

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTAL DO PARANÁ - CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CATHERINE NOVACOVSKI

TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO:
PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DA ÁREA E
ESTUDO DE CASO NA ILHA DO MEL - PR

PONTAL DO PARANÁ

2022

CATHERINE NOVACOVSKI

TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO:
PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DA ÁREA E
ESTUDO DE CASO NA ILHA DO MEL - PR

Trabalho apresentado como requisito parcial obrigatório para obtenção do diploma no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Campus Pontal do Paraná - Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof^oDr. Fernando Augusto Silveira Armani

PONTAL DO PARANÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Avenida Deputado Anibal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: 4135118600 - <http://www.ufpr.br/>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

Catherine Novacovski

“TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE SUA ÁREA E ESTUDO DE CASO NA ILHA DO MEL - PR”

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Prof^a. Dra. Tamara Simone Van Kaick - UTFPR

Prof^a. Dra. Amanara Potykyta de Sousa Dias Vieira - CPP-CEM/UFPR

Prof^o Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - CPP-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 13 de Maio de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI, COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUAÇÃO (CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA) - PP**, em 15/09/2022, às 08:36, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **AMANARA POTYKYTA DE SOUSA DIAS VIEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/09/2022, às 12:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4893390** e o código CRC **61F6FE40**.

Rua XV de Novembro, 1299 – Centro – CEP: 80.060-000 – Curitiba-PR
Fone (41) 3360-5187 – E-mail: contratos@ufpr.br

Dedico este trabalho aos meus avós Carlos e Edi, que infelizmente não puderam me ver completando esta etapa, mas fizeram o impossível para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Catiana, meus avós Edi e Carlos por sempre me darem todo o amor e suporte que precisei. Agradeço minha tia Ana Carla, meu tio Cleber N. e minha prima Heloíse por todo apoio, amor e carinho ao longo da vida.

Agradeço minhas amigadas Matilde, Carina, Sara, Aldrey, Euclair, Maíra, Mônica, Cecília, Thaila, Taís, Laura, Maria N., Ana Beatriz, Mandy, João Hencer, João Vitor, Renata, Luciana, Irma, Dalila, Fran, Evandro, Lis e Ângela por, além de estarem perto nos momentos felizes, me apoiarem em momentos difíceis. Um agradecimento em especial à Carina que me emprestou seu notebook quando o meu estragou na reta final deste trabalho, e à Maíra pelos momentos compartilhados e as conversas de apoio.

Agradeço aos meus professores que fizeram parte dessa jornada, em especial aos que ensinaram para além das matérias, ensinaram sobre a vida: Armani, Amanara, Roberta, Alexandre, Pedro, Hedda, Kirinus, Juliana, Sílvia e Ricardo.

Agradeço à minha psicóloga, Vera, que foi um anjo na minha vida e cujo trabalho foi essencial no processo para que eu acreditasse em mim mesma.

Agradeço aos meus irmãos, à Michelly, vô Júlio, vó Elza e vó Neuza por conseguirem resgatar minha felicidade nos momentos mais complicados.

Agradeço aos meus nenéns de outras espécies que ainda estão comigo, Frida, Marcela, Kira e Zeus, e aos que também já trouxeram muita felicidade à minha vida mas não estão mais presentes: Alexandre, Gaia, Virgínia, Lua, Petit, Niki e Ursa.

Agradeço aos colegas Isabel Figueiredo e Adriano Tonetti pelo envio dos dados sobre a altura da água no TEvap que analisaram. Infelizmente neste trabalho não deu tempo de implementar o que era desejado com esses dados, mas agradeço a cooperação.

Agradeço ao Projeto Baías - Educação e Saneamento pela oportunidade de poder ter um grande enriquecimento técnico ao participar da construção do sistema alternativo de esgoto na escola de Encantadas, porque assim pude acompanhar o ciclo completo da implantação de um projeto de engenharia.

Agradeço à Fundação Araucária e à UFPR pelo financiamento desse estudo.

Sobre Sucesso

[...]

*Sucesso é ter consciência
que sucesso é caminhada
e que, no fim, a chegada
é só uma consequência.
O sucesso é paciência,
pois toda vez que tropeço
me levanto e recomeço
com o dobro da vontade.
Quem não tem felicidade
não sabe o que é sucesso.*

*Sucesso é viver a vida
que é sua e não se empresta,
seja grã-fina ou modesta,
prazerosa ou dolorida,
seja curta ou comprida,
ninguém troca esse ingresso.
Quem nasceu e teve acesso
também tem capacidade.
Quem não tem felicidade
não sabe o que é sucesso.*

*Sucesso é passar pra frente
sem passar perna em
ninguém.*

*É subir, chegar ao topo
sem pisar em outro alguém.*

*Sucesso não é hotel
pra pagar e se hospedar.
Sucesso é casa de amigo*

que lhe hospeda sem cobrar.

*Sucesso não é troféu
pra enfeitar sua estante.
Sucesso é saber perder
e seguir sempre adiante.*

*Sucesso não é diploma
que o tempo pode estragar.
Sucesso é conhecimento,
é ter algo pra ensinar.*

*Sucesso não é o carro
parado lá na garagem.
Sucesso é pegar a estrada
e aproveitar a viagem.*

*Sucesso não é dinheiro,
é ter tempo pra gastar.
Nem contar nota de cem
sem ter alguém pra contar.*

*Sucesso não é a fama,
sucesso vai muito além.
É ser fã de você mesmo
por ter feito sempre o bem.*

*Sucesso não tem a ver
com o que se tem agora.
Sucesso é o que não se acaba
quando a gente vai embora.*

[...]

RESUMO

O Tanque de Evapotranspiração (TEvap) é um sistema alternativo de tratamento de águas do vaso sanitário recomendado pela FUNASA com área padrão de $2 m^2$ por pessoa utilizando o sistema. Neste trabalho foi criado um modelo matemático para avaliar a área superficial necessária para atender o balanço hídrico do TEvap diariamente, de acordo com as condições de construção e uso do sistema, avaliando a taxa de extravasamento através de histogramas. Além disso, são plotados gráficos com as taxas de precipitação e evapotranspiração de referência de cada local. O trabalho se divide em duas partes, sendo a primeira focada no modelo matemático e a segunda, no projeto de um TEvap para a Ilha do Mel. Na primeira parte, inicialmente, foram comparados os resultados do modelo com os resultados de quatro estudos de TEvap em diferentes locais do Brasil (Campo Grande-MT, Madalena-CE, Campinas-SP e Visconde do Rio Branco-MG). Posteriormente, os dados de entrada de uso e construção do sistema foram padronizados para todos os locais a fim de poder compará-los entre si, inclusive para a Ilha do Mel - PR, onde não havia estudo. Na etapa de avaliação da precipitação e evapotranspiração, destacam-se os resultados de Madalena e da Ilha do Mel, que apresentam comportamentos opostos entre si para esses parâmetros: enquanto em Madalena a média diária, em mm , é de, respectivamente, 1,53 e 5,52, para a Ilha do Mel, é de 6,04 e 3,61. Ao avaliar as áreas obtidas para o TEvap pelo modelo matemático nas diferentes cidades, o principal resultado foi que a área necessária varia conforme as condições climáticas do local. Conclui-se, portanto, que a padronização empírica de $2 m^2$ por pessoa pode não atender ao balanço hídrico necessário em todas as regiões do Brasil. Na segunda parte, um TEvap foi projetado para a estrutura escolar da comunidade de Encantadas (Ilha do Mel). Foi necessário separar apenas um dos três conjuntos de banheiros do ambiente escolar para direcioná-lo ao TEvap e torná-lo de uso exclusivo para fezes, devido à área demandada para atender toda a escola ser maior que a área disponível para construção do sistema. O sistema projetado possui uma área superficial total de $60 m^2$ dividido em dois tanques de $12 \times 2,5 m$, atendendo ao uso diário de 20 pessoas. Concluiu-se que sua viabilidade de implantação está atrelada a um projeto de educação ambiental eficaz. Por se tratar de uma ilha, outra conclusão é sobre a escolha dos materiais, que deve ponderar também a logística dos mesmos nessa decisão. Além disso, foi relatado o impacto negativo da imposição das Unidades de Conservação sobre a população da Ilha do Mel desde a década de 70, concluindo-se que ela culminou, em conjunto com a falta de investimento público no saneamento básico, no problema que há atualmente nesse setor.

Palavras-Chaves: Tanque de Evapotranspiração, modelagem matemática, Python, equação de Penmann-Montheit, Ilha do Mel.

ABSTRACT

The Evapotranspiration Tank (TEvap) is an alternative system for treating toilet water recommended by FUNASA with a standard area of $2 m^2$ per person using the system. In this work, a mathematical model is created to evaluate the surface area needed to satisfy the daily TEvap water balance, according to the conditions of construction and use of the system, generating histograms and thus assessing the extravasation rate. In addition, graphs show the precipitation and reference evapotranspiration rates for each location. The work is divided into two parts, the first focused on the mathematical model and the second to design a TEvap for Ilha do Mel. In the first part, initially, the results of the model were compared with the results of four studies of TEvap in different locations in Brazil (Campo Grande-MT, Madalena-CE, Campinas-SP and Visconde do Rio Branco-MG). The input data of system usage and construction was standardized for all locations in order to be able to compare them, including Ilha do Mel - PR, where there was no study. As for the precipitation and evapotranspiration, the results of Madalena and Ilha do Mel stand out, presenting opposite behaviors: while in Madalena the daily average, in *mm*, is 1.53 and 5.52, respectively, for Ilha do Mel, it is 6.04 and 3.61. When evaluating the areas obtained for the TEvap, by the mathematical model, in the different cities, the main result was that the required area varies according to the conditions local climate, concluding that the empirical standardization of $2 m^2$ per person can not satisfy the required water balance in all regions. In the second part, a TEvap was designed for the school structure of the community of Encantadas. It was necessary to separate only one of the three sets of bathrooms in the school environment to direct it to the TEvap, making it exclusively used for stool, due to the area required to serve the entire school being greater than the area available for construction of the system. The projected TEvap has a total surface area of $60 m^2$ divided in two $12 \times 2.5 m$ tanks, serving the daily use of 20 people. It was concluded that its implementation viability is linked to an effective environmental education project. Another conclusion, due the fact it is an island, is about the choice of materials, which must also consider their logistics in this decision. Furthermore, it was reported the negative impact of the imposition of Protected Areas on the population of Ilha do Mel since the 70's, concluding that it has culminated, with the lack of public investment in basic sanitation, the problem of sanitary depletion that currently exists.

