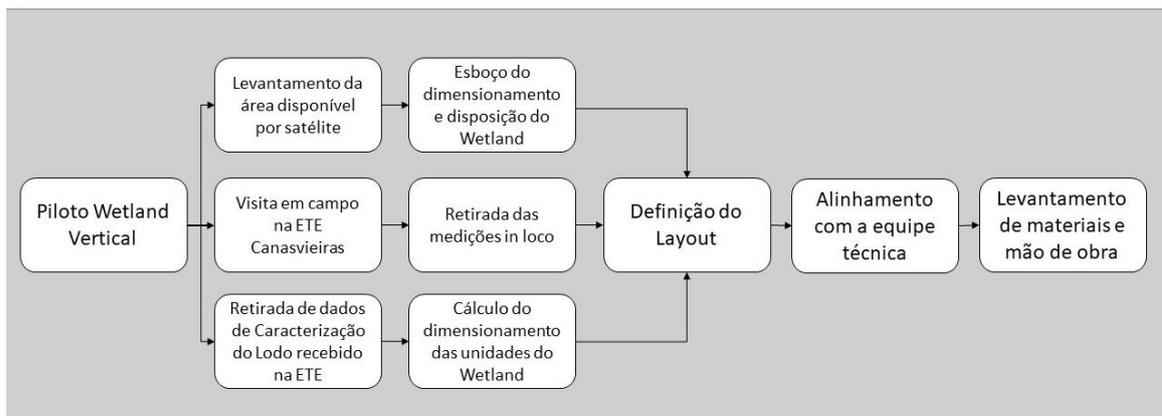
Fonte: Google Earth (2022)

3.2 FLUXOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento do projeto de *wetland* de fluxo vertical se deu conforme o Figura 6.

Todos os critérios de dimensionamento, equações e relações assumidas estão presentes na parte do Desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. O projeto executivo e planejamento orçamentário estão na parte de Resultados e discussão.

Figura 6: Fluxograma do planejamento de desenvolvimento do piloto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.3 FONTES E BASES DE DADOS

O histórico dos dados de entrada do lodo na ETE de Canasvieiras foi disponibilizado pela CASAN. Os dados disponíveis são análise físico-químicas do efluente que chega na planta. Dentre os dados, os mais importantes são a concentração de Sólidos Totais (ST), de Sólidos Suspensos Totais (SST), de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de Demanda Química de Oxigênio (DQO), de Nitrogênio Amoniacal, de Coliformes Totais (CT) e pH.

Os fatores restantes usados para o dimensionamento da unidade foram obtidos através de pesquisa bibliográfica na literatura presente hoje, tais como as taxas de afluente, tempo de descanso das unidades de tratamento, cargas, entre outras definições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LOCAL DISPONIBILIZADO PARA A OBRA

O espaço disponibilizado será uma área livre onde havia apenas um poste de luz que será retirado para a realização do projeto. O espaço disponibilizado terá comprimento de 27,5 metros e largura de 8,1 metros, totalizando uma área de 222,75 m². A distância da área de alimentação dos caminhões limpa-fossa é de 22,5 metros da entrada do sistema de *wetlands* e 40,0 metros da saída do sistema (Figura 7).

Figura 7: Imagem in loco do local disponibilizado para execução do piloto

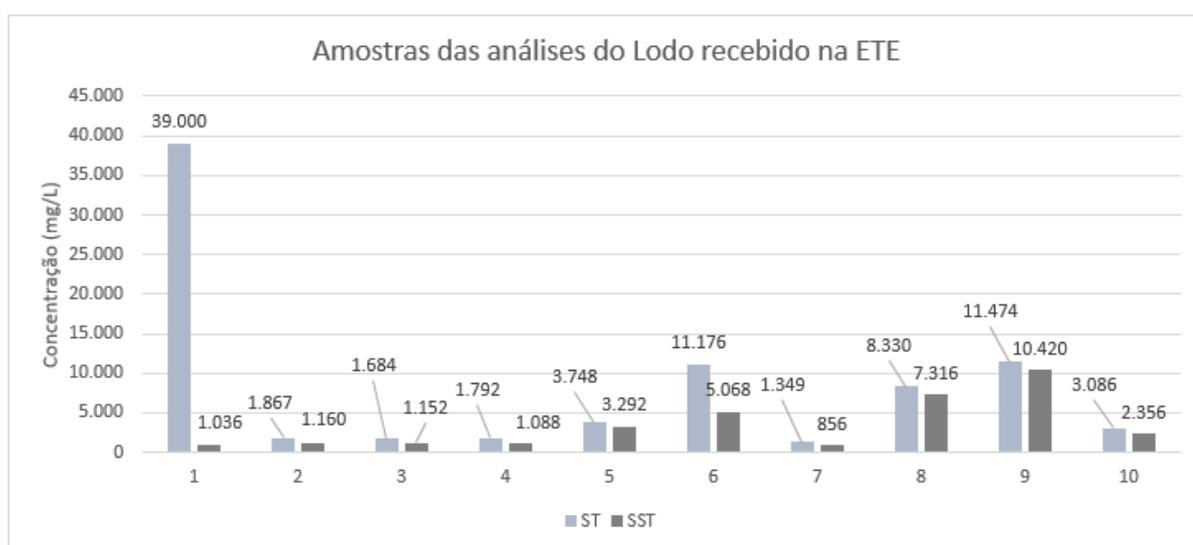


Fonte: Capturada pelo autor (2022)

