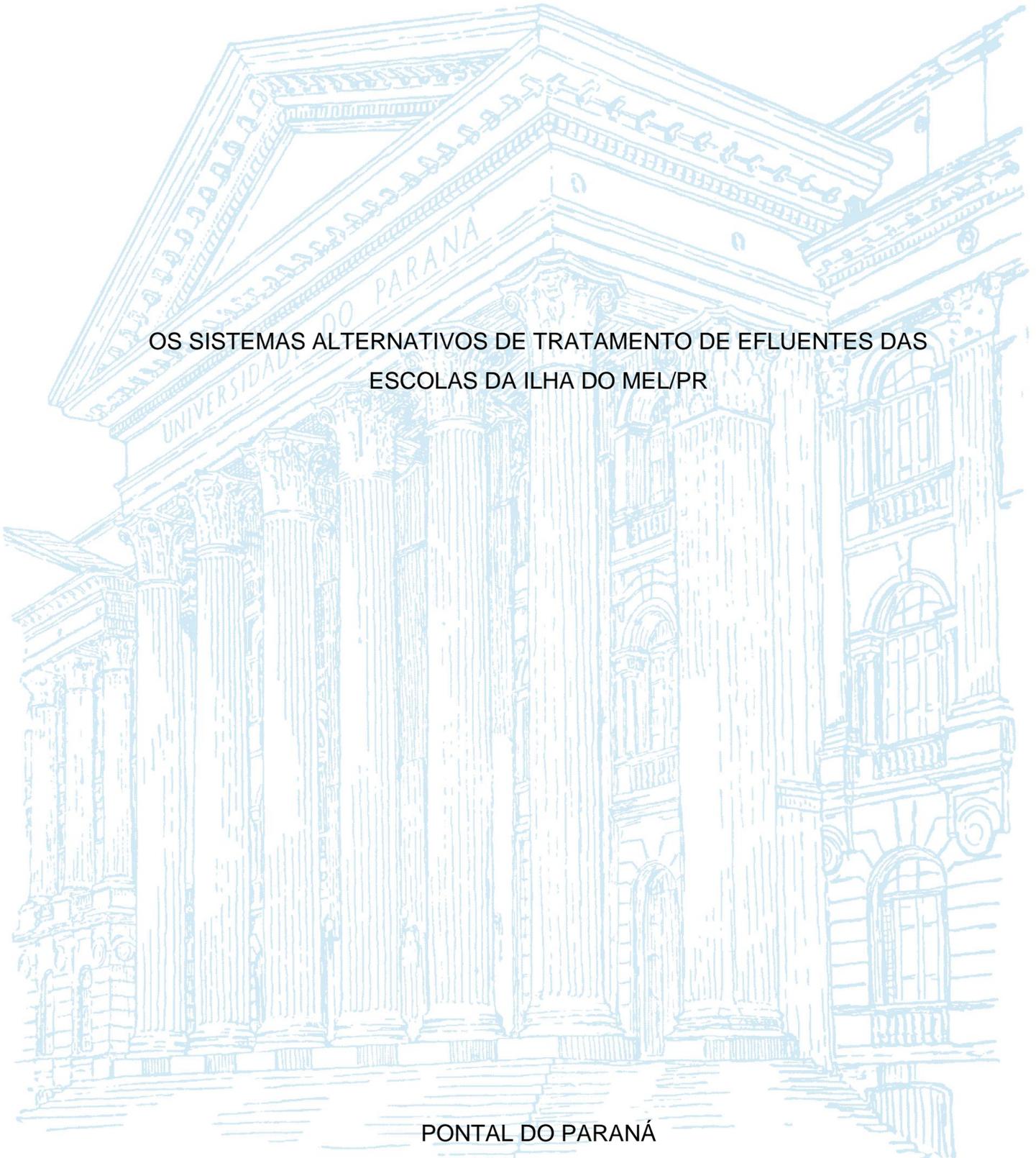


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SERENA SÜHNEL LAGREZE

OS SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS
ESCOLAS DA ILHA DO MEL/PR



PONTAL DO PARANÁ

2023

SERENA SÜHNEL LAGREZE

OS SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS
ESCOLAS DA ILHA DO MEL/PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil, Campus Pontal do Paraná/Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani

PONTAL DO PARANÁ

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Serena Sühnel Lagreze

“OS SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS ESCOLAS DA ILHA DO MEL/PR”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani
Prof. Orientador - CPP-CEM/UFPR

M.e Alex Justus da Silveira
Secretaria do Meio Ambiente de Paranaguá

Tecn. Antonio Ricardo dos Santos
Secretaria de Agricultura e Pesca de Paranaguá

Prof. Dr. Carlos Eduardo Rossigali
CPP-CEM/UFPR

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO RICARDO DOS SANTOS
Data: 27/07/2023 15:00:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pontal do Paraná, 10 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/03/2023, às 10:57, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS EDUARDO ROSSIGALI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/03/2023, às 11:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Alex Justus da Silveira, Usuário Externo**, em 03/04/2023, às 16:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5278081** e o código CRC **CAC47BED**.

Dedico este trabalho a todos aqueles que querem melhorar o mundo de alguma forma, trazendo sustentabilidade, cuidando das pessoas e do planeta Terra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Simone e Francisco, meu vô, Norberto, e minha *abuelita*, Carmela, que sempre me deram muito amor e carinho e que sempre me escutaram em momentos de frustração. Agradeço a minha tia Elaine que sempre me apoiou e esteve presente em minha vida.

Agradeço a minha madrinha e padrinho, Juliana e Fernando, por sempre cuidarem de mim e por todos os ensinamentos e conversas quando estava me sentindo perdida e sem rumo na universidade.

Agradeço aos meus amigos, que são como uma família para mim, principalmente a Marina, obrigada por estar sempre me apoiando independente da escolha que tomo. Agradeço a Magna que me ajudou na reta final deste trabalho, me ensinando muito e trabalhando comigo.

Agradeço aos meus bichinhos que ainda estão aqui, por simplesmente existirem em minha vida e me ensinarem sobre esse amor que só eles são capazes de dar: Akira, Piti, Luna, Max, Tigra, Pica Pata e Palominha amarela. Agradeço aos meus bichinhos que partiram e deixaram muita saudade, Guacha, Tongoy, Tititi, Florzinha, Bochecha, Lady, Igor, Estrelinha, Laica e Estanque.

Agradeço aos meus professores do ensino fundamental, ensino médio e da universidade, sem o auxílio e seus ensinamentos não seria possível chegar aqui.

Agradeço ao meu orientador por me envolver no Projeto Baías, me acolher e ajudar para que este trabalho pudesse ser feito. Obrigada pela paciência ao longo do processo de criação deste trabalho e pelo acolhimento em momentos de desespero.

Agradeço ao Projeto Baías: Educação e Saneamento, e a todos aqueles que estiveram presentes no desenvolvimento deste trabalho, aos colégios da Ilha do Mel, aos moradores da ilha que nos auxiliaram e receberam de braços abertos e todos aqueles que ajudaram durante todo o processo.

Por fim, agradeço a mim mesma por me manter firme e forte até o final deste trabalho e da universidade, não foi fácil e nem tudo foi como planejado, mas no fim tudo deu certo.

Uma vida não basta apenas ser vivida: também precisa ser sonhada
(MÁRIO QUINTANA)

RESUMO

Os problemas relacionados ao saneamento básico em áreas de difícil acesso, que não possuem coleta de esgoto pela rede pública ou outras formas de esgotamento dos efluentes com caminhões, podem ser solucionados de forma alternativa. Este estudo apresenta os sistemas estáticos alternativos de tratamento de efluentes compostos por Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e biodigestores para as escolas de campo Felipe Valentim e Lucy Requião, localizadas na Ilha do Mel/PR. Para o dimensionamento deste sistema foram levados em consideração as recomendações técnicas das normas da ABNT e as orientações da FIOCRUZ para os Tanques de Evapotranspiração. As áreas abrangidas pelos sistemas foram de 43 m² na escola Felipe Valentim e de 23 m² na escola Lucy Requião. As decisões sobre os materiais a serem utilizados foram baseadas na dificuldade de acesso e locomoção na Ilha do Mel, visando agilidade e economia. Para atender 111 alunos na escola Felipe Valentim e 50 alunos na escola Lucy Requião, foram orçados, respectivamente, os custos de R\$19.878,68 e R\$11.036,65 com materiais e equipamentos. Ambos os sistemas foram implantados e estão em operação.

Palavras-chave: Biodigestor 1. TEvap 2. Dimensionamento 3. Sistema estático alternativo 4. Esgoto 5.

ABSTRACT

Problems related to basic sanitation in areas of difficult access, which do not have sewage collection through the public network or other ways of exhausting effluents with trucks, can be solved with alternative way. This study presents alternative static effluent treatment systems composed of Evapotranspiration Tanks (TEvap) and biodigesters for the Felipe Valentim and Lucy Requião field schools, located in Ilha do Mel/PR. Systems dimensions were performed according to technical recommendations of the ABNT standards and the FIOCRUZ guidelines for Evapotranspiration Tanks. Areas covered by the systems were 43 m² in Felipe Valentim and 23 m² in Lucy Requião schools. Decisions about the materials to be used were based on the difficulty of access and locomotion on Ilha do Mel, aiming at agility and economy. To serve 111 students at the Felipe Valentim school and 50 students at the Lucy Requião school, costs of R\$19,878.68 and R\$11,036.65 for materials and equipment, respectively, were budgeted. Both systems have been implemented and are operating.