Key-words: Evapotranspiration Tank, mathematical modeling, Python, Penmann-Montheit equation, Ilha do Mel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DESENHO REPRESENTATIVO DE TEVAP COM VISTA EM CORTE	22
FIGURA 2 – ESQUEMÁTICO DE UM TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO - VISTA LATERAL	23
FIGURA 3 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)	43
FIGURA 4 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)	43
FIGURA 5 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE MADALENA - CE (2008 - 2021) . . .	44
FIGURA 6 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE MADALENA - CE (2008 - 2021) .	45
FIGURA 7 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021) . . .	46
FIGURA 8 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021) . .	47
FIGURA 9 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)	47
FIGURA 10 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)	48
FIGURA 11 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA ILHA DO MEL - PR (2008 - 2017)	48
FIGURA 12 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA ILHA DO MEL - PR (2008 - 2021)	49
FIGURA 13 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)	50
FIGURA 14 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE MADALENA - CE (2008 - 2021) .	50
FIGURA 15 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021) . .	51
FIGURA 16 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)	51
FIGURA 17 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPO GRANDE/MS COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)	53

FIGURA 18 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE MADALENA/CE COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)	54
FIGURA 19 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPINAS/SP COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)	54
FIGURA 20 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE VISCONDE DO RIO BRANCO/MG COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)	55
FIGURA 21 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DA ILHA DO MEL/PR COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2017)	55
FIGURA 22 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL E SUAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	63
FIGURA 23 – COMUNIDADES DA ILHA DO MEL	64
FIGURA 24 – USO DO SOLO DA ILHA DO MEL EM 1981	65
FIGURA 25 – FOTO DO TRABALHO DE BRUNA HAKIM MOSTRANDO ESGOTO DA ESCOLA ESCORRENDO PELA TRILHA	68
FIGURA 26 – PARTE DA EQUIPE DO PROJETO BAÍAS - EDUCAÇÃO E SANEAMENTO	69
FIGURA 27 – FOSSA DESATIVADA SENDO ABERTA E BARATAS SAINDO DE DENTRO	70
FIGURA 28 – GINCANA SOBRE SANEAMENTO BÁSICO	71
FIGURA 29 – DESENHO DE UM TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO - VISTA FRONTAL	71
FIGURA 30 – ESQUEMÁTICO DA SEQUÊNCIA METABÓLICA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA	72
FIGURA 31 – PROPOSTA DE ESPÉCIES PARA TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO INSTALADO NA ILHA DO MEL - PR	73
FIGURA 32 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 1	74
FIGURA 33 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 2	75
FIGURA 34 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 3	76
FIGURA 35 – PROFESSOR ALEXANDRE BERNARDINO FAZENDO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO	76
FIGURA 36 – MELHOR LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DO TEVAP	78
FIGURA 37 – HISTOGRAMA DE ÁREAS PARA A ESCOLA DE ENCANTADAS	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	40
TABELA 2 – RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA DOS ESTUDOS	41
TABELA 3 – RESUMO DOS RESULTADOS DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA CADA LOCAL	42
TABELA 4 – RESUMO DA PORCENTAGEM DE TEMPO SEM EXTRAVASAMENTO PARA ÁREA DE $7 M^2$	53
TABELA 5 – RESUMO DA PORCENTAGEM MÍNIMA DE EXTRAVASAMENTO PARA CADA LOCAL	53
TABELA 6 – PORCENTAGEM DO VOLUME DE VAZIOS DOS MATERIAIS	77
TABELA 7 – VOLUMES DE VAZIOS DAS CAMADAS	80
TABELA 8 – QUANTIA DE MATERIAIS NECESSÁRIA PARA A CONSTRUÇÃO DE TEVAP DE $60m - 2$ DE $12 m \times 2,5 m$	82

SUMÁRIO

I	Modelagem Matemática do Tanque de Evapotranspiração	14
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo Principal	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO TEÓRICO EMPÍRICA	18
2.1	Saneamento básico no Brasil	18
2.1.1	Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) e a definição de 'áreas rurais'	18
2.2	Soluções alternativas de tratamento de esgoto	19
2.2.1	Tecnologias Sociais	20
2.3	Permacultura	21
2.4	Tanque de Evapotranspiração TEvap	21
2.4.1	Equação da área para TEvap	23
2.5	Evapotranspiração de Referência	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Descrição do Modelo	25
3.1.1	Módulo 1 - Organização dos dados Meteorológicos	25
3.1.2	Módulo 2 - Evapotranspiração Diária de Referência (Penman-Monteith)	25
3.1.2.1	O modelo de Penman-Monteith	26
3.1.3	Módulo 3 - Cálculos Mensais	30
3.1.4	Módulo 4 - Módulo principal	30
3.1.4.1	Balanço Hídrico no TEvap	30
3.1.4.2	Histogramas	32
3.2	Estudos pré-existentes e caracterização dos locais de estudo	32
3.2.1	Campo Grande - MS	33
3.2.1.1	Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste TCC	34
3.2.2	Madalena - CE	34
3.2.2.1	Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho	36
3.2.3	Campinas - SP	36
3.2.3.1	Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho	36
3.2.4	Visconde do Rio Branco - MG	37
3.2.4.1	Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho	37
3.2.5	Ilha do Mel (Paranaguá) - PR	38
3.2.5.1	Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Comparações da Evapotranspiração de referência e Precipitação de cada local	42

4.2	Comparação de áreas do modelo com as áreas dos estudos	49
4.3	Comparação das áreas de cada local com dados padronizados	52
5	CONCLUSÃO	56
II	Estudo de Caso na Ilha do Mel	58
6	INTRODUÇÃO	59
7	REVISÃO TEÓRICO EMPÍRICA	61
7.1	Breve história das Unidades de Conservação	61
7.2	Caracterização da Área de Estudo - Ilha do Mel	62
7.3	O ambiente escolar da comunidade de Encantadas	67
7.4	O Tanque de Evapotranspiração	68
8	MATERIAIS E MÉTODOS	74
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
10	CONCLUSÃO	83
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXO 1 - Planta da Escola com Levantamento Planialtimétrico e representação do Tanque de Evapotranspiração	93
	ANEXO 2 - Representação da Vista Superior do TEvap	95
	ANEXO 3 - Representação da Vista Frontal do TEvap	97
	ANEXO 4 - Representação da Vista Lateral do TEvap	99

Parte I

Modelagem Matemática do Tanque de Evapotranspiração

1 INTRODUÇÃO

Os impactos das atividades humanas no meio ambiente não são novidade, diariamente notamos alterações na biosfera que afetam nosso cotidiano, tal como as mudanças climáticas, cujas mudanças nos regimes hidrológicos tanto vêm tendo seus impactos estudados (SILVA; SANTOS FRANÇA, 2018) quanto vêm sendo previstos (BARROS; ALBERNAZ, 2014), e trarão mudanças que requerirão medidas adaptativas de todos os seres. Desse modo, hoje mais do que nunca anteriormente, é necessário que as ações tomadas pelo ser humano passem a ter um cunho adaptativo (BARAKAT; CAMPOS, 2019), além de buscarem o máximo aproveitamento dos recursos naturais de modo sustentável. Como a água é um elemento essencial para o desenvolvimento humano, seja físico, social ou econômico, alterações na disponibilidade de água podem ser desastrosas para todos (GRIGOLETTO et al., 2016). Portanto, ações que visem a máxima economia e aproveitamento desse recurso natural tornam-se primordiais. Em nível mundial, a falta de infraestrutura sanitária incorre em uma das principais fontes de poluição dos recursos hídricos: a disposição inadequada de esgoto doméstico nesses ambientes (ANA, 2013). Em 2010, em sua Assembleia Geral, a Organização das Nações Unidas (ONU) passou a considerar esgotamento sanitário um direito humano essencial para gozar de uma vida plena, se unindo ao direito à água limpa e segura (UN, 2010). No entanto, no Brasil, segundo dados do SNIS 2019, 54,1% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto, sendo que 78,5% desse esgoto coletado recebe tratamento, e, com base no total de esgoto gerado, apenas 49,1% é tratado adequadamente (SNS, 2020).

Em se tratando da legislação brasileira, de acordo com a Lei 11.445/07 (BRASIL, 2007), mesmo que a universalização do acesso e efetiva prestação do serviço seja um princípio fundamental dos serviços públicos de saneamento básico, historicamente os ambientes rurais são esquecidos nessas políticas públicas (FUNASA, 2019). Este não é um cenário exclusivo de algum estado ou região, mas um panorama que se repete em todas as áreas rurais do país pois é consequência das políticas adotadas ao longo do séc. XX, que sempre priorizaram as áreas urbanas (FUNASA, 2019). Esse esquecimento não ocorre apenas com o saneamento básico, mas também se repete com diversos serviços públicos básicos, tal como saúde, educação, alimentação, segurança, transporte público, energia, meio ambiente, assistência técnica e extensão rural (FUNASA, 2019).

Diante do exposto, é urgente priorizar ações sustentáveis e despender maior atenção aos ambientes rurais para que as populações desses locais tenham acesso ao saneamento básico com soluções pensadas especificamente para cada comunidade e,

assim tenham a qualidade de vida melhorada.

A temática central deste trabalho é o esgotamento sanitário. Como já foi explicado anteriormente, as regiões rurais possuem déficits em diversas áreas. Quando se coloca o esgotamento sanitário em foco, segundo dados do ano de 2018 do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), apenas 30% dos domicílios rurais são atendidos por rede coletora ou fossa séptica para excretas ou esgotos sanitários (FUNASA, 2019).

O enfoque deste trabalho é o sistema alternativo de tratamento de esgoto chamado Tanque de Evapotranspiração, que surgiu através da recriação sistemas já existentes na natureza como forma de aproveitar os ciclos naturais, visando o melhor aproveitamento de recursos ambientais. Dependendo de sua construção, ele também pode ser uma forma de destinação de resíduos cujo destino são mais complicados, tal como Resíduos da Construção Civil e Pneus. Esse método de tratamento, por ser um tanque impermeabilizado, evita a contaminação por esgoto da água do lençol freático da localidade onde é instalado.

Este trabalho está dividido em duas partes, que se complementam. Na primeira há a descrição do modelo matemático criado, enquanto na segunda parte há uma aplicação desse modelo para o dimensionamento de um TEvap em uma escola da Ilha do Mel.

Este trabalho se relaciona com alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030: 3 - Saúde e Bem-Estar, 6 - Água potável e saneamento, 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e 12 - Consumo e Produção Responsáveis. Esse trabalho tem correlação com as seguintes metas brasileiras dos ODS: 3.9.2. "Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo.", todas as metas do Objetivo 6 (Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos), 11.1 "Até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas", 11.a "Apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento", 11.b "Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis", 12.2. "Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais." e 12.5. "Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso." (ONU, 2015).

1.1 OBJETIVOS

Aqui estão descritos os objetivos do trabalho como um todo, tanto a Parte I como a Parte II.

1.1.1 Objetivo Principal

Desenvolver um modelo matemático capaz de avaliar o balanço hídrico de Tanque de Evapotranspiração em qualquer localidade que possua dados meteorológicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as taxas de precipitação e evapotranspiração de cinco localidades utilizando o modelo;
- Comparar o resultado do modelo criado com dados dos trabalhos já produzidos sobre TEvap's nas diferentes localidades;
- Comparar o comportamento de um TEvap hipotético padrão entre as localidades definidas;
- Avaliar a viabilidade, dimensionamento e as condições da instalação de um Tanque de Evapotranspiração na Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim, mesmo local onde também funciona o Colégio Estadual Felipe Valentim, localizada na comunidade de Encantadas, na Ilha do Mel, no litoral paranaense.