4.2 PARTICULARIDADES DO LODO RECEBIDO NA ETE DE CANASVIEIRAS

Com os dados recebidos da CASAN, foi elaborado um gráfico (Gráfico 1) com algumas amostras exemplo para os parâmetros de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos Totais (SST).

Gráfico 1: Concentração de ST e SST em amostras de lodo recebido na ETE Canasvieiras



Fonte: CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (2022)

Todas as amostragens foram realizadas no mesmo local, porém não é possível identificar um padrão na análise das amostras quando comparadas umas às outras, visto que é uma característica de lodo de tanque séptico transportado por caminhão limpa-fossa. Este é trazido de várias localidades diferentes, provenientes de sistemas de tanques sépticos que diferem em sua disposição física, química e operacional.

Para o dimensionamento das unidades, precisamos definir um valor padrão para a concentração de ST para a carga. A partir dos dados recebidos pela companhia, foi feita a média das amostras, retirando os valores discrepantes, e obtivemos o resultado de 6.217,78 mg/L.

4.3 OPERACIONAL TEÓRICO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

4.3.1 DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE APLICAÇÃO

Segundo os dados que foram recebidos da CASAN, é tido uma concentração de ST provenientes do lodo que chega da ETE 6.217,78 mg/L. Para calcular o volume de aplicação, foi preciso definir a taxa de carregamento de sólidos, foram feitos 3 cenários de maturidade do projeto: inicial, intermediário e final. Na fase inicial, a carga foi definida como 40 kg/m².ano, na intermediária como 100 kg/m².ano e, finalmente, na fase final como 250 kg/m².ano.

A seguinte fórmula foi utilizada para o cálculo do volume.

$$Carga \left(kg \cdot \frac{ST}{m^2 * ano} \right) = \left\{ [] \text{ de ST } \left(\frac{kg}{m^3} \right) * Volume \text{ de aplicação } (m^3) \right\} \div \{ \text{Área } (m^2) * 1 \text{ ano} \}$$

Com ela, foi obtido os seguintes resultados para os 3 cenários, segundo a Tabela 2.

Tabela 2: Tabela de resultados do dimensionamento do volume de aplicação

	Inicial	Intermediário	Final
Carga (kg.ST/m ² .ano)	40	100	250
Área (m ²)	59,92	59,92	59,92
Volume (m ³)	385,48	963,69	2409,22
Volume por Semana (m ³ /semana)	7,41	18,53	46,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

É perceptível que o terceiro cenário (Final) possui uma grande carga de efluentes, conseqüentemente, um grande volume aplicado deverá ser despejado no *wetland*. Possivelmente, será necessária uma avaliação pelos pesquisadores da necessidade real de pilotar experimentos deste nível, visto que o volume de aplicação semanal ficará muito elevado,

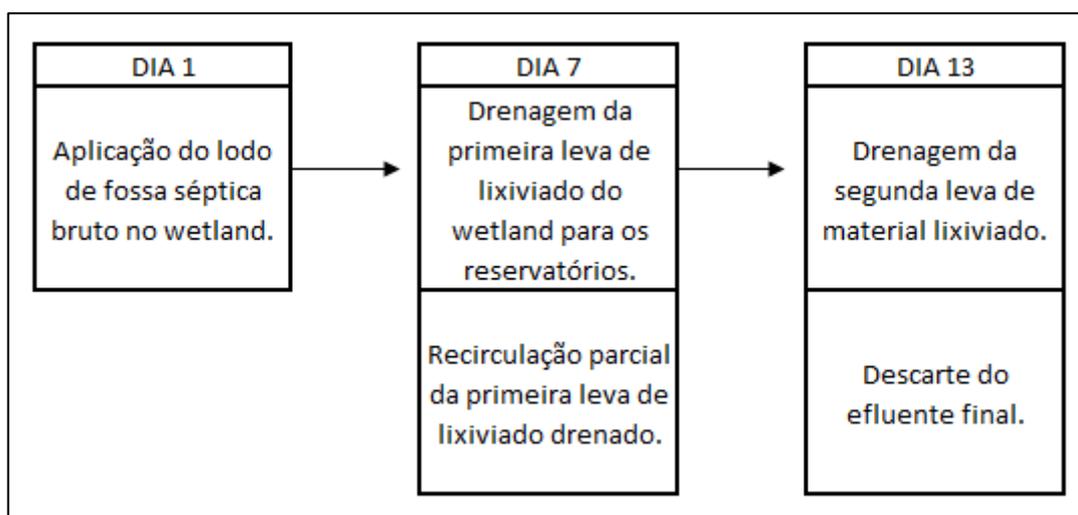
chegando a 46,33 m³ de lodo em cada módulo do *wetland* por semana, o que trará dificuldade operacional para o sistema. Uma alternativa a ser estudada, pode ser a discussão com os técnicos da ETE de Canasvieiras em trazer apenas o lodo digerido das fossas sépticas, sem a grande quantidade de água que contém estas amostras, diminuindo consideravelmente o volume de aplicação quinzenal.