Keywords: Biodigester 1. TEvap 2. Dimensioning 3. Alternative static system 4. Sewage 5.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL	27
FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS DA ILHA DO MEL	28
FIGURA 3 – MODELO 3D DO BIODIGESTOR.....	30
FIGURA 4 – GEOMANTA DE PEAD.....	32
FIGURA 5 – MODELO 3D DO TEVAP DIMENSIONADO.....	33
FIGURA 6 – MODELO 3D DAS CAIXAS DE INSPEÇÃO.....	34
FIGURA 7 – DIMENSÕES DO BLOCO DE CONCRETO UTILIZADO	34
FIGURA 8 – ESTRUTURA DE ENCAPSULAMENTO	35
FIGURA 9 – ESTRUTURA DAS CAIXAS DE RETENÇÃO DE LODO.....	35
FIGURA 10 – FOSSAS ABANDONADAS (A)	36
FIGURA 11 – FOSSAS ABANDONADAS (B)	37
FIGURA 12 – FOSSAS ABANDONADAS (C)	37
FIGURA 13 – FOSSAS ABANDONADAS (D).....	38
FIGURA 14 – FOSSA RUDIMENTAR DA ESCOLA LUCY REQUIÃO	38
FIGURA 15 – FOSSA DE MÚLTIPLAS CAMADAS DA ESCOLA LUCY REQUIÃO	39
FIGURA 16 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ESCOLA DE CAMPO FELIPE VALENTIM.....	41
FIGURA 17 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ESCOLA DE CAMPO LUCY REQUIÃO	42
FIGURA 18 – PLANTA BAIXA DO SISTEMA DA ESCOLA FELIPE VALENTIM.....	44
FIGURA 19 – PLANTA BAIXA DO SISTEMA DA ESCOLA LUCY REQUIÃO	46

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS	31
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MATERIAIS E CUSTOS DO SISTEMA DA ESCOLA FELIPE VALENTIM	43
TABELA 2 – MATERIAIS E CUSTOS DO SISTEMA DA ESCOLA LUCY REQUIÃO	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TEvap	- Tanque de Evapotranspiração
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Técnica Brasileira
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FIOCRUZ	- Fundação Oswaldo Cruz
PLANSAB	- Plano Nacional de Saneamento Básico
EMATER	- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
CPP	- Campus Pontal do Paraná
CEM	- Centro de Estudos do Mar
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
Embrapa	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 A ILHA DO MEL	18
2.2 ESGOTO DOMÉSTICO	18
2.3 PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO	19
2.4 DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA.....	20
2.4.1 DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA.....	20
2.4.2 DECOMPOSIÇÃO AERÓBIA.....	21
2.5 FOSSA SÉPTICA.....	21
2.6 BIODIGESTOR	22
2.7 TANQUES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	23
2.8 SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS	24
2.9 SISTEMAS DE TRATAMENTO AERÓBIOS.....	25
2.9.1 Lagoas aeradas.....	25
2.9.2 Reatores aeróbios	26
METODOLOGIA	27
2.10 ILHA DO MEL.....	27
2.11 DIMENSIONAMENTO E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	29
2.11.1 Biodigestor	29
2.11.2 Tanque de Evapotranspiração	31
2.11.3 Tubulações do sistema.....	33
2.11.4 Caixas de retenção de lodo e estruturas encapsuladoras.....	34
2.12 ESCOLA DE CAMPO FELIPE VALENTIM.....	36
2.13 ESCOLA DE CAMPO LUCY REQUIÃO.....	38
3 RESULTADOS	40
3.1.1 Dimensionamento do sistema de tratamento da escola de campo Felipe Valentim	40

3.1.2 Dimensionamento do sistema de tratamento da escola de campo Lucy Requião	41
3.2 PROJETO TÉCNICO	42
3.2.1 Projeto Técnico da escola de campo Felipe Valentim	42
3.2.2 Projeto Técnico da escola de campo Lucy Requião.....	45
3.3 DISCUSSÃO	47
4 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2010, a população brasileira era de 194.890.682 pessoas e no ano de 2020 de 211.755.692 (IBGE, 2023). Para um país subdesenvolvido, como o Brasil, este aumento populacional afeta diretamente questões associadas ao saneamento.

A Organização Mundial da Saúde (2018), em suas diretrizes sobre saneamento e saúde (*Guidelines on Sanitation and Health*), destaca que o saneamento evita doenças e promove bem-estar e dignidade para a população. Apesar disso, de acordo com o ATLAS Esgoto (2017), em 2017 apenas 55,0% da população total do Brasil tem esgotamento sanitário adequado, sendo geradas 9,1 toneladas de esgoto todos os dias.

O meio convencional de tratamento de esgoto no Brasil, quando não há coleta por rede pública, é através do uso do sistema de tanque séptico, composto por fossa séptica com filtro e sumidouro. Este sistema é caracterizado pelo tratamento do esgoto em nível domiciliar, utilizado principalmente em zonas rurais.

O taque séptico, ou fossa séptica, é uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993). Já o sumidouro é um poço seco escavado no chão e não impermeabilizado, que orienta a infiltração de água residuária no solo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

De acordo com Cordeiro (2010, p. 2), as fossas sépticas geram resíduos provenientes do esgoto que ficam retidos em seu interior, assim é necessário fazer a remoção destes por bombeamento periódico, retirando tanto a parte sólida quanto a líquida. Este tipo de tratamento se mostra inviável para locais de difícil acesso, como na Ilha do Mel, Paraná, onde não há serviços de esgotamento de fossa séptica.

O esgoto gerado nas edificações na Ilha do Mel se tornou um problema, pois, em geral, quando não eram lançados *in natura* no meio ambiente, eram tratados com metodologias inadequadas para a localidade. Esta problemática causa uma grande necessidade da busca por tratamentos alternativos acessíveis à população.

A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (2015) delimitou objetivos de desenvolvimento sustentável, onde o sexto objetivo é o de água potável e saneamento, em que é preciso, segundo a Organização das Nações Unidas

(2015), “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos”.

Em locais isolados, onde é inviável a implantação de sistemas coletivos, faz-se uso de sistemas de tratamento de esgoto estáticos, também denominados sistemas alternativos de saneamento. Desses sistemas, pode-se citar: biodigestores (PROENÇA E MACHADO, 2018), Tanques de Evapotranspiração (TEvap) (GALBIATI, 2009), Sistemas Alagados Construídos (*Wetlands*) (LIMA, 2016; SEZERINO, 2015) e outros, que podem ser utilizados individualmente ou um complementando o outro.

Os TEvaps são amplamente utilizados nas zonas rurais devido ao seu fácil manejo. Estes são usualmente constituídos de um tanque impermeável, preenchido com uma camada de brita ou restos de construção e outra camada de solo fértil. Segundo a EMATER-MG (2016), no TEvap ocorre a decomposição anaeróbia da matéria orgânica e a absorção dos nutrientes e da água pelas raízes dos vegetais.

No TEvap é feito o cultivo de plantas que demandam bastante água e possuem crescimento rápido, a fim de se promover uma maior evapotranspiração (GALBIATI, 2009). A bananeira é a planta mais comum de se encontrar em um TEvap e segundo um comunicado técnico da Embrapa (2008), o lodo de esgoto favorece o desenvolvimento da banana. Além disso, seus frutos não absorvem metais pesados do solo, sendo possível e seguro o seu consumo (EMBRAPA, 2008).

Outro meio alternativo de tratamento de esgoto é o biodigestor. Existem diferentes tipos de biodigestores, estes podem ser do tipo construídos no local ou comprados já prontos em diversos materiais.

Este trabalho se deu por meio do Projeto Baías: Educação e Saneamento, onde um dos objetivos foi a implantação de sistemas de tratamento de esgoto nas escolas da Ilha do Mel, Paraná, as escolas do campo Felipe Valentim e Lucy Requião. A tecnologia utilizada foi a associação de biodigestores com TEvaps, cujo projeto é apresentado neste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

O sistema de tratamento de esgoto de forma estática é necessário para tratar o esgoto de edificações que não são atendidas por sistemas dinâmicos, ou seja, sistemas coletivos. Na Ilha do Mel a falta de serviço de esgotamento de fossa inviabiliza o uso de fossa séptica e o lençol freático próximo à superfície inviabiliza o uso de sumidouros.

Os sumidouros eram as tecnologias utilizadas nas escolas da Ilha do Mel, e, portanto, sendo necessária a implantação de novas soluções.

Uma tecnologia adequada para ambientes como o da Ilha do Mel é o TEvap, um sistema impermeabilizado onde todo o líquido do efluente é evapotranspirado. O tanque de evapotranspiração possui uma câmara de biodigestão e uma área destinada à evapotranspiração.

A fim de diminuir o tempo de obra e a quantidade de materiais envolvidos na implantação do TEvap, pois o transporte para a ilha é uma dificuldade uma vez que envolve o uso de embarcações, dividiu-se essas duas câmaras a fim de se usufruir de um biodigestor vendido comercialmente, seguido de uma bacia exclusiva para evapotranspiração.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolvimento dos projetos de tratamento de esgoto com sistema estático para as escolas da Ilha do Mel.

1.2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar o sistema de tratamento de esgoto;
- Desenvolver o projeto técnico do sistema;
- Definir as técnicas construtivas adequadas ao sistema de tratamento de esgoto;
- Determinar os custos de implantação do sistema proposto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ILHA DO MEL

A Ilha do Mel pertence ao município de Paranaguá-PR e está localizada na entrada do Complexo Estuarino de Paranaguá (IBGE, 2022). Esta possui uma área total de 2.762 hectares, com perímetro aproximado de 35 km e foi primeiramente registrada através da xilogravura em 1555 por Hans Staden (PATRIMÔNIO CULTURAL PARANÁ, 1975).

A Ilha do Mel é formada por morros rochosos e planícies arenosas, onde os morros rochosos estão localizados na parte sul da ilha e as planícies arenosas mais ao norte. Outra característica física é a presença de um sedimento que popularmente se chama piçarra, que segundo Marques e Britez (2005), é “originado principalmente por enriquecimento epigenético em matéria orgânica relacionado a processos pedogenéticos em Espodossolo”.

Segundo o IBGE (2010), no censo de 2010 a população total de moradores da Ilha do Mel era de 1.040 pessoas, divididas entre as áreas de norte e sul da ilha. De acordo com Marques e Britez (2005), desde a década de 80 a Ilha do Mel teve um rápido crescimento em seu fluxo de turismo, que gerou uma pressão sobre os recursos naturais e aumento de áreas ocupadas por edificações voltadas ao turismo.

2.2 ESGOTO DOMÉSTICO

O esgoto doméstico, segundo a definição da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993), NBR 7.229, é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”. Sua composição segundo Nuvolari e Martinelli (2011) é aproximadamente 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas.