2 REVISÃO TEÓRICO EMPÍRICA

2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

O saneamento básico leva esse nome por se tratar de serviços essenciais para promover a saúde e melhorar a qualidade de vida humana, bem como preservar o meio ambiente. Segundo a Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB), de número 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (atualizada pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020b)), o saneamento básico envolve o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana, o manejo de resíduos sólidos, e a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007). A principal meta desta lei é a universalização do saneamento básico no Brasil, ou seja, a universalização de todas as vertentes anteriormente citadas, e não apenas um ou alguns. Assim como ressalta Alochio (ALOCHIO, 2007), a universalização é diferente de generalidade dos serviços, pois, enquanto a última se traduz na simples criação dos serviços para toda a população, a primeira é definida como o “acesso efetivo dos serviços” por toda a população.

2.1.1 Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) e a definição de 'áreas rurais'

Para atingir as metas da LDNSB, em 2014 foi criado o principal instrumento previsto nessa lei: o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). O PLANSAB possui metas, estratégias e programas para o Saneamento Básico no país (SNSA, 2014). A almejada universalização do saneamento básico somente se torna possível de ser atingida quando a população de áreas rurais também é inserida como prioridade nas políticas públicas de saneamento básico, diferentemente do que vinha acontecendo no Brasil, problema esse que embasou a proposta de criação do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). Desde a primeira versão do PLANSAB, em 2014, foi proposta a criação do PNRS, mas ele foi efetivamente finalizado e divulgado em dezembro de 2019.

Enquanto 61,9% da população urbana brasileira é atendida por sistema de coleta de esgoto, conforme dados do Diagnóstico do SNIS (SNS, 2020), apenas 30% dos domicílios rurais são atendidos por rede coletora ou fossa séptica, de acordo com o PNSR (FUNASA, 2019).

O saneamento básico rural tem muito mais especificidades que o saneamento básico urbano, pois cada comunidade tem suas próprias características ambientais, culturais, financeiras e estruturais (OLIVEIRA; SPERLING, 2011). Então isso deve ser levado em consideração na formulação de políticas públicas e de soluções para

essas localidades. Foi com essa visão que o PNSR foi elaborado. Ele começou a ser criado em 2014 de modo colaborativo, contando com a participação de diversos atores da sociedade, sob a coordenação da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Grupo da Terra (GT). Com a sua divulgação oficial em dezembro de 2019, o PNSR, além de trazer a realidade das áreas rurais para as discussões, traçou o planejamento e as metas das políticas públicas de saneamento para essas localidades, e trouxe a definição para um ponto de muita confusão até o momento: o conceito de 'áreas rurais'.

Em 2018 a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção São Paulo (ABES - SP), chegou a designar por “comunidades isoladas” os “núcleos habitacionais que não estão conectados aos serviços públicos de saneamento básico, comunidades que não são atendidas pelos serviços públicos de saneamento básico”, independentemente de estarem próximas à áreas urbanas ou não (TONETTI et al., 2018). Essa é uma definição muito útil do ponto de vista do saneamento, mas não conceitua “área rural”, cujo conceito traz diversas contraposições. Wanderley designa que “rural” é um conceito mutável conforme a região e época, além de estar interligado com diversos fatores, como ambientais, sociais, culturais, portanto é complexo de ser definido com exatidão (N. B. WANDERLEY, 2000). Como consequência das dificuldades inerentes para conceituar esse termo, o PNSR identifica falhas na definição de área rural pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no que tange a “elaboração e aplicação de políticas públicas” (ROLAND et al., 2019), então reclassifica o conceito do IBGE. Portanto, a partir do PNSR, “área rural” passa a ter um conceito fixo na visão do saneamento: além dos aglomerados e zona rural comumente utilizados, agora também inclui áreas não urbanizadas de cidade ou vila, as áreas urbanas isoladas e as áreas urbanas cuja densidade demográfica é inferior a 605 hab/km² e possuam em sua vizinhança ao menos um outro setor rural (FUNASA, 2019).

2.2 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Quando se trata de áreas rurais afastadas e/ou isoladas, como é o caso da maioria das ilhas do litoral Paranaense, as soluções coletivas de saneamento tornam-se financeiramente e/ou estruturalmente inviáveis. Além disso, praticamente todas as ilhas do litoral paranaense se encontram em Unidades de Conservação (UCs), o que torna muito mais complexa a realização de obras pois, de acordo com a Lei 9.985/2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), elas devem ser aprovadas pelo órgão gestor da UC (BRASIL, 2000). Como possibilidade de solução para isso, abordam-se as soluções individuais de saneamento básico, que visam atender as necessidades sanitárias de um ou pequenos grupos de pessoas/famílias/casas.

Este trabalho tem como foco a parte do esgotamento sanitário, dentro do saneamento básico, nesse contexto também chamado de soluções alternativas de tratamento de esgoto. Outra nomenclatura que pode ser utilizada nesse caso é ‘sistema estático de esgotamento sanitário’, que se caracteriza pelo fato dos dejetos serem dispostos no local onde são gerados, diferenciando-se do ‘sistema dinâmico’, onde os dejetos são transportados até outro local.

Por muito tempo a fossa séptica foi e vêm sendo adotada como indicação de método alternativo padrão de esgotamento sanitário em todas as localidades que não possuem acesso a uma rede coletora de esgoto, entretanto essa padronização não leva em conta as especificidades de cada ambiente, tal como a dinâmica social e limitações das localidades, questão essa que hoje é percebida como essencial para que haja sucesso na aceitação, funcionamento e manutenção das instalações sanitárias (FUNASA, 2019). Além do mais, geralmente a NBR 7229, que padroniza o projeto, a construção e operação de fossas sépticas, não é adotada. É muito comum a utilização de fossas rudimentares ¹, que são simplesmente buracos na terra onde são lançados os dejetos que saem do vaso sanitário, sem nenhum tipo de tratamento prévio nem impermeabilização (PARANÁ IAP, 2012).

2.2.1 Tecnologias Sociais

Com o objetivo de trazer soluções a essa problemática dentro do saneamento básico, diversos sistemas alternativos de esgotamento sanitário vêm sendo criados, estudados, padronizados e publicados. Só no ano de 2018 foram escritos alguns livros e cartilhas reunindo diversas soluções de tratamento individual, por exemplo: “CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos”, pela Funasa; “Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções”, da Biblioteca Unicamp; “Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras”, da Biblioteca Unicamp.

Essa mudança de visão, de sair de uma solução padrão para um leque de possibilidades contemplando diferentes contextos, reflete a disseminação do uso de Tecnologias Sociais, cuja definição pode ser resumida em “Conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida” (ITS, 2004). Portanto, as Tecnologias Sociais buscam unir conhecimento acadêmico com os conhecimentos e cultura da região em prol de soluções que melhorem a qualidade de vida da população, ao mesmo tempo em que ela seja

¹ Fossas rudimentares também são chamadas de fossas negras. Neste trabalho não serão utilizados os termos que utilizem a palavra “negro” como algo ruim ou indesejado, apenas serão feitas referências sobre eles para situar a pessoa leitora, mas, na esperança de que esses termos deixem de ser utilizados, aqui somente serão empregados termos que não possuam esse cunho.

empoderada através da participação desse processo de criar e manter essa solução (SILVA; NOGUEIRA et al., 2019) .

Para Vitor Chaves, "as pessoas precisam entender o funcionamento e a importância da tecnologia para serem agentes replicadores disso na região e para que possam cuidar da manutenção do sistema."(MELO, 2019). Portanto, a ideia colonialista de impor soluções a um local sem consultar o interesse e as condições das comunidades está cada vez mais sendo deixada de lado, sendo substituída pelo uso das Tecnologias Sociais.

2.3 PERMACULTURA

Em um contexto de intensificação de processos industriais com consequente poluição ambiental e escassez de recursos naturais, a permacultura foi criada na Austrália na década de 70 por Bill Mollison e seu aluno, David Holmgren. Os princípios éticos da permacultura são: cuidado com a terra, cuidado com as pessoas e partilha justa dos excedentes (HOLMGREN, 2007). Com base nesses princípios e na ideia de criar ambientes sustentáveis que produzam alimentos, e outras necessidades materiais e não materiais, de maneira harmoniosa entre as pessoas e o local, funcionando como um ecossistema, várias soluções foram e vem sendo criadas (MELO, 2019).

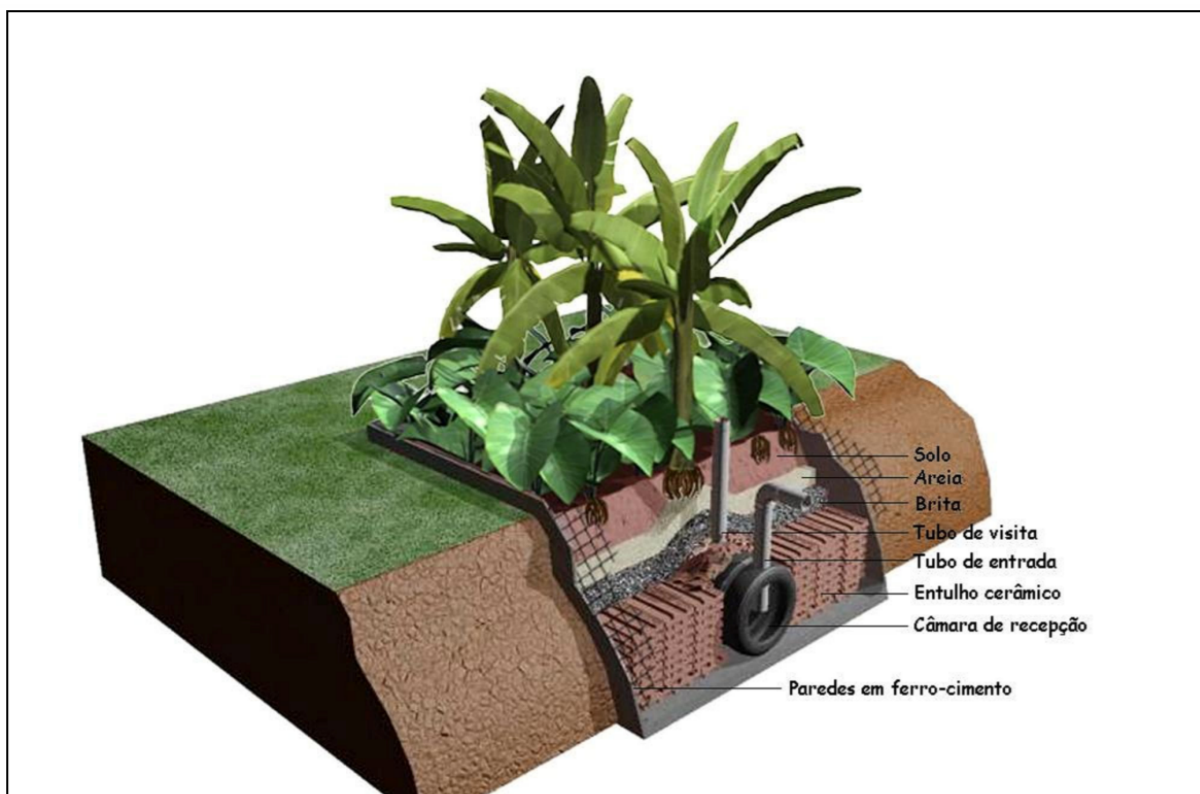
Tomando como exemplo qualquer ecossistema, onde tudo é aproveitado em algum nível trófico não havendo desperdícios, uma das soluções criadas através da permacultura é o Tanque de Evapotranspiração (TEvap), também chamado de Fossa Verde, Bacia de Evapotranspiração (BET), Ecofossa, Fossa Bioséptica, Fossa de Bananeira, Fossa Evapotranspiradora e Canteiro Bio-Séptico (FIGUEIREDO; BARBOSA et al., 2019). O TEvap teve sua inspiração no sistema chamado Watson Wick, criado pelo permacultor estadunidense Tom Watson (GALBIATI, 2009). Ao chegar no Brasil através do permacultor estadunidense Scott Pitman, o sistema foi adaptado por permacultores brasileiros (PAMPLONA; VENTURI, 2004), de modo que se transformou neste sistema de Tanque de Evapotranspiração que está cada vez mais se disseminando no Brasil.