4.3.2 ROTINA OPERACIONAL TEÓRICA

Para Tan, Tang, Saptoro e Khor (2015), a capacidade de tratamento de um sistema de *wetlands* construídos é resultado de reações biológicas, químicas e físicas, o que diz respeito direto para o próprio sistema e sua operação. Então, a configuração do sistema, associada com o regime operacional requer uma customização para se adequar as características do ambiente e do lodo de fossa séptica que será tratada.

O sistema foi projetado com duas unidades de *wetlands* verticais, ambas com 60 m² de área superficial. Visto que a rotina possui um ciclo de 15 dias, é relevante apontar que os volumes de aplicação dividido em cenários do tópico anterior teriam que ser aplicados em dobro. Eles receberão a mesma quantidade de lodo e trabalharão em períodos alternados. A atividade operacional ocorrerá segundo o fluxograma da Figura 8.

Figura 8: Fluxograma operacional do *wetland*



Fonte: Adaptação de Magri, Francisco, Sezerino e Philippi (2016).

4.4 COMPONENTES DO SISTEMA

Dois módulos de *wetlands* verticais foram projetados com área superficial de 60 m², ambos com sistema de recirculação parcial do lodo. A divisão destes módulos é feita através de uma manta de PEAD que irá ser suportada por um cabo de aço que dividirá os módulos no meio, como mostra as Figura 9 e 10, que estão fixadas em um talude, por se tratar de uma outra abordagem construtiva. A manta do projeto em estudo neste trabalho será fixada por engastes metálicos por volta de toda a parede externa do *wetland* e o cabo de aço será preso por um anel de aço parafusado à uma viga estrutural.

Figura 9: Cabo de aço utilizado para separação dos módulos



Fonte: Capturada pelo autor na ETE do Parque Madri (2022).

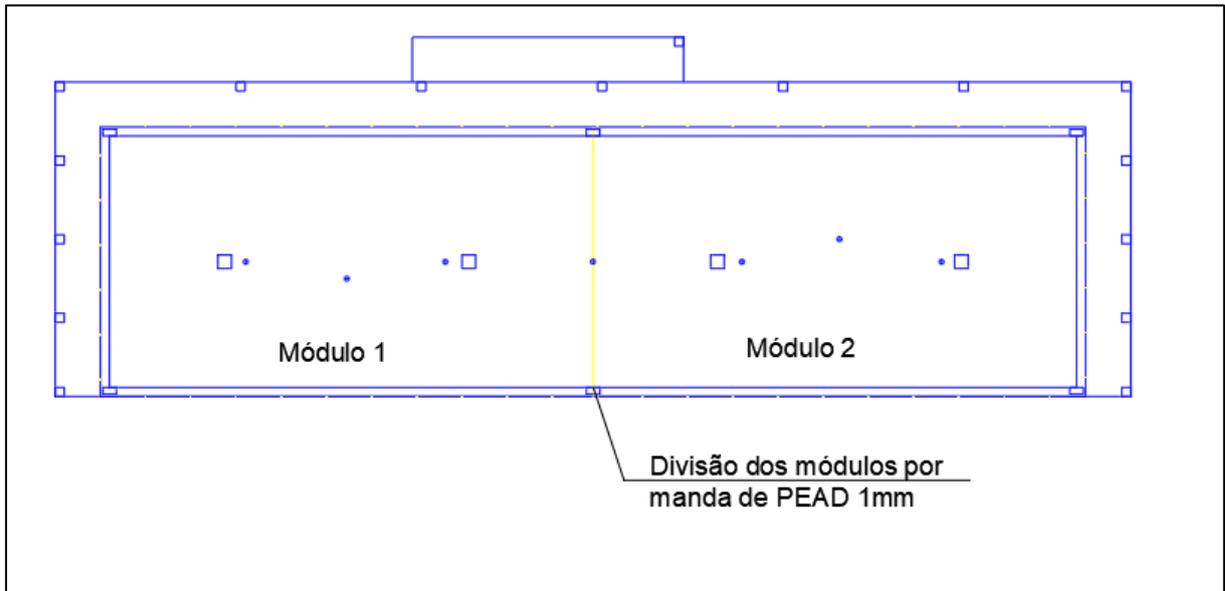
Figura 10: Cabo de aço utilizado para separação dos módulos



Fonte: Capturada pelo autor na ETE do Parque Madri (2022).