O esgoto doméstico é composto de constituintes físicos, químicos e biológicos. É uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos, suspensos ou dissolvidos na água. A maior parte dessa matéria consiste em resíduos alimentícios, fezes, matéria vegetal, sais minerais e materiais diversos, como sabões e detergentes sintéticos (MENDONÇA E MENDONÇA, 2017, p. 26).

De acordo com Mendonça e Mendonça (2017), o esgoto tem um odor característico (proveniente do processo de decomposição anaeróbia), a sua coloração varia de cinza a preta, sendo o esgoto considerado perigoso devido ao número elevado de patógenos que causam enfermidades. Assim, a necessidade do tratamento de esgotos se dá devido a questões de saúde pública e dos impactos da descarga destes no meio ambiente (Tchobanoglous *et al.*, 2016).

A quantidade de esgoto gerada é baseada no consumo de água consumida nas residências, a taxa de consumo *per capita*, variando de acordo com os hábitos, costumes e pela renda de cada local e residência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993), NBR 7.229, para uma residência de alto padrão cada pessoa contribui com 160 L/dia de esgoto; para uma residência de baixa renda esse valor passa a ser 100 L/dia; e para escolas e locais de longa permanência, a contribuição diária por pessoa é de 50 L.

2.3 PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) teve início em 2008, onde se estabeleceu o “PACTO PELO SANEAMENTO BÁSICO: Mais Saúde e Qualidade”, sendo propostos os objetivos do PLANSAB (BRASIL, 2015).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e possui o horizonte de 20 anos (2014 a 2023) (BRASIL, 2015).

Segundo os dados coletados em 2017 pelo PLANSAB, 54,8% da população brasileira possuía atendimento adequado de esgotamento sanitário, 41,9% atendimento precário e 3,3% não era atendida. Assim, das 29 metas do PLANSAB, 6 destas são específicas para o esgotamento sanitário, e estão em vigor para alcançar um total de 92% de coleta de esgoto para todos os domicílios do Brasil (BRASIL, 2015).

2.4 DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

No processo de decomposição da matéria orgânica são gerados biomassa, energia, dióxido de carbono, hidrogeno carbonato, água e amônia (JAKOBSEN, 1994). A decomposição da matéria orgânica se dá por processos anaeróbios, via bactérias anaeróbias, ou processos aeróbios por bactérias aeróbias (JAKOBSEN, 1994).

Do ponto de vista da química, os processos aeróbios (onde é necessário oxigênio no meio) resultam na oxidação e os processos anaeróbios (onde não há oxigênio disponível no meio) resultam na redução (IMHOFF, 1966).

Assim, enquanto houver oxigênio disponível no meio, as bactérias aeróbias decompõem a matéria e quando não houver disponibilidade deste, as bactérias aeróbias morrem e com isso as anaeróbias continuam o processo de decomposição (IMHOFF, 1966).

As bactérias são sensíveis a ácidos e bases; logo, quando a matéria orgânica está com muito cloro ou outros tipos de desinfetantes, como pode ocorrer em alguns casos com o esgoto sanitário, estas podem morrer ou serem paralisadas (IMHOFF, 1966).

2.4.1 DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA

A biodigestão anaeróbia possui, de forma geral, quatro principais fases: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese (MALINOWSKY, 2016). Segundo Malinowsky (2016), na primeira fase, hidrólise, as proteínas, os carboidratos e os lipídios são convertidos em monômeros, respectivamente em aminoácidos, açúcares solúveis e ácidos graxos de cadeia longa. Este processo ocorre devido às exoenzimas que são excretadas por bactérias no processo de fermentação.

Segundo Malinowsky (2016), na acidogênese, segunda fase, ocorre a metabolização dos produtos solúveis da hidrólise pelas bactérias fermentativas. O resultado desta metabolização é a formação de ácidos orgânicos de cadeias curta, hidrogênio, álcoois e dióxido de carbono.

Na terceira fase, acetogênese, bactérias degradam o que foi produzido na acidogênese em nitrogênio, acetato e gás carbônico (MALINOWSKY, 2016). A

última etapa do processo de biodigestão é a metanogênese, nesta etapa as bactérias do grupo *Archaea* formam metano (biogás) a partir do produto da acetogênese (MALINOWSKY, 2016).

Entre os sistemas estáticos que utilizam da decomposição anaeróbia estão: fossas sépticas, biodigestores, os TEvaps, os Sistemas Alagados Construídos etc.

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (2016), as vantagens de processos anaeróbios em comparação com aeróbios são: menos consumo de energia, menor produção de lodo biológico, menor necessidade de nutrientes, produção de metano, reator de menor volume e pré-tratamento eficaz.

2.4.2 DECOMPOSIÇÃO AERÓBIA

A decomposição aeróbia da matéria orgânica precisa necessariamente de oxigênio e durante o processo de decomposição sua temperatura pode chegar entre 70-80°C (JAKOBSEN, 1994). Neste processo aeróbio são removidos dióxido de carbono e amônia, assim como excedentes de vapor d'água (JAKOBSEN, 1994).

A oxidação que resulta da decomposição aeróbia gera três principais produtos, são estes o gás carbônico, ácido nítrico e ácido sulfúrico (IMHOFF, 1966). Como o esgoto tem em sua composição grandes quantidades de substâncias alcalinas, os ácidos citados acima se neutralizam, gerando carbonatos, nitratos e sulfatos, porém uma parte do CO₂ permanece ou também se desprende da solução (IMHOFF, 1966).

Segundo Nuvolari e Martinelli (2011), “os processos aeróbios de tratamento são geralmente mais rápidos, mais eficientes e normalmente mais fáceis de controlar”. Porém este processo demanda muita energia com a utilização de aeradores para a inserção de oxigênio e com o uso de bombas para a recirculação do lodo.

2.5 FOSSA SÉPTICA

A fossa séptica ou tanque séptico é segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997), NBR 13.969, uma “unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão”.

Seu volume mínimo é de 1000 L, podendo variar de acordo com o número de pessoas da residência, a contribuição por pessoa e o tempo de detenção entre limpezas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Esta é construída em alvenaria e enterrada, onde o material de seu interior não entra em contato com o ambiente externo, tornando assim um ambiente propício para a biodecomposição anaeróbia do esgoto doméstico.

Essa é a tecnologia mais comumente empregada em residências ou condomínios isolados que não possuem acesso ao sistema de rede coletora de esgoto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Para o seu correto funcionamento, periodicamente há necessidade da remoção do lodo que se acumula no seu interior. Segundo a NBR 13.969, este tempo varia de acordo com a temperatura, sendo o tempo mínimo para a remoção de um ano e o tempo máximo de cinco anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

A disposição e o tratamento de efluentes das fossas sépticas deve ser prevista junto à concepção da mesma, sendo possível a utilização de sumidouros, valas de infiltração, tratamento por valas de filtração e tratamento em filtro anaeróbio de fluxo ascendente (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). A escolha do tipo de disposição é em função do tipo de solo, distância de poços, mananciais, profundidade do lençol freático, entre outros (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011).

2.6 BIODIGESTOR

Um outro sistema de tratamento de esgoto unifamiliar é o biodigestor. De acordo com a EMATER-PR (1979), um biodigestor “é basicamente composto de câmaras (tanques) fechadas, onde a matéria orgânica é fermentada, produzindo o biogás e transformando-se em biofertilizante”. A finalidade deste sistema é proporcionar um ambiente onde há a proliferação de microrganismos, bactérias anaeróbias, para que ocorra a decomposição da matéria orgânica (MALINOWSKY, 2016).

A utilização de biodigestores na suinocultura é bastante visada, devido ao seu potencial em gerar biogás e biofertilizante em grandes quantidades na produção intensiva, que normalmente gera grandes problemas ambientais quando não tratados os dejetos suínos (FERNANDES FILHO *et al.*, 2018).

O país pioneiro em pesquisas e avanços tecnológicos relacionados a biodigestores foi a Índia, onde em 1939 foi desenvolvido pelo Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola uma usina de biogás, biodigestor anaeróbio, utilizando dejetos suínos (GASPAR, 2003). Com pesquisas e avanços em tecnologias de biodigestores, a Índia construiu aproximadamente meio milhão de usinas nas zonas rurais (GASPAR, 2003).

A China com a necessidade de produção de alimentos em larga escala para a sua população excedente, começou a utilizar biodigestores na década de 50 para a fabricação de biofertilizante (GASPAR, 2003). Assim, segundo Gaspar (2003), existem dois modelos de biodigestores para larga escala, o chinês que é mais econômico e simples, para a produção de biofertilizante, e o indiano que é mais sofisticado e técnico, para a produção de biogás.

Na escala domiciliar o biodigestor pode ser construído em alvenaria comum, tijolos e argamassa, com lajes de concreto para base e cobertura (EMATER-PR, 1979).

2.7 TANQUES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os TEvaps foram desenvolvidos por permacultores em busca de meios alternativos do tratamento de efluentes para áreas urbanas e rurais (GALBIATI, 2009). São tanques impermeabilizados, compostos por camadas de diferentes substratos, como brita e solo, onde é feito o plantio de vegetais (GALBIATI, 2009).

A construção do TEvap é simples, em que podem ser construídos com blocos de concreto, tijolo cerâmico, ferro cimento e lona (EMATER-DF, 2019). Neste tanque, que é impermeabilizado, ocorre o processo de biodecomposição do esgoto, sendo a água e os nutrientes absorvidos pelos vegetais que são plantados e que fazem a evapotranspiração (EMATER-DF, 2019). Esses vegetais devem ter como características principais folhas largas com crescimento rápido e demanda maior de água (GALBIATI, 2009).

Segundo Silva (2016), o esgoto passa por dois processos no TEvap, a biodecomposição anaeróbia e a evapotranspiração da água. O processo de biodecomposição ocorre na câmara de biodigestão, feita normalmente utilizando pneus velhos no fundo e no centro do tanque (EMATER-DF, 2019). A evapotranspiração ocorre devido ao processo de capilaridade da água, que sai da

câmara anaeróbia, percorrendo o substrato com entulhos e brita até chegar nas raízes dos vegetais (SILVA, 2016).