2.4 TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO TEVAP

O TEvap é um sistema completo de tratamento de esgoto (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018), ou seja, ele é capaz de receber e tratar o esgoto bruto, sem precisar de outros tratamentos anexados à ele. Seu uso é recomendado apenas para águas do vaso sanitário, ou seja, constituídas por dejetos humanos, pois é o tipo de esgoto que possui mais nutrientes e patógenos. Conforme representado na FIGURA 1 e FIGURA 2, ele é formado por um tanque impermeabilizado com quatro camadas dentro. Sua primeira camada, onde ocorre a degradação anaeróbia da matéria orgânica, é composta por

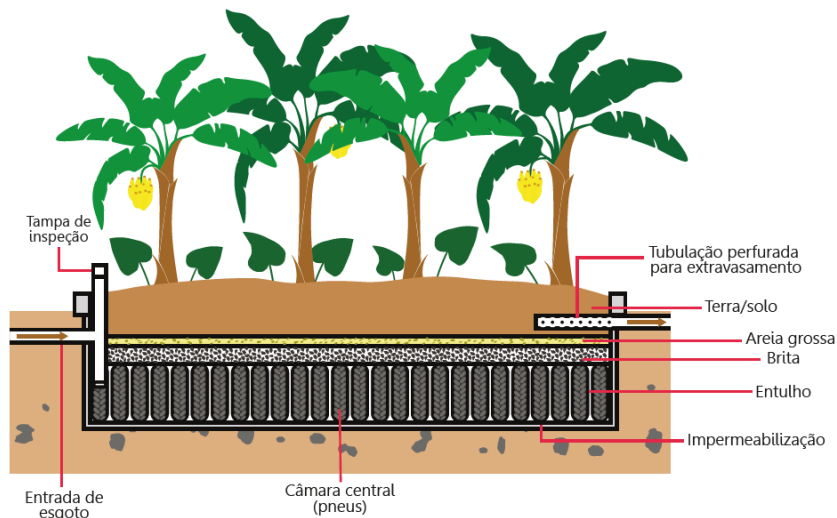
materiais que servirão de meio suporte para as bactérias anaeróbias, usualmente material de resto da construção civil visando dar uma destinação a esse tipo de resíduos, e longitudinalmente ao centro dessa camada há uma câmara de recepção e digestão do esgoto, usualmente composta de pneus enfileirados lado a lado, também dando uma destinação a esse tipo de resíduo. A principal função da câmara, além da recepção do esgoto, é a deposição de materiais sólidos para evitar o entupimento do sistema (GALBIATI, 2009). As segunda, terceira e quarta camadas, respectivamente compostas por brita, areia e solo, constituem o filtro do sistema, pois elas são dispostas de tal maneira que a granulometria desses materiais é decrescente de acordo com o fluxo do tanque. A função do filtro é a remoção de sólidos suspensos. Na última camada, o solo, são plantadas espécies de crescimento rápido e de alta demanda de água, possuindo também uma alta capacidade de evapotranspiração, pois através deste processo elas irão eliminar a água absorvida do sistema, e os nutrientes presentes no sistema serão assimilados à biomassa das plantas. Para garantir o bom funcionamento, também é planejada uma tubulação para direcionar um efluente no caso de extravasamento.

FIGURA 1 – DESENHO REPRESENTATIVO DE TEVAP COM VISTA EM CORTE



FONTE: Paulo, Galbiati, Filho et al. (2019)

FIGURA 2 – ESQUEMÁTICO DE UM TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO - VISTA LATERAL



FONTE: Figueiredo, Santos e Tonetti (2018)

Até a camada de areia, representada na FIGURA 1, a evapotranspiração é próxima de zero e a água chega nessas camadas conforme vai aumentando seu nível no tanque. A partir da região do solo a água se movimenta por capilaridade, e nessa região começa a ocorrer a evapotranspiração com maior intensidade (GALBIATI, 2009).

Um diferencial do TEvap é a não geração de um efluente, quando bem dimensionado, pois toda a água é eliminada por evapotranspiração e os nutrientes são absorvidos por plantas, enquanto os patógenos são, quando não eliminados são reduzidos nesse processo. Outro diferencial do TEvap é a não necessidade de um pré tratamento do esgoto (GALBIATI, 2009), pois ele já é uma solução completa.

2.4.1 Equação da área para TEvap

Analisando o balanço de massa do Tanque de Evapotranspiração, onde as entradas são o efluente do vaso sanitário e parte da precipitação que infiltra no solo e a única saída esperada é através da evapotranspiração, Galbiati (GALBIATI, 2009) chegou na seguinte equação:

$$A = \frac{n \times Q_d}{ET_0 \times k_{tevap} - P \times k_i} \quad (2.1)$$

Onde:

$A \rightarrow$ área superficial do tanque em m^2 ;

$n \rightarrow$ número médio de usuários do sistema;

$Q_d \rightarrow$ vazão diária por pessoa em $L.dia^{-1}$;

k_{tevap} → coeficiente do tanque;

ET_0 → evapotranspiração de referência média do local em $mm.dia^{-1}$;

P → pluviosidade média do local em $mm.dia^{-1}$;

k_i → coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1;

Galbiati (2009) determina o k_{tevap} de modo empírico a partir da avaliação da Evapotranspiração do tanque em um período de 11 dias, com base na seguinte equação:

$$ET_{tevap} = ET_0 \times k_{tevap} \quad (2.2)$$

Onde:

ET_{tevap} → Evapotranspiração estimada do tanque em cada um dos dias do período em $mm.d^{-1}$;

ET_0 → Evapotranspiração de referência para cada um dos dias do período em $mm.d^{-1}$;

Na subseção 3.2.1 está descrito em mais detalhes como Galbiati (2009) chegou no valor de k_{tevap} .

2.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A transferência de água para a atmosfera acontece por dois processos, a evaporação direta da água no solo e a transpiração das plantas. Ao somatório desses processos se dá o nome de evapotranspiração (MENDONÇA et al., 2003). A evapotranspiração de referência se refere à quantia de água enviada para a atmosfera por plantas hipotéticas com características de gramínea em situação de pleno desenvolvimento, cobrindo totalmente a superfície e sem restrição hídrica. Com base na ET_0 , é possível estimar outros tipos de evapotranspiração, tal como a Evapotranspiração de Cultura (ET_c), que é um valor obtido pela multiplicação da Evapotranspiração de Referência (ET_0) por um coeficiente que varia de acordo com cada cultura, assim chamado Coeficiente de Cultura (k_c) (CARVALHO, L. G. de et al., 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como ponto de partida os itens descritos no Capítulo 2, um modelo matemático foi desenvolvido e implementado na linguagem de programação Python com objetivo de prever o funcionamento de um Tanque de Evapotranspiração a partir do seu dimensionamento e dos dados meteorológicos de sua localidade.

O algoritmo deste modelo matemático conta com 4 módulos, descritos em maiores detalhes nas subseções que seguem. Ele pode ser acessado pelo link <https://github.com/cath-nov>. Em resumo, o primeiro módulo organiza os dados provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para padronizar o formato dos dados meteorológicos de entrada, o segundo módulo efetua o cálculo da evapotranspiração de referência diária utilizando o método de Penman-Monteith e o terceiro módulo utiliza os dados diários de precipitação e evapotranspiração de referência das etapas anteriores para realizar os cálculos mensais dos mesmos parâmetros. Esses três módulos são utilizados pelo núcleo do algoritmo, o quarto módulo, que calcula a área do Tanque de Evapotranspiração, gera um histograma de frequências de áreas e efetua alguns cálculos estatísticos.

Nesse modelo matemático, foram utilizados TEvap's com estudos divulgados e instalados em diferentes localidades do Brasil para entrada de dados, para, assim, avaliar matematicamente o comportamento desses tanques, conforme descrito na seção 3.2.

3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

3.1.1 Módulo 1 - Organização dos dados Meteorológicos

Primeiramente foram obtidos os dados das estações meteorológicas do INMET mais próximas das localidades analisadas, descritas na seção 3.2. Os dados foram obtidos através do site Meteorologia INMET (s.d.) ou solicitados por email ao INMET. No primeiro módulo os dados foram selecionados para gerar um arquivo apenas com os parâmetros a serem utilizados nos cálculos e foram excluídos os dias sem medição de algum parâmetro essencial para obtenção do resultado final.

3.1.2 Módulo 2 - Evapotranspiração Diária de Referência (Penman-Monteith)

O segundo módulo obtém a evapotranspiração de referência diária usando o modelo de Penman-Monteith, descrito na subseção 3.1.2.1. As variáveis de entrada são o produto do módulo anterior, a latitude em radianos e a altitude do local onde a estação meteorológica se encontra. Então, com as evapotranspirações diárias de

referência calculadas, é plotado um gráfico da série temporal as evapotranspirações e precipitações diárias e das médias dessas variáveis.

3.1.2.1 O modelo de Penman-Monteith

O modelo de Penman-Monteith parametrizado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) é o modelo padrão internacionalmente utilizado para a determinação da evapotranspiração de referência (ALLAN et al., 1998 apud CONCEIÇÃO, 2006). Ele tornou-se padrão devido aos seus resultados satisfatórios em diversas regiões com características climáticas distintas.

A EQUAÇÃO 3.1 é a de Penman-Monteith proposta pela FAO, onde alguns parâmetros são padronizados para a cultura de referência hipotética, ou seja, ela considera a altura da cultura de 0,12m, a resistência da superfície em $70s.m^{-1}$ e o albedo 0,23 (CONCEIÇÃO, 2006).

$$ET_0PMF = \frac{0,408 \times \Delta \times (Rn - G) + \gamma \times \frac{900}{T+273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34u_2)} \quad (3.1)$$

Onde:

Δ → declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($kPa.°C^{-1}$);

Rn → saldo diário de radiação ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

G → fluxo total diário de calor no solo ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

γ → coeficiente psicrométrico ($kPa.°C^{-1}$);

u_2 → velocidade do vento a 2m de altura ($m.s^{-1}$);

e_s → pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a → pressão atual de vapor (kPa);

T → temperatura média do ar a 2m de altura ($°C$).