O esquema dos módulos está representado na Figura 11.

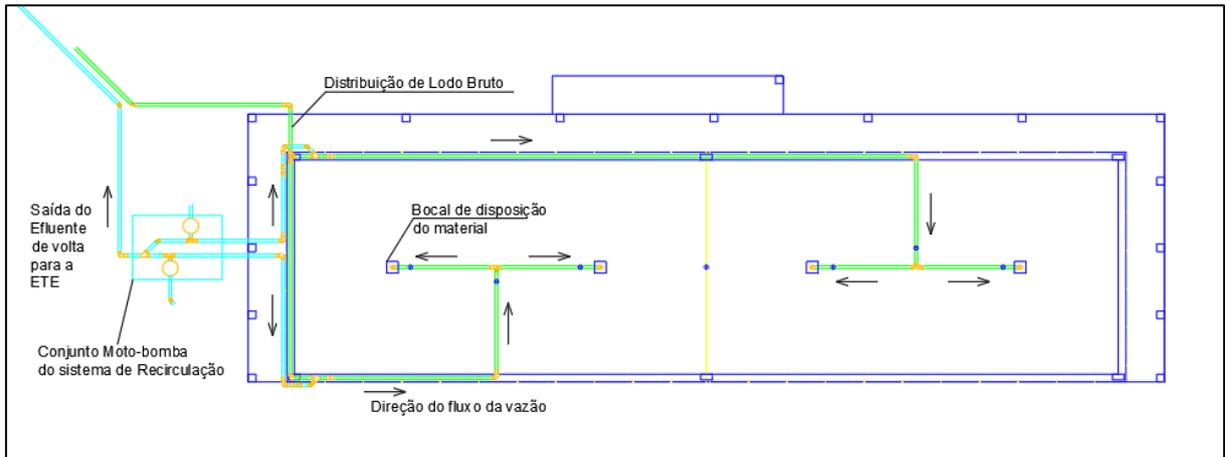
Figura 11: Representação dos módulos do *Wetland*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O lodo que chega na ETE é despejado em um local onde passa por uma série de tratamentos preliminares, como caixa separadora de gordura, gradeamento e caixa de areia, para que o lodo não danifique os processos de tratamento com materiais que não foram dimensionados para serem tratados dentro do sistema. Após este processo, o efluente chega em um poço utilizado para transportar o lodo para o tratamento, então, neste local será incorporado ao sistema em estudo neste trabalho para retirar parte deste lodo para utilizá-lo na pesquisa do *wetland*. O lodo será bombeado do poço de distribuição por uma tubulação de 150 mm, passando por duas reduções até chegar em uma tubulação de PVC para esgoto de 75mm que alimenta as unidades do *wetland*. O sistema de alimentação do *wetland* é representado em verde pela Figura 12.