2.8 SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

Os Sistemas Alagados Construídos, também conhecidos como *Constructed Wetlands* em inglês, são utilizados para o tratamento de efluentes, possuindo como principal característica o baixo custo de operação e implantação (PRATA, 2013). Este sistema pode ser classificado em dois grandes grupos, sendo o primeiro por escoamento superficial e o segundo por escoamento subsuperficial (SEZERINO *et al.*, 2015).

Na literatura não há padronização em relação ao nome sistemas alagados construídos, podendo então possuir outras denominações como zonas de raízes, leitos cultivados, banhados construídos, biofiltros com macrófitas e por fim sistemas alagados construídos (SEZERINO *et al.*, 2015).

Em 1997, devido à falta de tratamento de efluentes e custo de tratamentos convencionais, foi construído um *Wetland* de 80 ha na província de Shandong na China, que foi projetado para atender um total de 120 mil pessoas (SONG *et al.*, 2005). Já no Brasil, este sistema se deu início na década de 80 e seu uso se intensificou nos anos 2000 (SEZERINO *et al.*, 2015).

Os sistemas alagados construídos se baseiam em planícies alagadas naturais, mais conhecidos como pântanos, manguezais, terras úmidas, brejos, várzeas e lagos rasos, onde a vegetação destes locais realiza processos de depuração da água (POÇAS, 2015). Assim, segundo Cunha e Severiano (2018), os sistemas alagados construídos purificam a água e os nutrientes por processos biológicos naturais.

Além de ser um sistema que trata águas residuárias, este (*Wetland*) também pode ser utilizado como um tratamento terciário de estações de tratamento de esgoto para a retirada de nutrientes (POÇAS, 2015). O tratamento de efluentes nesse sistema envolve processos físicos, como a sedimentação e filtração; processos químicos como adsorção, aglutinação e precipitação e processos biológicos, como a decomposição aeróbia e anaeróbia (LIMA, 2016).

2.9 SISTEMAS DE TRATAMENTO AERÓBIOS

O sistema mais utilizado nas grandes estações de tratamento de esgoto é o de lodos ativados, que é composto por tratamento primário e secundário (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). Segundo Nuvolari e Martinelli (2011) o tratamento primário é composto por uma grade na entrada do sistema e logo após uma caixa de areia seguida de um decantador primário.

No tratamento secundário é onde se encontra o reator aeróbio, seguido de um decantador secundário onde ocorre a recirculação do lodo (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). Este lodo continua passando por outros processos até o seu condicionamento e secagem, onde seu destino pode ser um aterro sanitário ou uso agrícola após um processo de compostagem (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011).

Segundo Foresti (2013), outro sistema que utiliza processo aeróbio é o sistema de lagoas, neste sistema o esgoto vem de um tratamento preliminar para uma lagoa anaeróbia, seguido por uma lagoa aerada e uma lagoa de sedimentação de lodo.

2.9.1 Lagoas aeradas

As lagoas aeradas podem ser de dois tipos, sendo a facultativa com processos de biodecomposição aeróbia e anaeróbia e a lagoa aerada de mistura completa, sendo por processo de biodecomposição aeróbia (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011).

Segundo Nuvolari e Martinelli (2011), nas lagoas facultativas ocorre uma aeração parcial, onde na superfície está presente mais oxigênio, gerando assim uma decomposição aeróbia, porém no fundo ocorre a deposição de lodo, onde ocorre a decomposição anaeróbia da matéria.

Para as lagoas aeradas de mistura completa, o aerador produz uma turbulência que faz com que o oxigênio seja dissolvido em todo o corpo d'água da lagoa, fazendo com que a matéria esteja sempre em suspensão (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). É necessário prever após a lagoa aerada uma lagoa para sedimentação do lodo, onde deve ser feita a retirada deste periodicamente (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011).

2.9.2 Reatores aeróbios

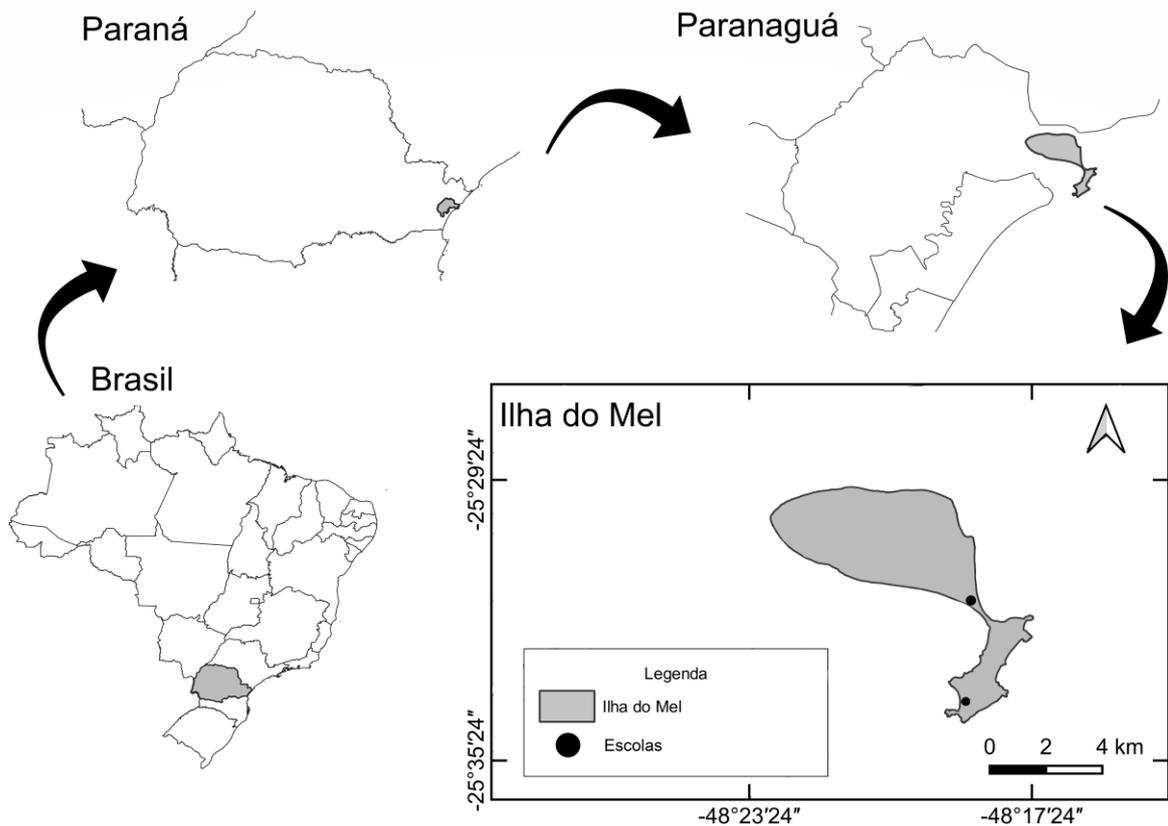
O objetivo deste reator é a retirada dos sedimentos finos que não foram retirados no tratamento primário feito anteriormente (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). A matéria entra no sistema e ocorre a inserção de ar de forma automatizada, gerando um ambiente propício para a decomposição aeróbia feita por bactérias (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011). Após a biodecomposição de forma aeróbia, o lodo segue para um decantador secundário e em seguida é feita a recirculação deste material de volta para o reator (NUVOLARI E MARTINELLI, 2011).

METODOLOGIA

2.10 ILHA DO MEL

A Ilha do Mel está localizada na entrada do Complexo Estuarino de Paranaguá e pertence ao município de Paranaguá (FIGURA 1), no estado do Paraná. As escolas de campo da Ilha do Mel estão localizadas em duas comunidades, a escola Felipe Valentim se encontra em Encantadas, mais ao sul, e a Lucy Requião em Nova Brasília, mais ao norte (FIGURA 2). A travessia entre as duas comunidades é feita por barco ou em momentos de maré baixa esta pode ser feita caminhando ou com bicicleta pela praia.

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS DA ILHA DO MEL



FONTE: A autora (2023).

LEGENDA: (a) Escola Felipe Valentim (b) Escola Lucy Requião.

O lençol freático da Ilha é alto na maior parte do ano devido a recorrência e grande volume de chuvas no litoral paranaense, assim na ilha o afloramento deste é bastante comum. Outra questão que causa uma grande quantidade de água na superfície da ilha é a piçarra, onde não possui capacidade de percolação e se torna uma camada impermeabilizante (MARQUES E BRITZ, 2005).

As estações de tratamento de esgoto foram implantadas nas escolas da Ilha do Mel. A implantação das estações precedeu um levantamento bibliográfico sobre a Ilha do Mel e as escolas e um diagnóstico realizado em campo, onde foram inspecionadas as instalações hidráulicas prediais e os sistemas de tratamento existentes. As escolas também foram visitadas para realização de conversas com os funcionários e estudantes, a fim de compreender melhor as expectativas e necessidades da escola e da comunidade. Todas essas informações estão dispostas na seção de resultados.

2.11 DIMENSIONAMENTO E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O dimensionamento foi separado em duas partes: a primeira foi a definição do biodigestor e a segunda o dimensionamento dos TEvaps.

Para o projeto foi feito o levantamento topográfico da área das escolas, utilizando uma estação total do Laboratório de Topografia e Geodésia (CPP-CEM/UFPR). Com os dados coletados foram feitas as modelagens dos biodigestores e dos TEvaps e as plantas baixas dos dois sistemas utilizando o Revit, um *software* BIM da empresa Autodesk.