O fluxo total diário de calor no solo possui um valor muito baixo, portanto pode-se considerar como nulo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (Δ) é dada por:

$$\Delta = \frac{4098 \times (0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T}{T+237,3}})}{(T + 237,3)^2} \quad (3.2)$$

Onde:

$e \rightarrow$ número de euler.

O coeficiente psicrométrico (γ) é dado por:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P_{atm}, \quad (3.3)$$

onde P_{atm} é a Pressão atmosférica (kPa).

Quando a pressão atmosférica não é fornecida pela estação meteorológica, ela é calculada por:

$$P_{atm} = 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065 \times z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.4)$$

Onde:

$z \rightarrow$ altitude onde se encontra a estação meteorológica (m).

O cálculo da pressão de saturação de vapor (e_s) é realizado através da EQUAÇÃO 3.5 com a Temperatura máxima e com a Temperatura mínima, para posteriormente obter média dos dois valores.

$$e_s = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T}{T+237,3}} \quad (3.5)$$

Caso haja a temperatura do ponto de orvalho nos dados da estação meteorológica, a pressão atual de vapor (e_a) é calculada pela EQUAÇÃO 3.5 utilizando a Temperatura de ponto de orvalho, caso contrário, ela é calculada através da umidade relativa do ar, conforme a EQUAÇÃO 3.6.

$$e_a = \frac{e_s \times UR}{100} \quad (3.6)$$

Onde:

$UR \rightarrow$ umidade Relativa do Ar (%).

O Saldo de Radiação (Rn) ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$) é calculado através da diferença entre o saldo de radiação de ondas longas (Rns) e o saldo de radiação de ondas curtas (Rnl), conforme EQUAÇÃO 3.7.

$$Rn = Rns - Rnl \quad (3.7)$$

O saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) pode ser calculado através do albedo (α) e a radiação solar incidente (R_s), conforme EQUAÇÃO 3.8. Como a evapotranspiração de referência é calculada com base em uma vegetação gramínea, o albedo da grama é utilizado, sendo $\alpha = 0,23$.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s \quad (3.8)$$

Onde:

$R_s \rightarrow$ radiação solar incidente ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

$\alpha \rightarrow$ albedo, no caso é utilizado da grama (0,23).

Para estimar a radiação solar incidente (R_s), caso a estação forneça o número de horas de Sol no dia (n), é utilizada a EQUAÇÃO 3.9. Caso contrário, a EQUAÇÃO 3.11 é utilizada.

$$R_s = \left(a + b \times \frac{n}{N} \right) \times R_a \quad (3.9)$$

Onde:

a e $b \rightarrow$ coeficientes empíricos;

$n \rightarrow$ número de horas de Sol no dia;

$N \rightarrow$ número máximo de horas de Sol.

Segundo recomendações da Embrapa, os coeficientes empíricos a e b utilizados foram 0,25 e 0,5, respectivamente (CONCEIÇÃO, 2006).

O número máximo de horas de Sol é obtido pela equação:

$$N = \frac{24}{\pi} \times \omega_s \quad (3.10)$$

Onde:

$\omega_s \rightarrow$ ângulo horário ao nascer do Sol (rad).

$$R_s = k_{R_s} \times \sqrt{T_{max} - T_{min}} \times R_a \quad (3.11)$$

Onde:

$k_{R_s} \rightarrow$ coeficiente de proporcionalidade;

$R_a \rightarrow$ radiação solar no topo da atmosfera ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$).

O coeficiente de proporcionalidade (k_{Rs}) varia para cada região, porém o valor recomendado por Allan et al. (1998) é de 0,16 para regiões continentais e 0,19 para regiões costeiras. Entretanto para a Ilha do Mel, região litorânea do Paraná, o coeficiente utilizado foi de 0,14, conforme estudo de Souza et al. (2016). Para as outras localidades, conforme estudo de Baratto et al. (2017), o valor de 0,16 se mostrou um valor adequado.

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) é calculada através da EQUAÇÃO 3.12.

$$R_a = 37,586 \times d_r \times [\omega_s \times \text{sen}(\varphi) \times \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \times \text{cos}(\delta) \times \text{sen}(\omega_s)] \quad (3.12)$$

Onde:

$d_r \rightarrow$ distância inversa relativa entre Terra e Sol (rad);

$\varphi \rightarrow$ latitude do local (rad);

$\delta \rightarrow$ declinação solar (rad).

O ângulo horário ao nascer do sol (ω_s) é calculado pela seguinte equação:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left(\frac{-\tan(\varphi) \times \tan(\delta)}{X^{0,5}}\right) \quad (3.13)$$

Onde:

$X = (1 - [\tan(\varphi)]^2 \times [\tan(\delta)]^2)$ Caso $X \leq 0$ usa-se 0,00001.

A distância relativa inversa entre Terra e Sol é dada por:

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (3.14)$$

Onde:

$J \rightarrow$ Dia Juliano, que representa o dia do ano, variando de 1 a 366.

A declinação solar (δ) é calculada por:

$$\delta = 0,409 \times \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (3.15)$$

O Saldo de Radiação de ondas longas (R_{nl}) é dado pela equação:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{maxk})^4 + (T_{mink})^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \times \sqrt{e_a}) \left(1,35 \times \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3.16)$$

Onde:

$\sigma \rightarrow$ constante de Stefan-Boltzmann ($4,903.10^{-9} MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

$R_{so} \rightarrow$ radiação solar incidente na ausência de nuvens ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

$T_k \rightarrow$ temperaturas em Kelvin (T em $^{\circ}C + 273,16$).

A Radiação solar incidente na ausência de nuvens é calculada por:

$$R_{so} = (0,75 + 2.10^{-5} \times z) \times R_a \quad (3.17)$$

3.1.3 Módulo 3 - Cálculos Mensais

A partir dos dados diários calculados no Módulo 2, neste módulo são calculados os valores mensais acumulados e, então, as médias mensais de janeiro a dezembro com base no intervalo de tempo fornecido na entrada dos dados meteorológicos.

3.1.4 Módulo 4 - Módulo principal

Este módulo é a parte principal do algoritmo. Nele, inicialmente são utilizados os dados diários de evapotranspiração de referência, calculados no Módulo 2, para o cálculo diário das áreas ideais do TEvap, de acordo com as condições meteorológicas. Essa parte está descrita em mais detalhes na subseção 3.1.4.1.

Na sequência, com os valores de todas as áreas, incluindo as negativas pois são momentos que o sistema irá extravasar sem dúvida, é criado um histograma, porém a plotagem é limitada às áreas positivas para melhor compreensão e organização visual. Os histogramas estão melhor descritos na subseção 3.1.4.2

3.1.4.1 Balanço Hídrico no TEvap

No TEvap as entradas existentes são o efluente do vaso sanitário e parte da precipitação que infiltra no solo, enquanto a única saída, em situação ideal, é através da evapotranspiração, cujo valor é diferente da evapotranspiração de referência, pois esta é calculada considerando uma vegetação rasteira hipotética. Portanto tem-se:

$$Q + P \times A = ET \times A$$

$$A = \frac{Q}{ET - P} \quad (3.18)$$

Onde:

$Q \rightarrow$ Vazão diária de geração de esgoto ($m^3.dia^{-1}$);

$P \rightarrow$ Precipitação diária ($mm.dia^{-1}$);

$ET \rightarrow$ Evapotranspiração diária do Tanque ($mm.dia^{-1}$);

$A \rightarrow$ Área superficial do TEvap (m^2).

Entretanto, há algumas questões importantes a se considerar. A precipitação não entra por completo no tanque, mas apenas a parte dela que infiltra no solo, portanto um coeficiente de infiltração da precipitação deve ser considerado. A evapotranspiração é complexa de ser calculada, para tanto existem métodos que permitem o cálculo da evapotranspiração de referência do local, tal como o Penman-Monteith explicado anteriormente, e então a evapotranspiração do Tanque de Evapotranspiração pode ser dada em função dela. Desta forma, acrescenta-se mais um coeficiente que irá representar a razão entre a evapotranspiração do TEvap e a de referência. Através dessas considerações, chega-se na mesma equação proposta por Galbiati (2009), portanto, utilizando as mesmas nomenclaturas, tem-se:

$$A = \frac{Q}{k_{tevap} \times ET_0 - k_i \times P} \quad (3.19)$$

Onde:

$ET_0 \rightarrow$ evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$);

$k_i \rightarrow$ coeficiente de infiltração da precipitação;

$k_{tevap} \rightarrow$ coeficiente do TEvap.

A EQUAÇÃO 3.19 é utilizada no Módulo 4 para o cálculo da área necessária para o sistema atender o balanço hídrico de cada dia. Nesse momento, além dos dados salvos na última etapa, devem ser inseridos os seguintes dados:

- Vazão diária de esgoto proveniente do vaso sanitário em $m^3.dia^{-1}$, Q ;
- Coeficiente empírico do TEvap, k_{tevap} ;
- Coeficiente empírico de infiltração de água da chuva, k_i ;
- Também é possível inserir as dimensões desejadas para o TEvap para verificar seu comportamento com esse tamanho.

As áreas diárias são calculadas apenas para os dias em que há dado de precipitação da estação meteorológica, pois em caso contrário não é possível calcular a área ideal. A partir desse momento começam as análises dessas áreas. Caso a área seja negativa, são dias que impreterivelmente haverá extravasamento, em decorrência da taxa de infiltração da água da chuva no tanque ser maior que a evapotranspiração do TEvap no dia.

3.1.4.2 Histogramas

O histograma calcula a frequência das áreas considerando intervalos unitários, ou seja, intervalos de $1m^2$. A partir dos dados desse histograma, são calculadas áreas que atendem pré-determinadas frequências, então são indicadas linhas verticais que representam o valor da área correlacionada à respectiva frequência. A primeira linha vertical, representada em vermelho, mostra o valor de área que culminará em um sistema que atenda até 70% dos casos de modo ideal, ou seja, ele irá extravasar pelo menos 30% do seu tempo de vida. A segunda linha vertical, na cor laranja, representa a área que atenda até 80% dos casos de modo ideal, ou seja, área em que o sistema irá extravasar em pelo menos 20% do seu tempo de vida. A terceira linha vertical, amarela, representa a área que atende até 90% dos casos de modo ideal, ou seja, irá extravasar pelo menos em 10% do seu tempo de uso, e a última linha vertical, verde, representa a área que atende a mais 90% dos casos sem extravasar, sendo que o valor máximo possível é o total (100%) excluindo-se a porcentagem em que o TEvap irá extravasar impreterivelmente (áreas negativas). Nos histogramas de comparação das áreas de estudo com as áreas obtidas através do modelo, há uma linha vertical preta representando a área que foi utilizada no estudo. Nem todos os histogramas gerados apresentam todas as essas linhas verticais.

3.2 ESTUDOS PRÉ-EXISTENTES E CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Para fins de comparação do modelo matemático com situações reais, foram selecionados alguns locais onde foram instalados TEvaps e há estudos realizados sobre eles, estudos esses que foram as referências para as entradas de dados no algoritmo desse trabalho sobre os sistemas de tratamento utilizados, descritos nas subseções a seguir. A partir desses dados dos próprios estudos foi gerado o primeiro grupo de histogramas.