Figura 12: Representação do sistema de alimentação e recirculação do *Wetland*

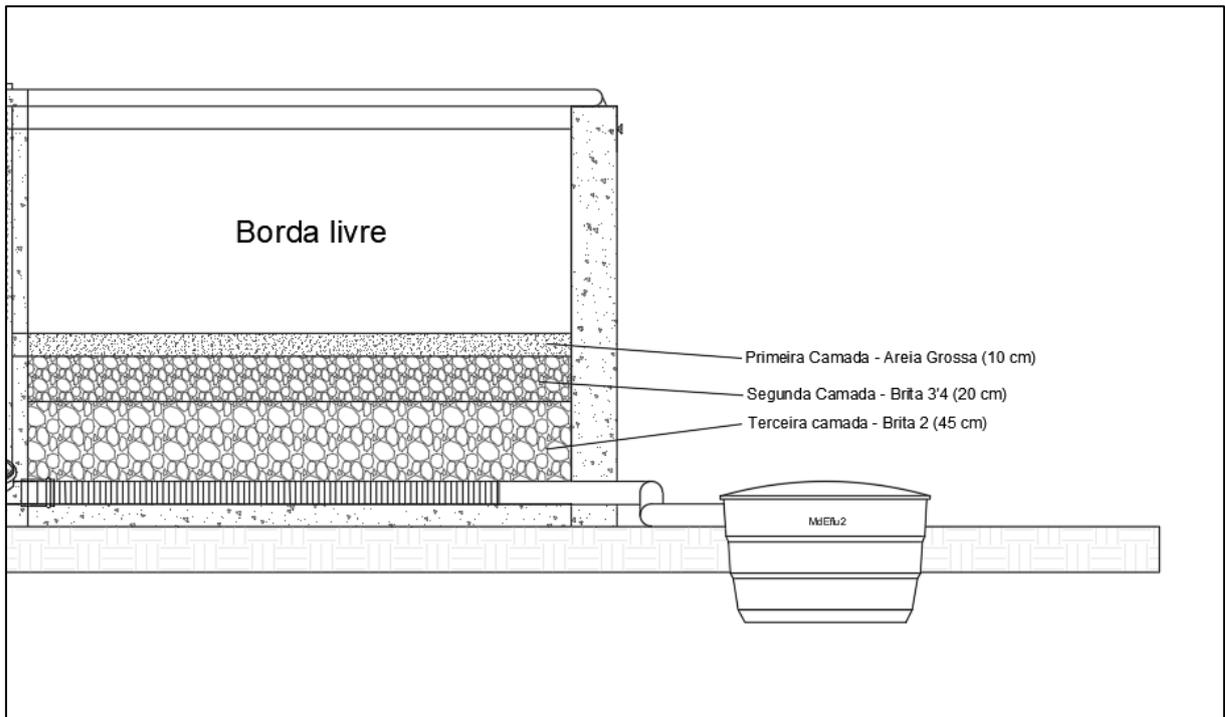


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda na Figura 12, é possível observar a representação do sistema de recirculação do líquido em ciano. Parte do líquido será recirculado para estudo para validação do método como pós tratamento.

Ambos os leitos terão a mesma camada de material filtrante, será utilizado a mesma disposição do trabalho realizado por Magri et al. (2016). A primeira camada será composta por 10 cm de areia grossa (1,2 a 4,8 mm), a segunda terá 20 cm de brita 3'4 e a terceira fará o suporte do sistema de drenagem e terá 45 cm de brita 2. Totalizando 75 cm de material filtrante.

Visto que o *wetland* será objeto de pesquisa durante 4 anos para a ETE de Canasvieiras, a carga do lodo foi planejada para crescer durante o período de atividade. Primeiro cenário com carga de 40 kg.ST/m².ano, segundo cenário com carga de 100 kg.ST/m².ano e terceiro cenário com carga de 250 kg.ST/m².ano. Com isto, foi dimensionada uma borda livre de 90 cm para que o crescimento da camada superficial do meio filtrante, conforme for sendo desaguado o lodo dos caminhões limpa-fossa. O sistema terá capacidade de trabalhar durante os 4 anos de pesquisa sem ter necessidade de ser escavado. A seguir, a Figura 13 representa um corte transversal do *wetland*.

Figura 13: Vista de corte do *wetland*

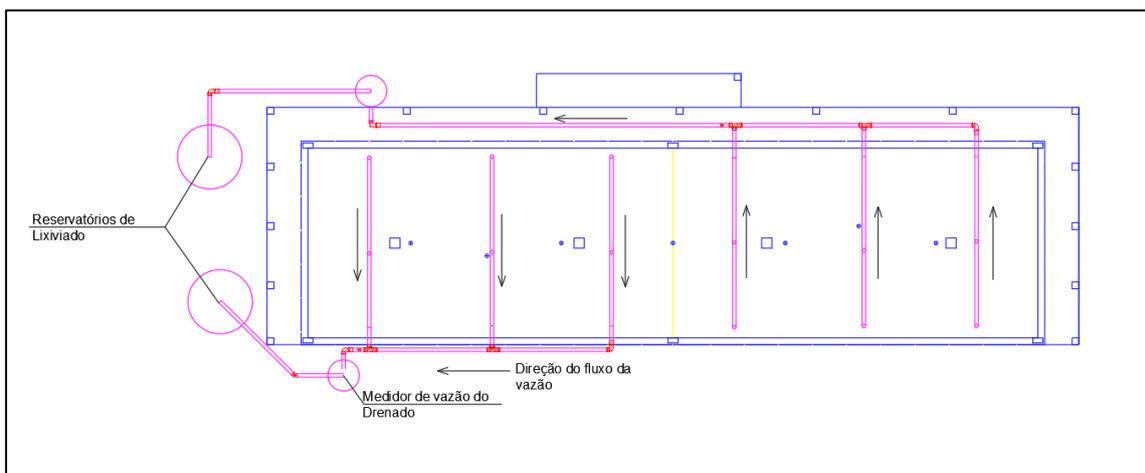
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Cada módulo é equipado com um sistema de drenagem do material lixiviado individual na parte inferior das unidades. A tubulação de captação tem DN100 de material PVC Drenoflex (Figura 14), seguida por uma tubulação de transporte de PVC DN100. O sistema de drenagem terá colunas de ventilação conforme indicado na Figura 15. O sistema contará com dois registros esfera para controle do tempo de detenção hidráulica do sistema.

Figura 14: Representação da tubulação de drenagem



Fonte: Grupo Tigre (Acesso em Jul. 2022)

Figura 15: Sistema de drenagem dos módulos do *wetland*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Figura 16, temos uma representação de como o projeto ficaria em escala real na imagem de satélite.