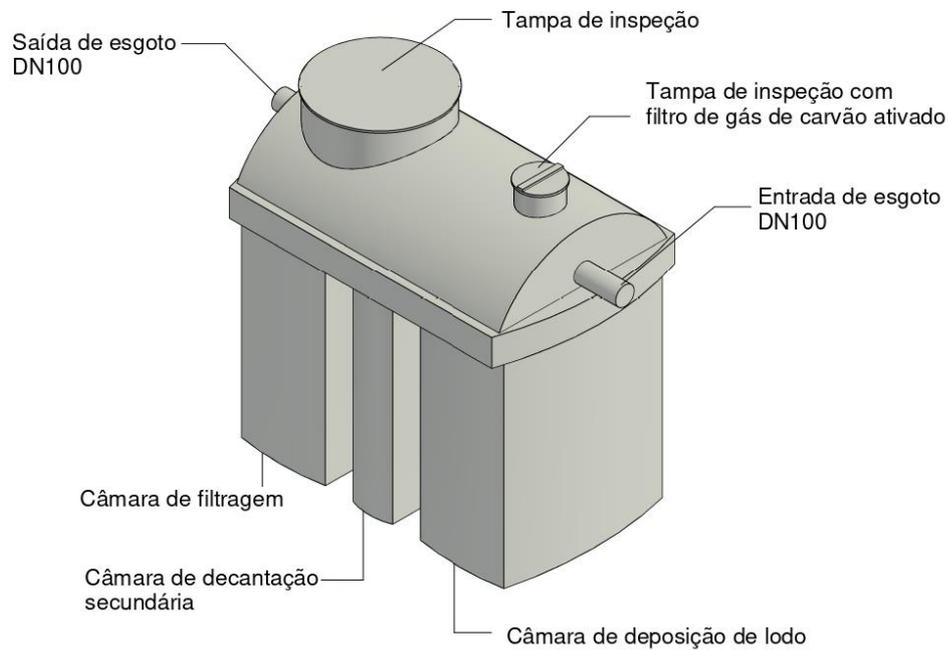
Os custos do projeto foram revisados e atualizados para o mês de janeiro de 2023, pois como muitos materiais foram comprados com antecedência, estes não estariam atualizados aos valores de mercado.

2.11.1 Biodigestor

A escolha do biodigestor se deu pelo seu formato, pois possui três estágios de tratamento separados em câmaras (FIGURA 3): a primeira de deposição do lodo, a segunda de decantação secundária e a terceira de filtragem (LUXTEL, 2022). Os biodigestores têm um canal de extravasamento de lodo, projetado para facilitar a sua limpeza e manutenção do sistema.

A limpeza do biodigestor deve ser feita entre seis meses e um ano, onde é aberto o registro de extravasamento de lodo para a caixa de secagem, que após a secagem, pode ser descartado como adubo. Uma alternativa para a limpeza do biodigestor é adicionar um biodegradador mensalmente para que não seja necessária efetuar a remoção deste lodo.

FIGURA 3 – MODELO 3D DO BIODIGESTOR



FONTE: A autora (2022).

Para o dimensionamento dos biodigestores foram utilizadas as recomendações da Luxtel e analisadas também as recomendações da NBR 13.969 (1997) em relação ao volume de esgoto produzido por pessoa. É recomendado pela Luxtel a utilização de solo cimento para a fixação dos biodigestores no solo, assim para cada 15 carrinhos de mão de solo, utilizou-se um saco de cimento.

Segundo o manual fornecido pela Luxtel, o biodigestor atende as normas NBR 7.229 (1993), NBR 13.969 (1997) e NBR 12.209 (2011).

Segundo as recomendações da Luxtel para escolas, um biodigestor de 1300 L possui capacidade de uso para 26 pessoas, assim a contribuição diária de cada pessoa é de 50 L. Esta recomendação é a mesma da NBR 13.969 (1997), na tabela de “contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes” (QUADRO 1).

QUADRO 1 – CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS

<i>Prédio</i>	<i>Unidade</i>	<i>Contribuição de esgoto (L/d)</i>	<i>Contribuição de carga orgânica (DBO/d)</i>
<i>Ocupantes temporários</i>			
<i>Escolas (externatos) e locais de longa permanência</i>	Pessoa	50	20

FONTES: Adaptado da NBR 13.969(1997) (2023).

2.11.2 Tanque de Evapotranspiração

Foi feito o dimensionamento de um filtro de bananeiras como complemento ao TEvap para caso ocorra um extravasamento deste. Segundo Tonetti *et al.* (2018), este deve possuir um metro de profundidade e 2 metros de diâmetro interno.

Os tanques de evapotranspiração foram dimensionados para complementarem o tratamento dos biodigestores. As superfícies de fundo e paredes dos TEvaps devem ser impermeabilizadas, podendo ser com concreto no fundo e as paredes feitas com tijolos cerâmicos chapiscados a fim de promover a vedação total do interior do tanque em relação ao exterior.

O TEvap foi dimensionado de acordo as recomendações da FIOCRUZ (2019), segundo este o TEvap deve possuir entre 1,6 e 1,8 m de altura e ter uma área de 2 m² por pessoa.

Obtidas as dimensões do TEvap, um projeto preliminar foi desenvolvido, utilizando as técnicas construtivas mais comumente aplicadas (alvenaria). Na sequência, o projeto preliminar foi avaliado a fim de se substituir os materiais de construção por materiais mais leves e que conferissem agilidade e economia na implantação dos sistemas, considerando as dificuldades no transporte dos materiais à ilha e o custo do tempo da mão de obra.

Logo, foi escolhido utilizar uma geomanta de PEAD de 800 µm (FIGURA 4) para promover a impermeabilização das superfícies de fundo e as laterais. Assim, os custos de mão de obra e o tempo de construção diminuem consideravelmente.

FIGURA 4 – GEOMANTA DE PEAD



FONTE: A autora (2022).

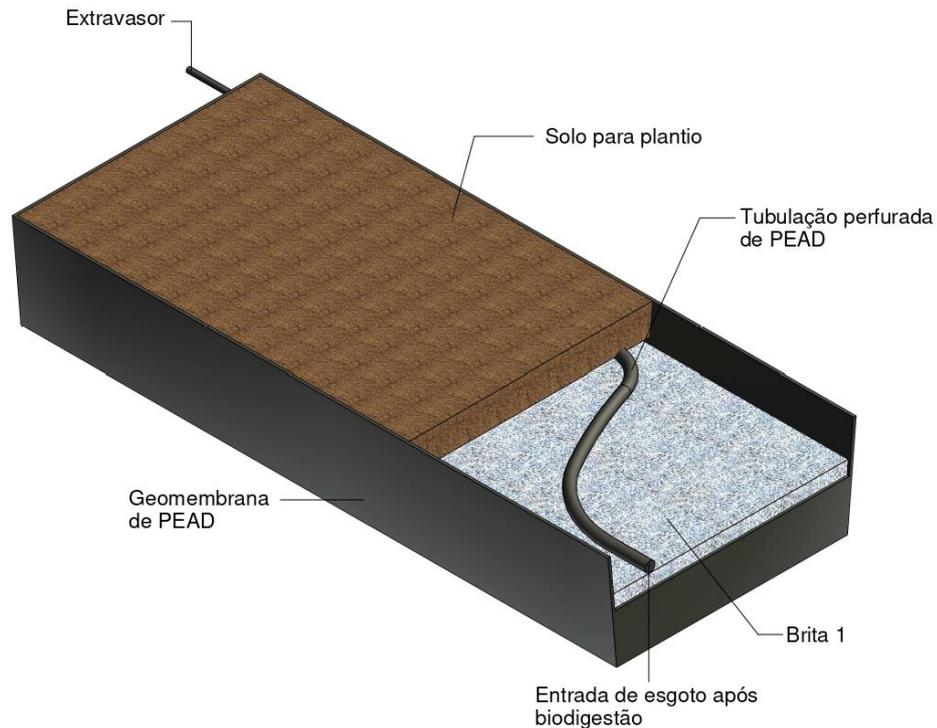
Caso fosse escolhido utilizar alvenaria para a fabricação do tanque, seria necessário fazer o transporte do material do continente até o local da obra, contratar mão de obra especializada e respeitar os tempos de cura do concreto, e consequentemente aumentaria o tempo de construção e o custo da obra.

A geomanta é acomodada sobre a escavação do TEvap. Sobre as mantas, pode-se utilizar, como material de preenchimento: restos de construção civil, brita, conchas e outros materiais que possuem durabilidade e sirvam de superfície de incrustação de microrganismos. É necessário cuidar no momento de preenchimento deste para não rasgar ou furar a lona.

O material escolhido foi brita número 1. O critério para a escolha da brita foi a falta de disponibilidade de resíduos de construção civil, uma vez que a maioria das edificações da Ilha do Mel são construídas em madeira.

O TEvap construído foi composto pela geomanta para impermeabilização com o exterior, brita, tubos para drenagem do esgoto revestido de manta bidim, substrato com terra do local e plantas com folhas grandes, tal como bananeiras, pois transpiram bastante (FIGURA 5).

FIGURA 5 – MODELO 3D DO TEVAP DIMENSIONADO



FONTE: A autora (2022).

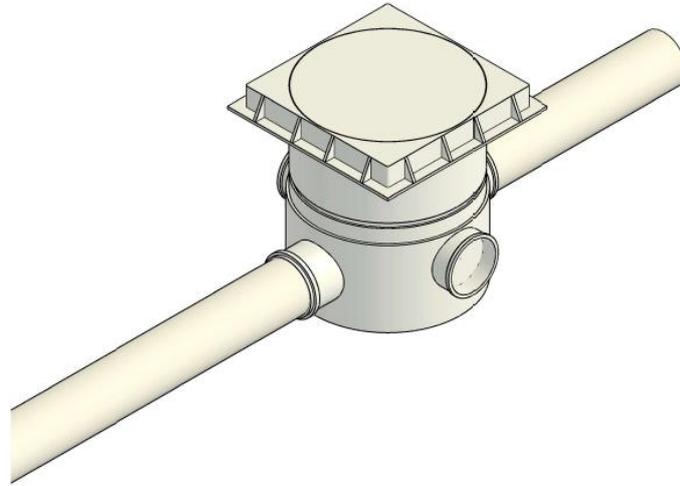
2.11.3 Tubulações do sistema

As tubulações previstas foram dimensionadas segundo as indicações de declividade mínima para ramais de descarga de esgoto da NBR 8.160 (1999).

As tubulações para o sistema foram de: 50 mm para os ramais de ventilação e 100 mm para os ramais de descarga de bacias sanitárias, tal como preconiza a NBR 8.160 (1999). Todas as tubulações foram dimensionadas tal como orienta a NBR 8.160 (1999): declividade mínima de 1% para tubulações com diâmetro nominal igual ou superior a 100 mm e 2% para as tubulações com diâmetro nominal igual a 50mm.