Além desses locais, também foi selecionada a Ilha do Mel, pois nela foi realizado um estudo de caso (detalhado na Parte II) utilizando o modelo matemático aqui destrinchado. Devido a não existência estudos sobre Tanque de Evapotranspiração instalado na ilha até o momento, não havia dados de um TEvap real para realizar a comparação, diferentemente das outras localidades. Então a Ilha do Mel não está inclusa

na parte demonstrativa do modelo matemático utilizando dados TEvaps reais, porém na sequência foi realizada uma padronização hipotética dos dados de entrada entre todas as localidades para poder compará-las entre si, incluindo-se a Ilha do Mel. Essa padronização está detalhada nos dados de entrada para a Ilha do Mel, subseção 3.2.5.1. Com esses dados padrões foi gerado o segundo grupo de histogramas.

A seguir, nas subseções 3.2.X estão descritos os estudos utilizados em cada localidade, enquanto nas subsubseções 3.2.X.1 se encontram os dados de entrada utilizados no modelo matemático para a referida localidade. No modelo matemático também há a entrada de dados de estações meteorológicas de cada local ou da cidade mais próxima que possua estação meteorológica. Para todos os casos com estudos pré-existentes foram utilizados mais de 10 anos de dados meteorológicos.

3.2.1 Campo Grande - MS

Para a cidade de Campo Grande o estudo base é “Tratamento domiciliar de águas negras através de Tanque de Evapotranspiração”, dissertação de mestrado de Adriana Galbiati (GALBIATI, 2009). Nele foi avaliado um Tanque de Evapotranspiração construído para residência de 2 pessoas com uma área de $4 m^2$, onde foram plantadas três mudas de bananeira (*Musa cavendishii*), taiobas (*Xanthosoma sagifolium*) e espécies do gênero *Canna*. Porém, segundo o estudo, a quantidade de pessoas utilizando o banheiro por vezes era maior que a quantia para a qual o TEvap foi projetado. No período estudado o sistema, de Agosto de 2008 a Maio de 2009, foi constatado o extravasamento em 20% do tempo.

Para estimar a taxa de evapotranspiração do TEvap, Galbiati avaliou diariamente o tanque no período de Agosto a Dezembro de 2008, além de coletar dados em 11 dias dispersos entre Agosto de 2008 e Maio de 2009. Nesses 11 dias a taxa diária de evapotranspiração foi calculada através da variação do nível da água no sistema após a interrupção da entrada de esgoto, e para os horários sem medida, os valores foram obtidos por uma equação de ajuste criada a partir dos dados medidos e os dados meteorológicos da cidade. Então com todos os dados horários de cada dia, foi determinada a Evapotranspiração diária no tanque em cada um dos 11 dias. Para determinar a evapotranspiração de referência de Campo Grande, a autora utilizou o método de Hargreaves & Samani, que possui como dados de entrada a radiação extraterrestre e as Temperaturas máxima, média e mínima. A partir dessas informações e com a EQUAÇÃO 3.20 foi determinado um coeficiente diário de evapotranspiração chamado k_d em cada dia do período. E finalmente o k_{tevap} foi obtido através da média dos coeficientes diários.

$$k_d = ET_{tevap}/ET_0 \quad (3.20)$$

Para as condições estudadas, Galbiati obteve o $k_{tevap} = 2,71$.

A posteriori, Galbiati considera insuficiente a área utilizada na construção do TEvap que avaliou. Em seus resultados descreve a área adequada para 3 cenários de infiltração de água da chuva no sistema combinados com 5 cenários de vazão efluente do vaso sanitário, de acordo com o número de pessoas que irá utilizá-lo. Para determinar essas áreas, a autora considerou a vazão do sanitário como $8 L$ por fluxo e que cada pessoa o utilize 4 vezes ao dia, resultando em uma vazão diária per capita de $32 L.dia^{-1}$. Além disso, a evapotranspiração de referência considerada foi de $4,36 mm.dia^{-1}$ e a precipitação de $3,85 mm.dia^{-1}$, valores obtidos para o período de 11/2007 a 10/2008.

3.2.1.1 Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste TCC

A cidade de Campo Grande, localizada no bioma do Cerrado, possui clima Cwa pela classificação de Köppen, temperado com inverno seco e verão quente, com temperatura média entre 20 e $22^{\circ}C$ e precipitação média anual de $1.532 mm$ (NETO; ANUNCIAÇÃO ANDRADE, 2012). Para calcular a evapotranspiração e áreas para o TEvap foram utilizados dados meteorológicos do Meteorologia INMET (s.d.) do período de 01/08/2008 a 31/10/2021 da cidade de Campo Grande, cujo código da estação é A702, e se encontra na latitude $20,44^{\circ}$ sul e altitude de $528,47 m$. Para comparar os resultados com o trabalho de Galbiati, dentre os cenários determinados por ela, foi utilizado o cenário com 4 pessoas e uma taxa de infiltração de água da chuva de 20% ($k_i = 0,2$), cuja área é de $11,6 m^2$ no estudo referido, além do $k_{tevap} = 2,71$ obtido no estudo.

3.2.2 Madalena - CE

O trabalho de referência na cidade de Madalena – CE foi a dissertação de mestrado “Impactos socioambientais e desempenho do sistema fossa verde no assentamento 25 de Maio, Madalena (CE)”, de Christine Coelho (COELHO, 2013). Esta cidade possui clima quente semiárido, com temperaturas variando de 23 a $28^{\circ}C$, com média anual de precipitação de $600 mm$ e de evapotranspiração potencial de $2.200 mm$ (COELHO; REINHARDT; ARAÚJO, 2018). Na comunidade do estudo foram construídos 70 Tevaps de modo participativo entre os anos de 2011 e 2013. Foram projetados dois tamanhos de TEvap, para residências de até 6 pessoas nas dimensões de $2 m$ de comprimento, $1,5 m$ de largura e $1 m$ de profundidade, enquanto que para escolas e posto de saúde foi projetado o tanque de $3 m$ de comprimento, $2 m$ de largura e $1 m$ de profundidade.

As espécies recomendadas para cultivo foram de bananeira (*Musa spp*) e taioba (*Xanthosoma sagifolium*), porém também foram cultivadas diversas outras es-

pécies, como mamão (*Carica papaya* L.), pimentão (*Capsicum annuum* L.), tomate (*Solanum esculentum*), breço (*Amaranthus viridis* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), milho (*Zea mays* L.), mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.), capim santo (*Cymbopogon citratus*), malvarisco (*Plectranthus amboinicus* L.), dipirona (*Symphytum officinale* L.) e plantas ornamentais, como a papoula. A média da geração de esgoto por casa nessa comunidade foi estimada através da leitura de hidrômetros instalados em duas fossas sépticas, uma em residência sem rede de abastecimento de água, apresentando valor de $0,2 m^3$, e outra possuindo acesso à rede, resultando em $1,9 m^3$. Desse modo, a estimativa de geração de efluente do vaso sanitário foi de $13,7 L.hab^{-1}.dia^{-1}$ para quem tem acesso a água encanada e de $1,157 L.hab^{-1}.dia^{-1}$ para pessoas sem acesso à rede de água. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith e a precipitação foi obtida através de um pluviômetro instalado na região. Também foi calculado o coeficiente de cultura da bananeira para a região utilizando um TEvap controle contendo quatro bananeiras. Este sistema controle foi alimentado subsuperficialmente com água bruta, por 20 dias no mesmo horário, até umedecer a superfície, sendo calculados os volumes diários de água de acordo com a vazão de alimentação. A evapotranspiração obtida foi de $5,1 mm.dia^{-1}$.

Coelho, Reinhardt e Araújo (2018) propôs a seguinte equação para dimensionamento de TEvap :

$$A = \frac{q \times N \times C_r}{(ET_c + U_c)} \quad (3.21)$$

Onde:

$A \rightarrow$ Área superficial do Tanque (m^2);

$q \rightarrow$ consumo de água per capita ($m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$);

$N \rightarrow$ número de habitantes no domicílio (hab);

$C_r \rightarrow$ coeficiente de retorno;

$ET_c \rightarrow$ Evapotranspiração da cultura ($m.dia^{-1}$);

$U_c \rightarrow$ Uso consuntivo da cultura ($m.dia^{-1}$).

A autora conclui que o dimensionamento de $2 m^2$ está adequado apenas para as casas sem acesso à água encanada, para o outro grupo o dimensionamento ideal seria de $30 m^2$, a considerar uma vazão de efluente do vaso sanitário de $30 L.hab^{-1}.dia^{-1}$ e uma família de 5 pessoas.

3.2.2.1 Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho

Para estudar a cidade de Madalena, localizada no bioma da Caatinga, foram obtidos os dados da estação meteorológica do Meteorologia INMET (s.d.) mais próxima, localizada em Quixeramobim – código A325, no período de 01/08/2008 a 31/10/2021. A latitude dessa estação é $5,17^\circ$ sul e sua altitude $227,33\text{ m}$.

Para esta cidade, os dados de entrada para este trabalho foram utilizados considerando a situação de residências com acesso à água encanada, descrita no estudo. A vazão efluente de vaso sanitário foi de $13,7\text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. O coeficiente do TEvap foi calculado a partir do dado de evapotranspiração do tanque controle, de $5,1\text{ mm.dia}^{-1}$, dividindo esse valor pela média da evapotranspiração de referência. Portanto, o coeficiente do tanque utilizado para Madalena foi $k_{tevap} = 0,92$, chegando no mesmo valor utilizado pela autora. Para a infiltração de água da chuva, foi utilizado um valor médio $k_i = 0,5$. E a área de comparação utilizada foi a área que a autora concluiu como ideal, de 30 m^2 .

3.2.3 Campinas - SP

Na cidade de Campinas foi instalado um TEvap cujo estudo foi relatado no artigo “Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto e vaso sanitário” de Figueiredo, Barbosa et al. (2019).

Instalado no ano de 2016, este TEvap foi projetado para 5 pessoas de 2 residências, possuindo as dimensões de $1,5\text{ m}$ de largura por $5,0\text{ m}$ de comprimento e $1,30\text{ m}$ de profundidade. As plantas utilizadas foram quatro mudas de banana nanica (*Musa sp*) e 30 mudas de taioba (*Xanthosoma sagittifolium*). A geração de efluente do vaso sanitário estimada foi de $50,8\text{ L.dia}^{-1}$ e seu período de análise da capacidade do tanque foi de outubro de 2016 a outubro de 2017.

3.2.3.1 Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho

A cidade de Campinas é composta em sua grande maioria pelo bioma Mata Atlântica, mas também possui 3% de Cerrado. Seu clima é Temperado com inverno seco não rigoroso, Cwa segundo classificação de Köppen, moderadamente chuvoso com média anual de precipitação de 1409 mm (SANTOS; KINOSHITA, 2003). A temperatura média anual varia entre 18 e 25°C (UNICAMP, s.d.). A estação meteorológica do INMET mais próxima foi da cidade de Sorocaba, de código A713 (METEOROLOGIA INMET, s.d.). Foram utilizados os dados de no período de 01/08/2008 a 31/10/2021. A latitude dessa estação é $23,48^\circ$ sul e altitude $597,58\text{ m}$.