Figura 16: Modelo representado em imagem de satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A representação final do projeto está disponível no APÊNDICE A ao final deste trabalho de conclusão de curso.

4.5 PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO

Um planejamento orçamentário prévio foi desenvolvido para listar os materiais necessários para a construção e estimar os gastos com a obra. A tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) foi utilizada para fazer as estimativas. O resultado do planejamento está descrito na Tabela 3:

Tabela 3: Estimativa do Orçamento

Preparo do Local da Obra				
Item	Unidade	Preço (un.)	Quantidade	Custo
Escavação manual de áreas, valas, poços, e cavas em solo não rochoso, com profundidade até 1,30m	m ³	R\$ 71,40	40	R\$ 2.856,00
Wetland				
Item	Unidade	Preço (un.)	Quantidade	Custo
Concreto estrutural, FCK=15,0 Mpa	m ³	R\$ 585,83	15	R\$ 8.787,45
Armação Transversal e longitudinal da Estrutura	m	R\$ 14,43	650	R\$ 9.379,50
Alvenaria de bloco em concreto, E=0,15 m	m ²	R\$ 79,93	170	R\$ 13.588,10
Alvenaria de bloco em concreto, E=0,10 m	m ²	R\$ 50,03	140	R\$ 7.004,20
Chapisco comum, cimento e areia, traço 1:3		R\$ 6,68	446	R\$ 2.979,28
Emboço, cimento, cal e areia, traço 1:2:6	m ³	R\$ 38,10	446	R\$ 16.992,60
Manta PEAD, E=1,0mm	m ²	R\$ 39,70	247	R\$ 9.805,90
Areia Grossa	m ³	R\$ 126,63	12	R\$ 1.519,56
Brita 3/4	m ³	R\$ 139,75	30	R\$ 4.192,50
Brita 2	m ³	R\$ 116,66	54	R\$ 6.299,64
Tubulação PVC DN100	m	R\$ 47,58	54	R\$ 2.569,32
Tubulação PVC DN75	m	R\$ 42,26	113	R\$ 4.775,38
Tubulação PVC DN150	m	R\$ 99,58	2	R\$ 199,16
Tubulação PVC DN 100 Drenoflex	m	R\$ 80,34	30	R\$ 2.410,20
Conexões e Acessórios				
Item	Unidade	Preço (un.)	Quantidade	Custo
Tanque PRFV, Capacidade 2000L	Unidade	R\$ 926,35	2	R\$ 1.852,70
Tanque PRFV, Capacidade 200L	Unidade	R\$ 566,74	2	R\$ 1.133,48
Joelho 90° PVC Soldável DN100	Unidade	R\$ 25,04	11	R\$ 275,44
Joelho 90° PVC Soldável DN75	Unidade	R\$ 18,31	5	R\$ 91,55
Joelho 45° PVC Soldável DN100	Unidade	R\$ 23,63	1	R\$ 23,63
Joelho 45° PVC Soldável DN75	Unidade	R\$ 19,25	6	R\$ 115,50
Tê PVC Soldável DN100	Unidade	R\$ 64,77	10	R\$ 647,70
Tê PVC Soldável DN75	Unidade	R\$ 37,55	5	R\$ 187,75
junção 45° PVC Soldável DN75	Unidade	R\$ 35,07	3	R\$ 105,21
Registro Esfera PVC Soldável DN75	Unidade	R\$ 113,52	6	R\$ 681,12
Registro Esfera PVC Soldável DN100	Unidade	R\$ 250,00	2	R\$ 500,00
Tê 150 mm Ferro Fundido	Unidade	R\$ 1.016,22	1	R\$ 1.016,22
Redução PVC Esgoto150/100 mm	Unidade	R\$ 73,37	1	R\$ 73,37
Redução PVC Esgoto100/75 mm	Unidade	R\$ 28,13	1	R\$ 28,13
Abraçadeiras metálicas	Unidade	R\$ 6,38	50	R\$ 319,00
			Custo total	R\$ 100.409,59

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A estimativa de investimento na execução do projeto totaliza R\$ 100.409,59, o que faz com que o custo de instalação por metro quadrado seja de R\$ 836,75/m². O custo com gastos periféricos ficará dentro de 20% do valor da estimativa. Dentro dos periféricos temos as movimentações de terra que serão necessárias para instalação dos reservatórios, conjunto moto-bomba para o sistema de recirculação e medidores de vazão.

5 CONCLUSÃO

A proposta do trabalho de conclusão de curso apresentado foi o desenvolvimento de um projeto de dimensionamento de *wetlands* construídos que serão utilizados para a pesquisa tratamento de lodo de tanque séptico transportado por caminhão-limpa fossa em uma estação de tratamento de esgoto em Canasvieiras, uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina e a CASAN.