Foram colocadas caixas de inspeção em todas as mudanças de declividade, junções de tubulações e em desvios, como orienta a NBR 8.160 (1999) para tubulações enterradas (FIGURA 6).

FIGURA 6 – MODELO 3D DAS CAIXAS DE INSPEÇÃO



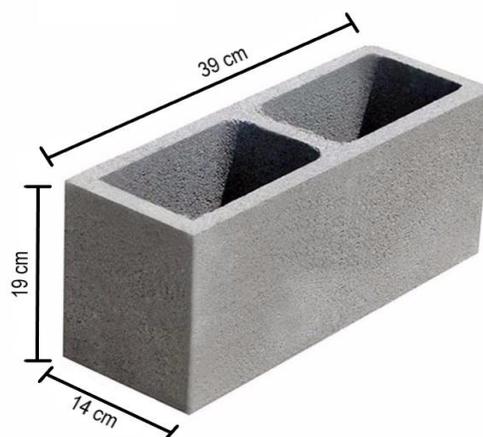
FONTE: A autora (2022).

2.11.4 Caixas de retenção de lodo e estruturas encapsuladoras

Os biodigestores foram encapsulados por causa do odor que um sistema anaeróbio produz. Foram utilizados blocos de concreto estrutural para as estruturas das caixas de retenção de lodo e estruturas encapsuladoras. As tampas dessas caixas foram feitas com concreto armado.

O cálculo para a quantidade de blocos foi feito em relação às dimensões do bloco escolhido, este é o bloco de concreto estrutural de 14 x 19 x 39 cm (FIGURA 7), onde para cada m² de parede são utilizados 13 blocos.

FIGURA 7 – DIMENSÕES DO BLOCO DE CONCRETO UTILIZADO

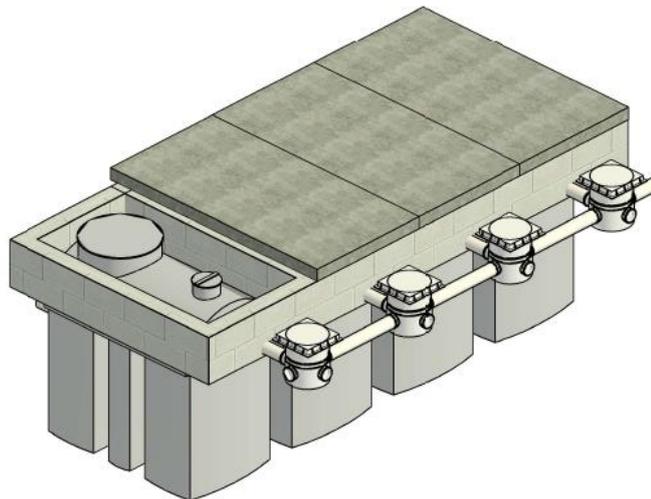


FONTE: Adaptado de Viario Construshow (2023).

A argamassa prevista foi a pronta vendida em pacotes de 20 kg, esta escolha se deu devido à facilidade de transporte e agilidade na hora da construção. Para as vigas, pilares, lajes e tampas foram seguidas as orientações de dimensionamento da NBR 6.118 (2014) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Para a estrutura com blocos foram seguidas as orientações na NBR 16.868-1 (2020) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

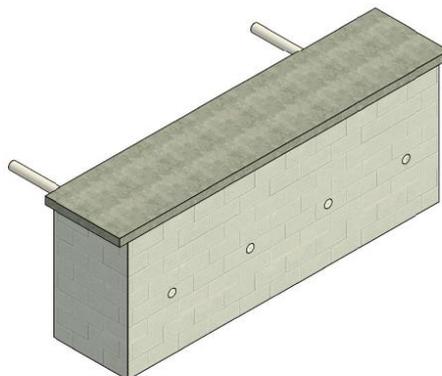
A estrutura de encapsulamento está exibida na FIGURA 8 e a estrutura das caixas de retenção de lodo pode ser vista na FIGURA 9.

FIGURA 8 – ESTRUTURA DE ENCAPSULAMENTO



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 9 – ESTRUTURA DAS CAIXAS DE RETENÇÃO DE LODO



FONTE: A autora (2023).

2.12 ESCOLA DE CAMPO FELIPE VALENTIM

A escola de campo Felipe Valentim está localizada próxima ao local de embarque em Encantadas. A escola possui 21 funcionários, destes, 11 são professores. No ano de 2022 os alunos do colégio estavam estimados em 90 e são em sua maioria moradores de Encantadas.

A situação quanto ao saneamento na escola era precária, onde havia muitas fossas sépticas desativadas e outras funcionando com limite de lodo máximo. Em períodos chuvosos era comum constatar o vazamento das fossas, tornando o pátio do colégio insalubre.

Na Ilha do Mel as fossas são desativadas ao invés de esgotadas porque não há condições de se fazer a retirada deste lodo de forma adequada. No total, 10 fossas foram encontradas nessa situação: abandonadas, algumas com tampa quebrada abrigando vetores biológicos de doenças (FIGURAS 10, 11, 12 e 13).

Além das crianças brincando no pátio com essas condições, o esgoto corria pelas trilhas próximas à escola.

FIGURA 10 – FOSSAS ABANDONADAS (A)



FONTE: Andrieli Teixeira Ribas (2022).

FIGURA 11 – FOSSAS ABANDONADAS (B)



FONTE: Projeto Baías (2021).

FIGURA 12 – FOSSAS ABANDONADAS (C)



FONTE: Projeto Baías (2021).

FIGURA 13 – FOSSAS ABANDONADAS (D)



FONTE: Projeto Baías (2021).

2.13 ESCOLA DE CAMPO LUCY REQUIÃO

A escola de campo Lucy Requião está localizada distante em aproximadamente um quilômetro do trapiche de embarque/desembarque da comunidade de Nova Brasília. A escola possui 15 funcionários, destes, 8 são professores. No ano de 2022 os alunos do colégio estavam estimados em 35 e são moradores de Nova Brasília, Encantadas e outras comunidades da Ilha do Mel.

A situação do saneamento para a escola Lucy Requião não estava crítica como a encontrada em Encantadas, porém poderia se tornar sem uma intervenção. A escola possuía uma fossa rudimentar (FIGURA 14) e outra fossa de múltiplas camadas (FIGURA 15).

Este sistema não é adequado devido às características da ilha, sem a possibilidade de esgotamento do lodo acumulado na fossa, esta iria ser desativada e outra teria que ser construída. Além deste problema, como a ilha possui grandes volumes de chuva pode ocorrer a dispersão dos efluentes provenientes da fossa.

FIGURA 14 – FOSSA RUDIMENTAR DA ESCOLA LUCY REQUIÃO



FONTE: Fernando Augusto Silveira Armani (2023).

FIGURA 15 – FOSSA DE MÚLTIPLAS CAMADAS DA ESCOLA LUCY REQUIÃO



FONTE: Fernando Augusto Silveira Armani (2023).

3 RESULTADOS

3.1.1 Dimensionamento do sistema de tratamento da escola de campo Felipe Valentim

O total de pessoas atendidas pelo sistema na escola de campo Felipe Valentim é de 111 pessoas. Seguindo as recomendações da NBR 13.969 (1997), a contribuição diária por pessoa numa escola é de 50 L; logo, a contribuição total diária é de 5.550 L. Como cada biodigestor tem 1.300 L, a quantidade total necessária é de 4,3 biodigestores. Assim, o sistema foi projetado com 4 biodigestores de 1.300 L. Assim 4 biodigestores atendem a contribuição diária de 5.200 L. Os 350 L restantes correspondem ao uso diário de 7 pessoas.

Para o dimensionamento do TEvap, segundo a FIOCRUZ (2019), seria necessário uma área de 14 m² para complementar o sistema de tratamento. No entanto, o sistema foi dimensionado em 30 m², a fim de se atender um número maior de pessoas, caso aumente a quantidade de alunos na escola. Foram feitos dois tanques de 15 m² cada, possuindo 6 metros de comprimento, 2,5 m de largura e uma altura de 1,5 m.

Assim, o sistema da Escola Felipe Valentim é composto por quatro biodigestores de 1.300 L, dois tanques de evapotranspiração com 15 m² cada, uma caixa de gordura para a cozinha e um tanque de retenção de lodo para todos os biodigestores (FIGURA 16).

FIGURA 16 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ESCOLA DE CAMPO FELIPE VALENTIM



FONTE: A autora (2023).

3.1.2 Dimensionamento do sistema de tratamento da escola de campo Lucy Requião

O total de pessoas atendidas pelo sistema na escola de campo Lucy Requião é de 50 pessoas; logo, a contribuição total diária é de 2.500 L. Como a capacidade de cada biodigestor é de 1.300 L, a quantidade total necessária de biodigestores é de 1,9. Em Lucy Requião foram utilizados 2 biodigestores de 1.300 L, conferindo capacidade de tratamento a um número superior de pessoas que frequentam o colégio, duas pessoas a mais.

O TEvap foi projetado com área de 9 m², possuindo 6 metros de comprimento por 1,55 metros de largura e profundidade de 1,7 m. Assim, o sistema completo implantado na escola Lucy Requião tem capacidade de atender aproximadamente 7 pessoas a mais que o número de frequentadores atualmente.

Assim, o sistema da escola Lucy Requião é composto por dois biodigestores de 1.300 L, um TEvap de 9 m², um tanque de retenção de lodo para os dois biodigestores e um sumidouro para o tratamento de águas cinzas e também como extravasor do TEvap (FIGURA 17).

FIGURA 17 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ESCOLA DE CAMPO LUCY REQUIÃO



FONTE: A autora (2023).