A área de comparação utilizada foi a área construída, de 3 m^2 e a vazão diária de $50,8\text{ L.dia}^{-1}$. Para o coeficiente de infiltração foi utilizado um valor médio de $k_i = 0,5$.

Para este estudo e para o estudo a seguir, devido à impossibilidade de estimativa relativamente fiel para longos períodos sobre a taxa de evapotranspiração do tanque, o coeficiente utilizado foi o mesmo do trabalho de Galbiati (2009) devido ao clima ser o mesmo e as plantas serem basicamente as mesmas, portanto $k_{tevap} = 2,71$.

3.2.4 Visconde do Rio Branco - MG

Na cidade de Visconde do Rio Branco, a dissertação de mestrado de Felipe Pires “Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no assentamento rural Olga Benário – MG” foi utilizada como referência (PIRES, 2012). Visconde do Rio Branco possui clima temperado chuvoso, Cwa, com verão chuvoso e inverno seco e precipitação média anual de $1.221,4\text{ mm}$. Neste local foram construídas duas unidades para o sistema de tratamento de esgoto, uma com *wetland* para águas cinzas e a outra com Tanque de Evapotranspiração, para águas de vaso sanitário (PIRES, 2012).

Os TEvaps foram construídos com uma profundidade maior que a usual, sendo comum a de 1 m e no referido projeto foi feita com $1,5\text{ m}$, e foram projetados para 5 pessoas, possuindo o dimensionamento de $3,5\text{ m}$ de comprimento, $1,5\text{ m}$ de largura e $1,5\text{ m}$ de profundidade. As espécies plantadas foram de banana nanica (*Musa paradisiaca*) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). Para estimar a evapotranspiração, o autor coletou dados semanais entre julho e setembro de 2012 de um dos tanques. Através da instalação de um hidrômetro na caixa da descarga, foram coletados dados do volume de entrada do efluente do vaso sanitário e a precipitação foi medida através de um pluviômetro próximo ao tanque. Para o cálculo do volume de água da chuva que infiltra no tanque, o autor multiplicou o dado coletado no pluviômetro pela área do tanque, ou seja, considerou 100% de infiltração de água da chuva. Para estimar a evapotranspiração, Pires (2012) avaliou a variação dos volumes de entrada e saída de água do sistema, utilizando a altura da água dentro do tanque e considerando o volume útil para calcular as saídas. Como resultado médio diário da leitura do hidrômetro, a vazão de efluente do vaso sanitário foi de 61 L.dia^{-1} . O fluxo por descarga do vaso utilizado foi de 8 L e a casa referida possuía 6 habitantes, portando o uso do vaso foi de $1,27\text{ descargas.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

3.2.4.1 Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho

Visconde do Rio Branco está localizada no bioma Mata Atlântica, com temperatura média anual de $23,9^{\circ}\text{C}$ (BRANCO, 2016). Para a cidade de foram utilizados dados da estação meteorológica do INMET localizada em Viçosa - MG, cujo código é A510, a latitude é $20,76^{\circ}$ sul e a altitude de $697,64\text{ m}$ (METEOROLOGIA INMET, s.d.). O período de dados utilizado foi de 01/08/2008 a 31/10/2021.

A vazão diária de geração de efluente do vaso sanitário utilizada para esta cidade foi de $61 L.dia^{-1}$, o coeficiente de infiltração de precipitação no solo foi de $k_i = 1$. Devido a semelhança do clima com o estudo de Campo Grande, foi utilizado o valor do coeficiente do tanque de $k_{tevap} = 2,71$.

3.2.5 Ilha do Mel (Paranaguá) - PR

Esta localidade é a única que ainda não possuía um TEvap construído e com estudos realizados, porém durante a finalização deste trabalho já foi construído uma inovação de um TEvap na Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim, mesmo local onde funciona o Colégio Estadual Felipe Valentim.

A Ilha do Mel, um dos principais pontos turísticos do Paraná, possui uma população de 1.094 moradores, segundo o Censo do IBGE de 2010 (PARANÁ IAP, 2012). Ela possui uma área de aproximadamente $2.760ha$ (PARANÁ IAP, 2012) e possui duas Unidades de Conservação: a Estação Ecológica da Ilha do Mel e o Parque Estadual da Ilha do Mel, ambas sob jurisdição do antigo IAP, hoje Instituto Água e Terra (IAT) (PARANÁ IAP, 2012). Seu clima é temperado chuvoso e moderadamente úmido em todas as estações do ano, com a concentração de chuvas no verão e sem estação seca definida, Cfa, possuindo temperaturas médias anuais na faixa de 20 a $21^{\circ}C$ (MELLO; LOPES; ROSEGHINI, 2017) (PARANÁ IAP, 2012). Os habitantes nativos da ilha vivem principalmente de atividades relacionadas ao turismo e, por esse fator, há uma sazonalidade nos empregos de acordo com os períodos em que há picos de turistas. Poucos moradores ainda realizam a pesca, mas não é a principal atividade para subsistência da população (com. pess.) (PARANÁ, G. D. E. D., 2012).

Quanto ao saneamento básico, há diversas questões insatisfatórias. O fornecimento de água potável é o quesito mais adequado do saneamento básico, pois há duas Estações de Tratamento de Água (ETA), uma localizada na comunidade de Brasília e outra na de Encantadas, que fornecem água potável para essas duas comunidades, porém em época de alta temporada é comum haver falta de água (com. pess.). Os resíduos sólidos são um grande problema para a Ilha. Existe, desde 1996, um convênio entre a Prefeitura de Paranaguá e a Associação de Moradores para que seja feita a separação dos resíduos e seja enviado para coleta apenas os inorgânicos, então estes resíduos são armazenados até que uma embarcação os leve para ao aterro de Paranaguá (PARANÁ IAP, 2012). Porém no decorrer desse processo há várias falhas, como a separação incorreta ou falta de separação dos resíduos, a falta de manutenção dos carros elétricos que realizam a coleta e armazenamento temporário inadequado até que a embarcação especializada os leve (com. pess.). O esgoto sanitário é outro grande problema deste local. A grande maioria das casas e estabelecimentos da Ilha utilizam a fossa como tratamento individual de esgoto, porém esse método não é efetivo

para esta localidade, pois ocorre o extravasamento nos períodos de chuva devido ao nível do lençol freático estar próximo à superfície do solo. Para agravar a situação, grande parte das fossas não são impermeabilizadas e a limpeza não é realizada adequadamente. Segundo o Plano de Controle Ambiental e de Uso do Solo da Ilha do Mel, o lençol freático e os poços se mostraram contaminados por coliformes fecais e totais nos períodos de chuvas intensas nas pesquisas realizadas (PARANÁ IAP, 2012). A drenagem pluvial da ilha frequentemente ocorre pelas trilhas, pois ela acompanha os desníveis naturais, e, devido à situação anteriormente citada, não é incomum que essa drenagem possua cheiro de esgoto (com. pess.).

3.2.5.1 Dados de entrada para o modelo desenvolvido neste trabalho

Para a Ilha do Mel, ilha da cidade de Paranaguá - PR, foram utilizados dados da estação meteorológica INMET ja desativada, de código A847, que se encontrava na própria ilha latitude é $25,49^\circ$ sul e a altitude de $4,01\text{ m}$ (METEOROLOGIA INMET, s.d.). Nesta localidade foi utilizado um período de dados menor, pois ela foi desativada em 2018. Os dados utilizados foram de 01/08/2008 a 31/12/2017.

Para poder comparar a Ilha do Mel com as áreas de todos os locais de acordo com as diferentes evapotranspirações, os dados de entrada foram padronizados.

Para a padronização foram considerados os dados inseridos nos trabalhos. Foi utilizada a vazão de vaso sanitário mais recorrente entre os estudos, enquanto que para quantidade de uso do sanitário por pessoa foi calculada a média dos casos e arredondada para cima (média de 1,88). Para a constante k_{tevap} utilizou-se o valor 1, ou seja, foi considerada apenas como se fosse uma vegetação gramínea, pois foi considerada só a evapotranspiração de referência. Enquanto que para o coeficiente de infiltração, simulou-se dois cenários: 50% e 25% de infiltração. Resultando nos seguintes dados de entrada padronizados:

- 1 pessoa utilizando o sistema;
- Uso do sanitário 2 vezes ao dia;
- Vazão da descarga de 8 Litros por fluxo;
- Resultando em vazão diária de efluente do vaso sanitário de 16 L.dia^{-1} ;
- Coeficiente do tanque $k_{tevap} = 1$;
- Coeficiente de infiltração da precipitação no solo, dois casos: $k_i = 0,5$ e $k_i = 0,25$.

Com esses dados de entrada padronizados, foram gerados novos histogramas para cada local, além dos histogramas anteriormente criados para cada localidade com os dados dos próprios estudos.

TABELA 1 – RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Local do Estudo	Estação Meteorológica	Distância* aprox. Estudo- Estação (km)	Situação da Estação	Latitude (°)	Altitude (m)	Período dos Dados
Campo Grande - MS (Galbiati)	Campo Grande A702 (INMET)	Mesma cidade	Operante	-20,45	528,47	01/01/2008 a 31/10/2021
Madalena - CE (Coelho)	Quixeramobim A325 (INMET)	50	Operante	-5,17	221,04	01/01/2008 a 31/10/2021
Campinas - SP (Figueiredo et.al)	Sorocaba A713 (INMET)	77	Operante	-23,43	609,33	01/01/2008 a 31/10/2021
Visconde do Rio Branco - MG (Pires)	Viçosa A510 (INMET)	30	Operante	-20,76	697,64	01/01/2008 a 31/10/2021
Ilha do Mel - PR (Sem estudo)	Ilha do Mel A847 (INMET)	Mesmo local	Desativada	-25,49	4,01	01/01/2008 a 31/12/2017

FONTE: A Autora (2021)

NOTA: • Distância aproximada entre a cidade onde se encontra a estação meteorológica e a cidade de estudo

TABELA 2 – RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA DOS ESTUDOS

Local do Estudo	Bioma/ Clima	Qtdd Pessoas	Área (m^2)	Prof. (m)	Vazão Diária ($L.dia^{-1}$)	Infiltração k_i (%)	k_{tevap}
Campo Grande - MS (Galbiati)	Cerrado/ Subtropical Úmido com Inverno Seco	4	11,6	1	64	20	2,71
Madalena - CE (Coelho)	Caatinga/ Semiárido Quente	6	30	1	65,5	50	0,9
Campinas - SP (Figueiredo et.al)	Mata Atlântica e Cerrado/ Subtropical Úmido c/ Inverno Seco	5	75 (50m x 1,5m)	1,3	50,8	50	2,71
Visconde do Rio Branco - MG (Pires)	Mata Atlântica/ Subtropical Úmido c/ Inverno Seco	5	5,25 (3,5m x 1,5m)	1,5	61	100	2,71
Ilha do Mel - PR (Sem estudo - Padrão de comparação)	Mata Atlântica/ Subtropical Úmido Sem Seca	1	-	-	16	25 e 50	1

FONTE: A Autora (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo primeiramente, na seção 4.1, é feita a comparação entre os resultados obtidos no Módulo 2 do modelo matemático (subseção 3.1.2), ou seja, são comparadas as precipitações de cada local e suas respectivas evapotranspirações de referência. Em um segundo momento, na seção 4.2, é realizada a comparação das áreas obtidas pelo Módulo 4 (subseção 3.1.4) utilizando os dados dos estudos comparando com as áreas utilizadas nos mesmos. Nesta última etapa ainda não está inclusa a Ilha do Mel. Por fim, na seção 4.3, ainda utilizando o Módulo 4, é realizada a comparação entre todas as localidades com dados de entrada padronizados, inclusive a Ilha do Mel.