O dimensionamento foi baseado em dados de concentração disponibilizados pela CASAN, que mostrou bastante variação dos indicadores químicos devido à diferente origem dos afluentes que chegam na ETE. Uma dificuldade do projeto foi adequar a área disponível com as necessidades do projeto. Foi possível utilizar cerca de 60% da área disponível para o projeto, pois há presença de sistemas de drenagem da ETE, que precisaram ser deixados descobertos.

O planejamento orçamentário definiu um investimento de R\$ 100.409,59 para a execução da obra na ETE, fazendo com que o custo por metro quadrado da obra fique em R\$ 836,75. Após a execução da obra, o período de alimentação e operação do *wetland* pode ser seguido inicialmente como foi sugerido no tópico 4.3.2 deste trabalho, e conforme for a necessidade dos pesquisadores, a rotina operacional pode ser revisada para se adequar melhor as particularidades da pesquisa. O projeto também possui um sistema de recirculação como método de pós-tratamento, que será operado de acordo com as indicações propostas neste trabalho, mas pode ser alterado e dosado da maneira que os pesquisadores acharem mais eficiente.

O tratamento de lodo de tanque séptico transportado por caminhão-limpa fossa é diferente de um outro efluente de esgoto comum, mesmo fazendo com que o lodo passe por um processo de pré-tratamento da ETE seria interessante averiguar a necessidade de uma caixa de gordura antes da alimentação no *wetland* para evitar a colmatação acelerada do sistema. Além disso, uma operação importante a se fazer é acompanhar o crescimento da camada de lodo ressecado na superfície do *wetland* como acompanhamento do cronograma da pesquisa, para que se tenha certeza que todas os cenários possam ser colocados em operação dentro dos 4 anos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRDJANOVIC ,D., STRANDE, L., RONTELTAP, M., **Faecal Sludge Management: systems approach for implementation and operation**. London: Iwa Publishing, 2014. 429 p.

CASTRO, Alfred Luciano Fabio Gomes de; SILVA, Orlando Rodrigues da; SCALIZE, Paulo Sergio. **Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014**. Multi-Science Journal. Goiânia, p. 66-73. abr. 2015.

Magri, M. E., Francisco, J. G. Z., Sezerino, P. H., & Philippi, L. S. (2016). **Constructed wetlands for sludge dewatering with high solids loading rate and effluent recirculation: Characteristics of effluent produced and accumulated sludge**. Ecological Engineering, 95, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.085>

MAGRI, Maria Eliza; PHILIPPI, Luiz Sérgio; SUNTTI, Carla; FOGOLARI, Odinei; ZAGUNI, Joceli Gorrensén (org.). **OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE TANQUES SÉPTICOS – LODO: manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico**. Brasília: Coordenação de Comunicação Social (Coesc/Gabpr/Funasa/Ms)), 2014. 32 p.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **LODO DE FOSSA SÉPTICA**. Edital 1. Rio de Janeiro: ABES RJ, 2009. 390p.

SNIS - **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento**. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgotos 2020. Disponível em : <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

STEFANAKIS, Alexandros et al. **Vertical Flow Constructed Wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment**. 7. ed. Kidlington, Oxford: Elsevier Inc., 2014. 382 p.

SUNTTI, Carla; MAGRI, Maria Elisa; PHILIPPI, Luiz Sérgio. **Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico**. Eng Sanit Ambient, Indisponível, v. 16, n. 1, p. 63-72, jan. 2011.

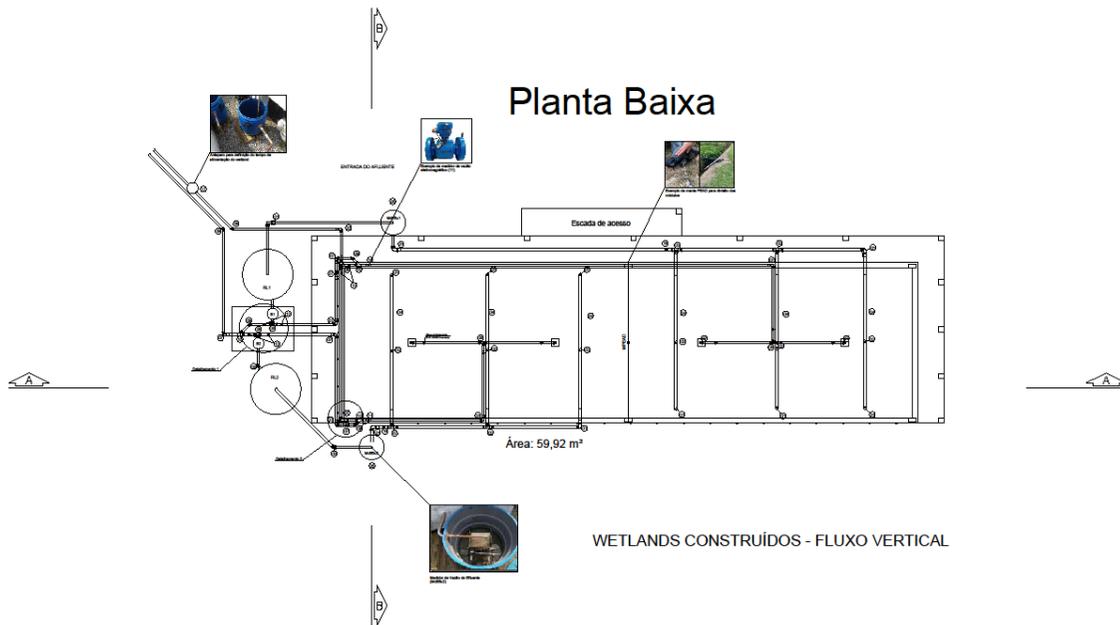
Tan Y.Y., Tang F.E., Saptorio A., Khor E.H., 2015, **Septage treatment using vertical-flow engineered wetland: a critical review**, Chemical Engineering Transactions, 45, 1531-1536
DOI:10.3303/CET1545256