3.2 PROJETO TÉCNICO

3.2.1 Projeto Técnico da escola de campo Felipe Valentim

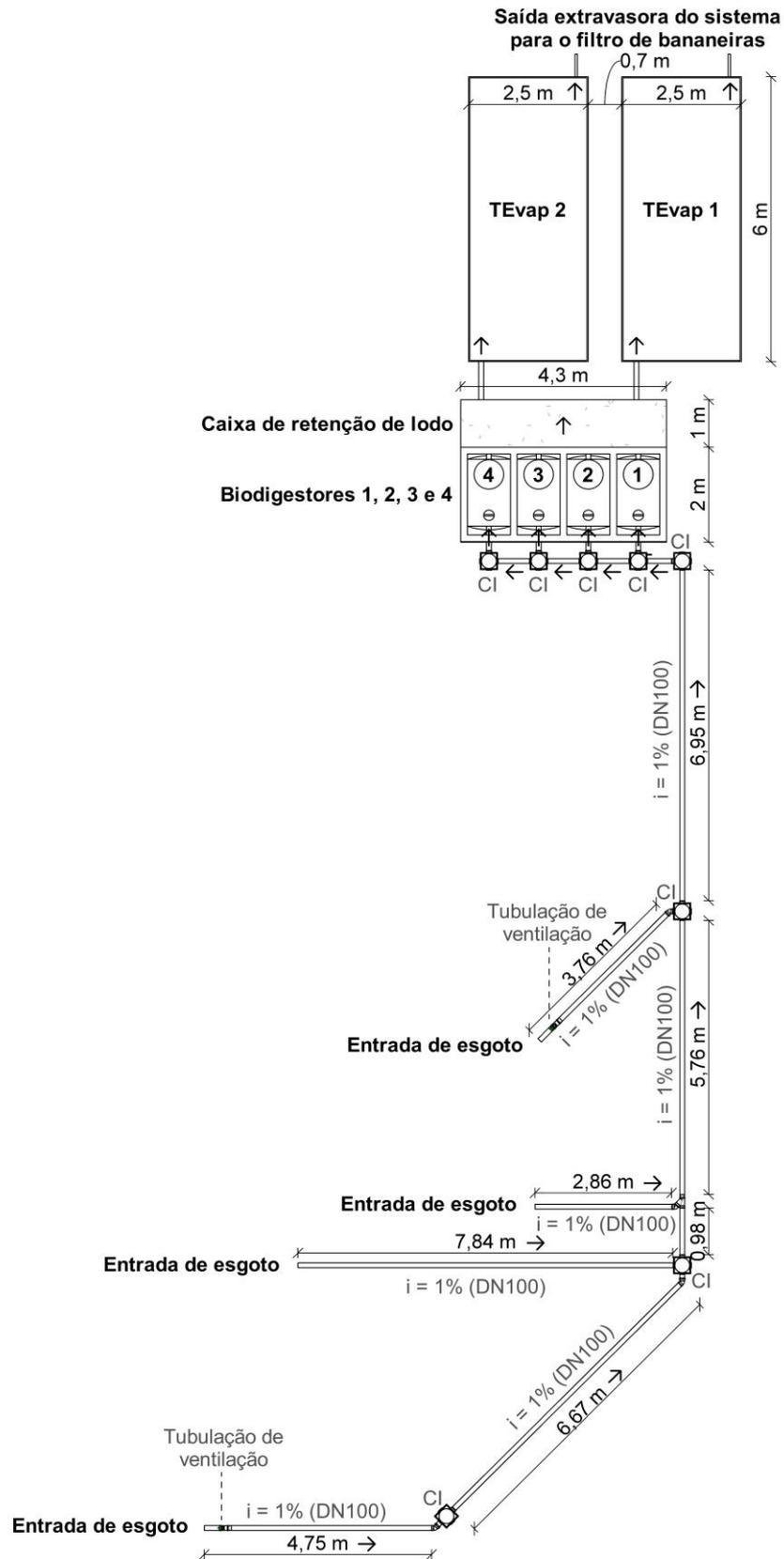
Foi elaborado um resumo detalhado dos materiais utilizados no sistema, incluindo suas respectivas quantidades e custos, os quais foram apresentados de forma clara e objetiva na Tabela 1. A FIGURA 18 exibe o projeto técnico do sistema de tratamento de esgoto da escola de campo Felipe Valentim.

TABELA 1 – MATERIAIS E CUSTOS DO SISTEMA DA ESCOLA FELIPE VALENTIM

<i>Material</i>	<i>Unidade</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor unitário (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>Tubulação Esgoto DN 100</i>	m	42	136,00	952,00
<i>Joelho Esgoto 45 DN 100</i>	UN	3	14,90	44,70
<i>Junção DN 100 x 50</i>	UN	2	22,91	45,82
<i>Tubulação Esgoto DN 50</i>	m	4	107,73	71,82
<i>Terminal de ventilação DN 50</i>	UN	2	12,42	24,84
<i>Joelho Esgoto 45 DN 50</i>	UN	2	13,00	26,00
<i>Caixa de inspeção</i>	UN	8	78,50	628,00
<i>Prolongador Caixa de Inspeção</i>	UN	3	45,50	136,50
<i>Tubo para drenagem</i>	m	10	8,50	85,00
<i>Manta bidim</i>	m ²	5	17,50	87,50
<i>Brita 1</i>	m ³	17,2	220,00	3.784,00
<i>Biodigestor</i>	UN	4	2.000,00	8.000,00
<i>Geomanta de PEAD 800 micras</i>	m ²	93	23,00	2.139,00
<i>Bloco (14 x 19 x 39 cm)</i>	UN	238	5,50	1.309,00
<i>Argamassa pronta (20 kg)</i>	UN	11	17,30	190,30
<i>Cimento</i>	UN	16	43,00	688,00
<i>Areia</i>	m ³	1,3	160,00	208,00
<i>Tapume (1,10 x 2,20 m)</i>	UN	6	101,60	609,60
<i>Sarrafo de pinus</i>	UN	10	2,30	23,00
<i>Tábua de pinus (20 cm)</i>	UN	8	14,90	119,20
<i>Prego</i>	Kg	1	24,20	24,20
<i>Aço 8 mm</i>	BARRA	4	75,50	302,00
<i>Aço 4,2 mm</i>	BARRA	4	26,80	107,20
<i>Malha pop 4,2 mm (2x3)</i>	UN	3	91,00	273,00
			Valor total (R\$)	19.878,68

FONTE: A autora (2023).

FIGURA 18 – PLANTA BAIXA DO SISTEMA DA ESCOLA FELIPE VALENTIM



FONTE: A autora (2023).

LEGENDA: (DN100) diâmetro nominal de 100 milímetros; ($i = 1\%$) inclinação igual a 1%

3.2.2 Projeto Técnico da escola de campo Lucy Requião

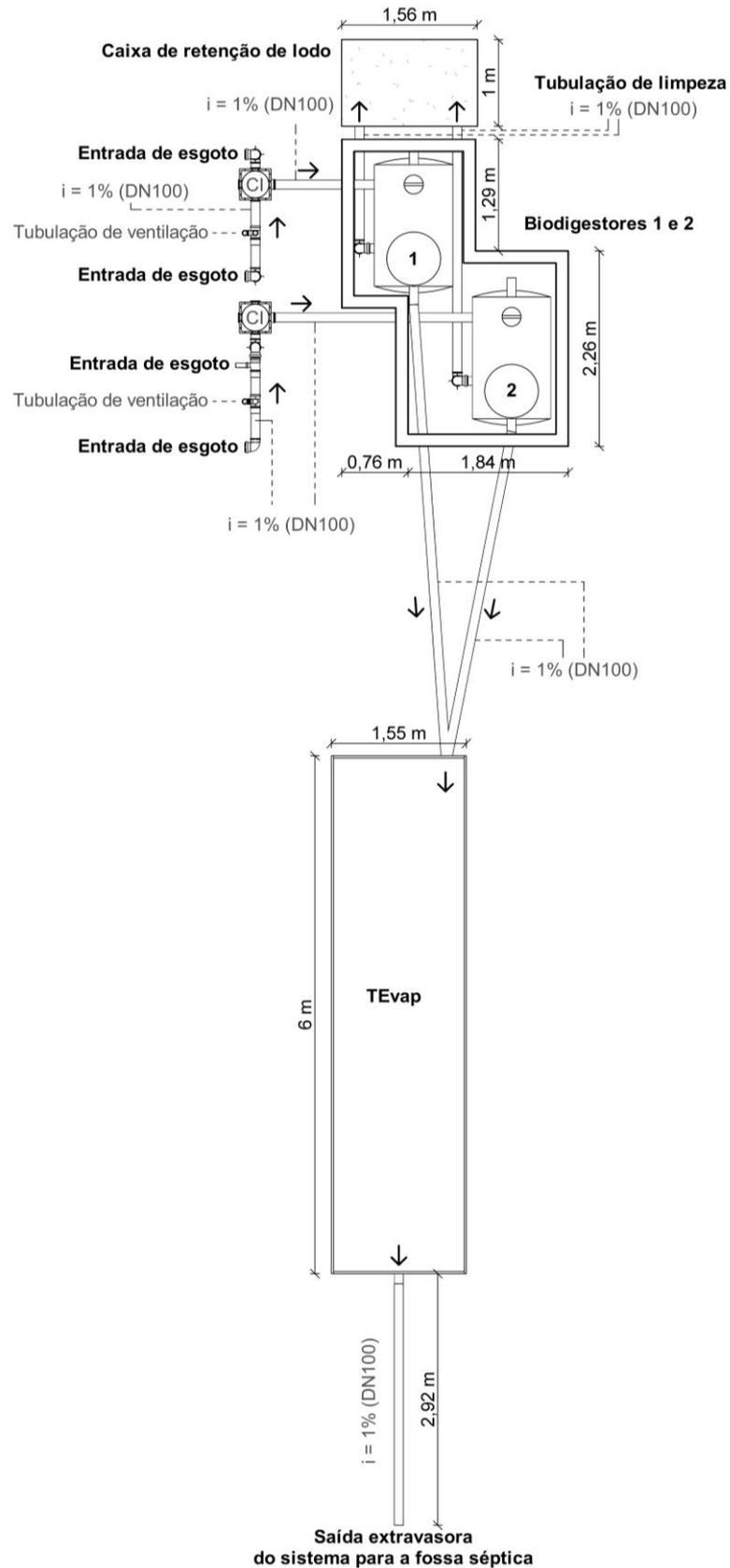
Foi elaborado um resumo detalhado dos materiais utilizados no sistema, incluindo suas respectivas quantidades e custos, os quais foram apresentados de forma clara e objetiva na tabela 2. A FIGURA 19 exibe o projeto técnico do sistema implantado na escola Lucy Requião.

TABELA 2 – MATERIAIS E CUSTOS DO SISTEMA DA ESCOLA LUCY REQUIÃO

<i>Material</i>	<i>Unidade</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor unitário (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>Tubulação Esgoto DN 100</i>	m	21,00	136,00	476,00
<i>Tê redução DN 100 x 50</i>	UN	3,00	22,80	68,40
<i>Joelho Esgoto 90 DN 100</i>	UN	9,00	12,00	108,00
<i>Tubulação Esgoto DN 50</i>	m	6,00	107,73	107,73
<i>Terminal de ventilação DN 50</i>	UN	2,00	12,42	24,84
<i>Joelho Esgoto 90 DN 50</i>	UN	4,00	10,57	42,28
<i>Caixa de inspeção</i>	UN	2,00	78,50	157,00
<i>Tube para drenagem</i>	m	6,00	8,50	51,00
<i>Manta bidim</i>	m	3,00	17,50	52,50
<i>Brita 1</i>	m ³	9,00	220,00	1.980,00
<i>Biodigestor</i>	UN	2,00	2.000,00	4.000,00
<i>Geomanta</i>	m ²	42,00	23,00	966,00
<i>Bloco (14 x 19 x 39 cm)</i>	UN	121,00	5,50	665,50
<i>Argamassa pronta (20 kg)</i>	UN	1,00	17,30	17,30
<i>Concreto pronto (20 kg)</i>	UN	81,00	22,70	1.838,70
<i>Tapume (1,10 x 2,20 m)</i>	UN	3,00	101,60	304,80
<i>Sarrafo de pinus</i>	UN	8,00	2,30	18,40
<i>Prego</i>	Kg	1,00	24,20	24,20
<i>Malha pop 4,2 mm (2x3)</i>	UN	1,00	91,00	91,00
<i>Cimento</i>	UN	1,00	43,00	43,00
			Valor total (R\$)	11.036,65

FONTE: A autora (2023).

FIGURA 19 – PLANTA BAIXA DO SISTEMA DA ESCOLA LUCY REQUIÃO



FONTE: A autora (2023).

LEGENDA: (DN100) diâmetro nominal de 100 milímetros; ($i = 1\%$) inclinação igual a 1%

3.3 DISCUSSÃO

Assim como já foi comentado neste texto, o princípio do tratamento do esgoto pelos sistemas implantados nas escolas é anaeróbio. Uma vantagem do sistema anaeróbio em relação ao aeróbio é a menor produção de lodo (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2016). Essa característica é especialmente vantajosa em locais remotos, sem acesso a empresas especializadas em esgotamento do lodo, tal como empresas "limpa fossa". Além disso, os sistemas implantados são mais econômicos em relação às tecnologias aeróbias, pois não requerem a utilização de energia elétrica com a injeção de oxigênio (NUVOLARI E MARTINELLI, 2013). Essas características foram determinantes na definição do método de tratamento anaeróbio, pois há dificuldade em se esgotar lodo na Ilha do Mel, bem como as escolas arcarem com os custos de implantação, operação e manutenção de todo o sistema eletrônico que as tecnologias aeróbias requerem.

Ainda em comparação com as tecnologias aeróbias, algumas desvantagens de se tratar esgoto por anaerobiose é o tamanho da área requerida, que deve ser grande o suficiente para suportar o tempo de detenção hidráulica da digestão anaeróbia e a produção de odor (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2016). Quanto à área necessária para o sistema, a configuração do sistema implantado foi definida para depender de uma menor área. Um TEvap, por exemplo, demandaria uma área de 222 m² (FIOCRUZ, 2019) para tratar o esgoto da escola Felipe Valentim se fosse a única solução adotada. Bem como, um Sistema Alagado Construído também com a mesma área, 222 m² (TONETTI *et al.*, 2018). Nota-se que ambas as tecnologias dependeriam de uma área significativamente maior do que a da solução implantada, que foi de 43 m² em Felipe Valentim.

Com relação ao odor produzido no sistema, este ocorre principalmente nos biodigestores. Assim, essas estruturas foram instaladas distantes das áreas de trânsito da escola e das janelas das salas de aula. Os biodigestores foram encapsulados em estruturas de concreto construídas para evitar a propagação do odor.

4 CONCLUSÃO

Todas as comunidades isoladas, onde se entende por isoladas aquelas que possuem difícil acesso, sendo este por terra ou pela baía, enfrentam uma maior dificuldade para lidar com questões relacionadas ao saneamento básico, afetando diretamente a saúde da população local.

Na Ilha do Mel o saneamento básico é deficitário, principalmente o tratamento de esgoto, pois não há um sistema coletivo de tratamento, dependendo somente de sistemas individuais implantados pelos residentes e comerciantes, onde muitas vezes estão erroneamente projetados ou são utilizadas soluções ineficientes ou inadequadas para a região.

Os sistemas de tratamento de esgoto implantados nas escolas da Ilha do Mel substituíram fossas rudimentares, que frequentemente tinham o esgoto aflorado pela superfície da escola. Foram adotadas três soluções em série, começando por biodigestor, em seguida o TEvap e por fim um filtro de bananeiras na escola Felipe Valentim e uma fossa rudimentar na escola Lucy Requião. Essas três soluções juntas otimizaram a área demandada para o tratamento, atendendo toda a quantidade de usuários das escolas segundo as recomendações técnicas publicadas em normas ou instituições públicas.

Os sistemas implantados também foram definidos para facilitar a replicação pela comunidade, em que os biodigestores são de fácil instalação e de amplo acesso nas empresas de venda de materiais de construção civil. Quanto ao TEvap, estes podem funcionar como estruturas de desenvolvimento de conteúdo educativo às crianças, podendo ser explorados assuntos relacionados ao saneamento básico, ciclo da água, processos biológicos, entre outros. Além disso, sobre o TEvap podem ser plantadas espécies vegetais que dão frutos, tal como o vegetal mais recomendado para o mesmo, a bananeira.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.969: Tanques sépticos, Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8.160: Sistemas prediais de esgoto sanitário, projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6.118: Projeto de estruturas de concreto, procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.868-1: Alvenaria estrutural parte 1, projeto. Rio de Janeiro, 2020.
- ATLAS Esgotos. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- BRASIL, Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de saneamento básico**. Brasília, DF. 2015.
- CORDEIRO, B. S. A gestão de lodos de fossas sépticas: uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2010.
- CUNHA, D. O; SEVERIANO, O. O uso do tratamento de esgoto sustentável: o estado da arte das Wetlands. Revista de Tecnologia Aplicada, v. 7, n. 3, p.20-35. set/dez 2018.
- EMATER-DF. Saneamento Rural, Tanque de Evapotranspiração. Brasília, DF., 2 p. 2019.
- EMATER-PR. Manual de biogás. Curitiba, 1979.

EMATER-MG. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=25407. Acesso em: 10 dez. 2022.

EMBRAPA. Comunicado técnico: Efeitos do lodo de esgoto aplicado na cultura de bananeiras “Grande Naine”. Jaguariúna, 2008.

FERNANDES FILHO, A. C. et al. Utilização de biodigestores para geração de energia elétrica a partir de dejetos de suínos no Brasil. *Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation*, São Paulo, v. 6, p. 67-84, jan-dez. 2018.

FIOCRUZ. Caminhos e cuidados com a água - Faça você mesmo seu sistema de Saneamento Ecológico. Paraty (RJ). 52 p. 2019.

FORESTI, E. Tratamento de esgoto. 2013.

GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. 30 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo grande (MS), 2009.

GASPAR, R. M. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2003.

IBGE. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>. Acesso em: 26 dez. 2022.

IBGE. Disponível em: <https://ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 01 jan. 2023.

IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranagua/historico>. Acesso em: 11 jan. 2023.

IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuais**. São Paulo. Edgard Blücher LTDA. 1966.

JAKOBSEN, S. T. Aerobic decomposition of organic wastes I. Stoichiometric calculation of air change. **Resources, Conservation and Recycling**, v.12, n.3-4, p. 165-175, 1994.

LIMA, R. F. S. Potencialidades dos wetlands construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras. 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2016.

Luxtel. Manual Informativo Biodigestor. 2022.

MALINOWSKY, C. Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2016.

MARQUES, M. C. M.; BRITZ, R. M. História natural e conservação da Ilha do Mel. Curitiba: Editora UFPR, 2005.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. Sistemas sustentáveis de esgoto: Orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura. Revista Sistema Sustentáveis de Esgoto, São Paulo, 2. ed., p. 10-364. 2017.

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2011.

PATRIMÔNIO CULTURAL PARANÁ. Disponível em: <https://www.patrimoniocultural.pr.gov.br/Bem-Tombado/Ilha-do-Mel-Paranagua>. Acesso em: 01 jan. 2023.

POÇAS, C. D. Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade), Faculdade de Saúde Pública, São Paulo (SP), 20.

PRATA, R. C. C. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1144-1155. 2013.

PROENÇA, C. A; MACHADO, G. C. X. M. P. Biodigestores como tecnologia social para promoção da saúde: Estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. Saúde em Redes, v. 4, n. 3, p.87-99. set/dez 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Guidelines on sanitation and health. Geneva, 2018.

SILVA, A. S. Determinação de condicionantes para uso do tanque de evapotranspiração como elemento de saneamento rural em Minas Gerais. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ), 2016. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4444/11143007_SILVA-BAda_TCC_29-08-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 abr. 2022.

SEZERINO, P. H. S. *et al.* Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151-158, jan./mar. 2015.

SONG, Z. *et al.* Seasonal and Annual Performance of a Full-scale Constructed Wetland System for Sewage Treatment in China. *Ecological Engineering*, v. 26, p. 272-282, mar. 2006.

TCHOBANOGLIOUS, G. *et al.* Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Editora AMGH, Porto Alegre, 5. ed., 1984 p. 2016.

TONETTI, A. L. *et al.* Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas referencial para a escolha de soluções. Biblioteca Unicamp, Campinas, 1 ed., 142 p. 2018.

VIARIO construshow. Disponível em: <https://viarioconstrushow.com.br/produto/bloco-concreto-14x19x39/>. Acesso em: 01 dez. 2022.