UGGETTI, Enrica. **SEWAGE SLUDGE TREATMENT IN CONSTRUCTED WETLANDS: technical, economic and environmental aspects applied to small communities of the mediterranean region**. 2011. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Politécnica de Catalunha, Catalunha, 2011.

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

Wang, F.Y., Rudolph, V., Zhu, Z.H. (2008). **Sewage sludge technologies**. In: Encyclopedia of Ecology (Ecological Engineering), 3227-3242. Jorgensen and Fath Eds. Elsevier Science Ltd Publishing, USA, 2008. ISSN/ISBN: 9780444520333

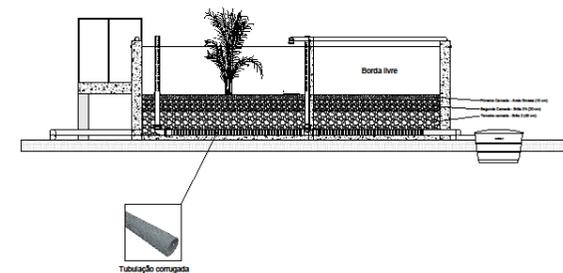
APÊNDICE A



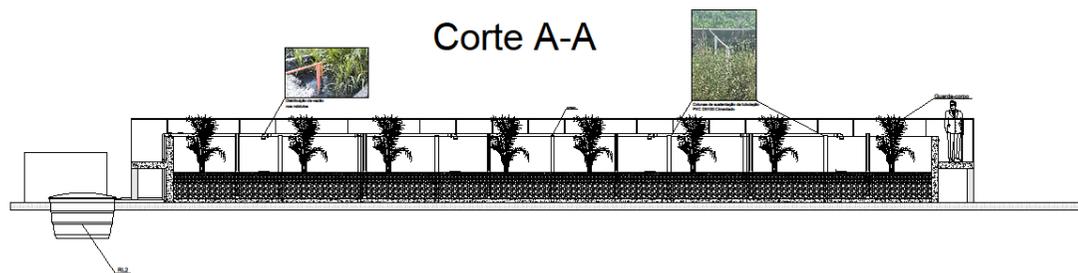
Escala 1:100

WETLANDS CONSTRUÍDOS - FLUXO VERTICAL

Corte B-B

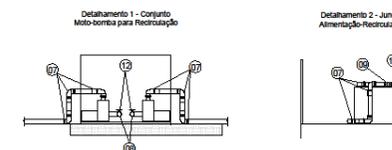


Escala 1:50



Escala 1:75

Detalhes



Escala 1:50

Lista de Materiais

Item	Descrição	DN (mm)	Qtdd
01	Joelho de 90° (PVC Soldável)	100	11
02	Tê de 90° (PVC Soldável)	100	10
03	Joelho de 45° (PVC Soldável)	100	01
04	Tubulação Drenoflex	100	30 m
05	Reservatório PRFV 200 L	-	02
06	Tubulação PVC	100	54 m
07	Joelho de 90° (PVC Soldável)	75	24
08	Tê de 90° (PVC Soldável)	75	05
09	Joelho de 45° (PVC Soldável)	75	06
10	Junção de 45° (PVC Soldável)	75	03
11	Medidor de Vazão Eletromag.	75	02
12	Registro Esfera PVC Soldável	75	06
13	Tubulação PVC	75	113 m
14	Reservatório PRFV 2000L	-	02
15	Manta de PEAD	-	247 m²
16	Registro Esfera PVC Soldável	100	02
17	Bombona 80 Litros	-	01

LEGENDA

- MtEtu (1/2) - Medidor de Vazão do Efluente
- RL (1/2) - Reservatório do Lixiviado
- S (1/2) - Bomba hidráulica para efluente
- MPEAD - Manta de PEAD