4.1 COMPARAÇÕES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E PRECIPITAÇÃO DE CADA LOCAL

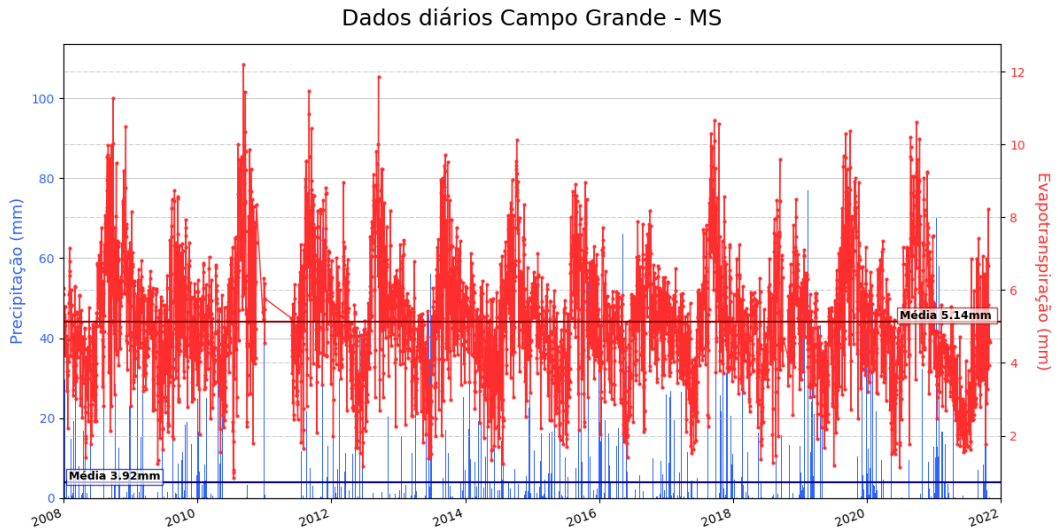
A seguir, da FIGURA 3 a FIGURA 12, estão representados os gráficos de precipitação e evapotranspiração dos locais analisados, foram utilizados mais de 10 anos de dados. A TABELA 3 apresenta um resumo dos resultados de precipitação e evapotranspiração.

TABELA 3 – RESUMO DOS RESULTADOS DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA CADA LOCAL

Local do Estudo	Local da Estação Meteorológica	Média Diária		Média Mensal Acumulada		Média Anual Acumulada	
		Precip. (mm)	Evapo. (mm)	Precip. (mm)	Evapo. (mm)	Precip. (mm)	Evapo. (mm)
Campo Grande - MS (Galbiati)	Campo Grande	3,92	5,14	110,54	147	1.339,36	1.763,52
Madalena - CE (Coelho)	Quixeramobim	1,53	5,52	42,28	151,45	508,86	1.815,72
Campinas - SP (Figueiredo et. al)	Sorocaba	3,3	4,05	90,61	110,09	1.076,09	1.316,80
Visconde do Rio Branco - MG (Pires)	Viçosa	3,6	3,39	102,88	98,37	1.255,48	1.183,86
Ilha do Mel - PR (Sem estudo)	Ilha do Mel	6,04	3,71	153,43	94,39	1.827,61	1.126,51

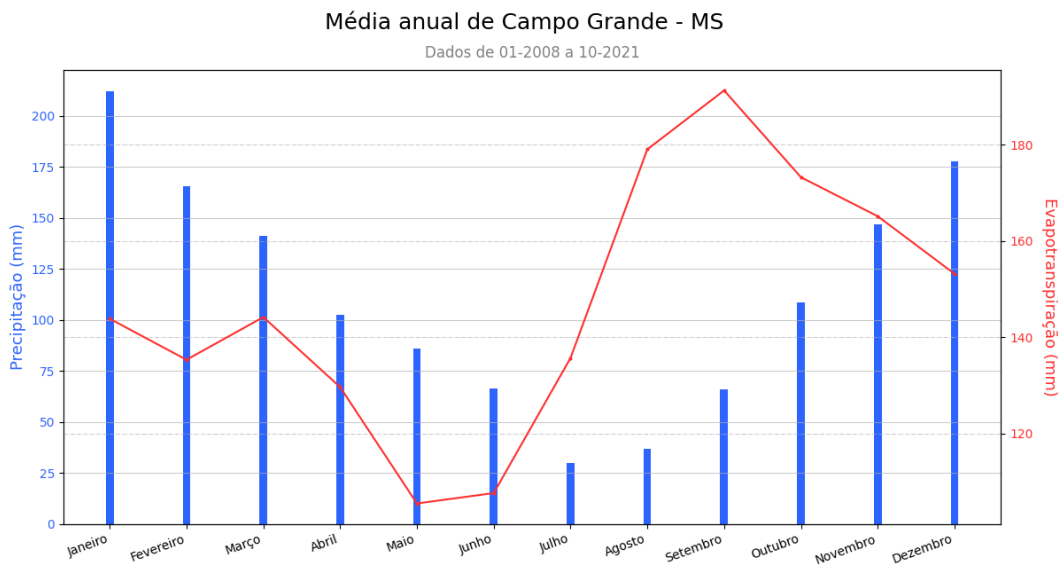
FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 3 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 4 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)

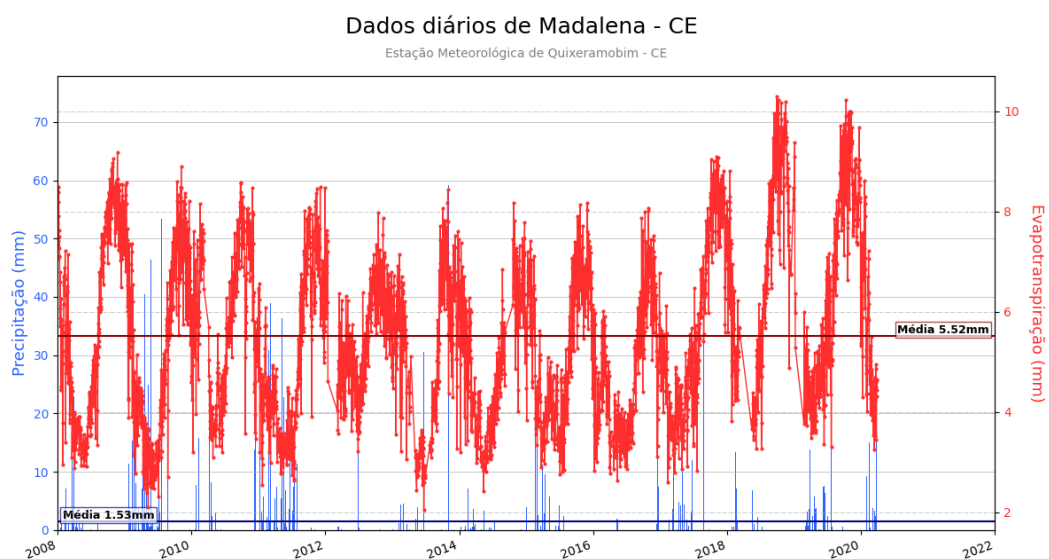


FONTE: A Autora (2021)

Na cidade de Campo Grande - MS (FIGURA 3), a média das evapotranspirações, $5,14\text{ mm}$, se mostrou maior que das precipitações, $3,92\text{ mm}$. A média da precipitação acumulada mensal foi de $118,54\text{ mm}$, enquanto da evapotranspiração acumulada mensal foi $147,00\text{ mm}$.

A evapotranspiração segue um padrão de apresentar seu pico na época de transição entre inverno e primavera, após ela começa a decair e mantém mais constante no período de verão, apresentando o mínimo geralmente no outono. Quando chega o inverno começa novamente a aumentar a taxa de evapotranspiração. O período de inverno é o que possui menos episódios de chuva para a região, enquanto o de verão é o que mais apresenta dias com chuva. Esse padrão está representado na FIGURA 4 da média ao longo do ano, e é condizente com o comportamento esperado para o tipo de clima da região, Cwa. A média de precipitação anual foi de $1.339,36\text{ mm}$ e da evapotranspiração foi de $1.763,52\text{ mm}$. Entre 2010 e 2011 houve um período com falha nos dados, não sendo calculada a evapotranspiração.

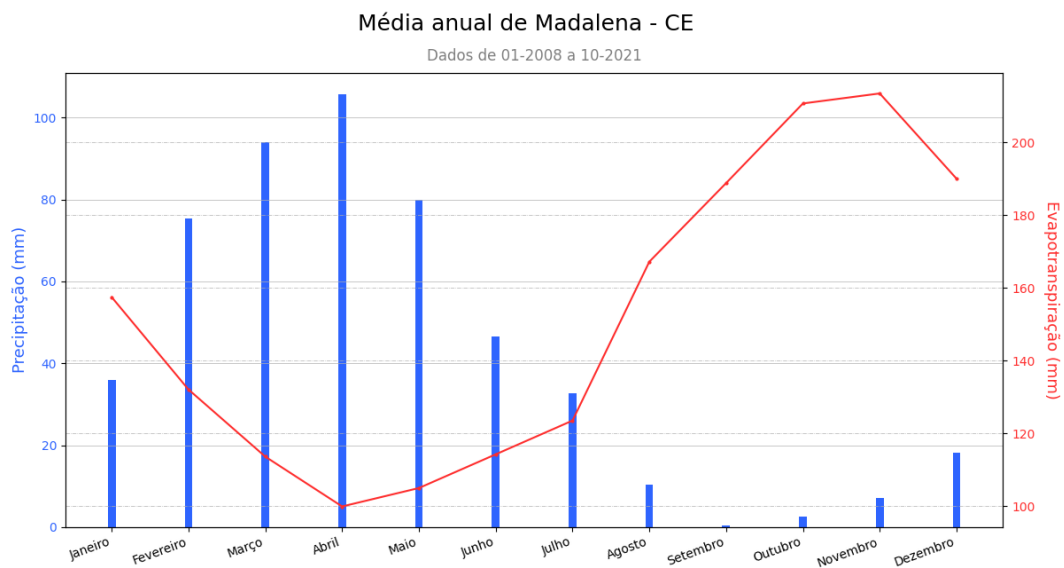
FIGURA 5 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE MADALENA - CE (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

Para a cidade de Madalena - CE (FIGURA 5), nos anos de 2008 e 2009 o padrão de variação anual de evapotranspiração tem uma menor variância do que nos outros anos. Nesses dois anos os valores de evapotranspiração tiveram esse comportamento pois houveram períodos de chuva e de seca bem determinados, começando a chover no verão, intensificando a chuva no outono e iniciando o período de seca a partir do inverno até o verão. Entretanto, a partir de 2010 passaram a haver chuvas

FIGURA 6 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE MADALENA - CE (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

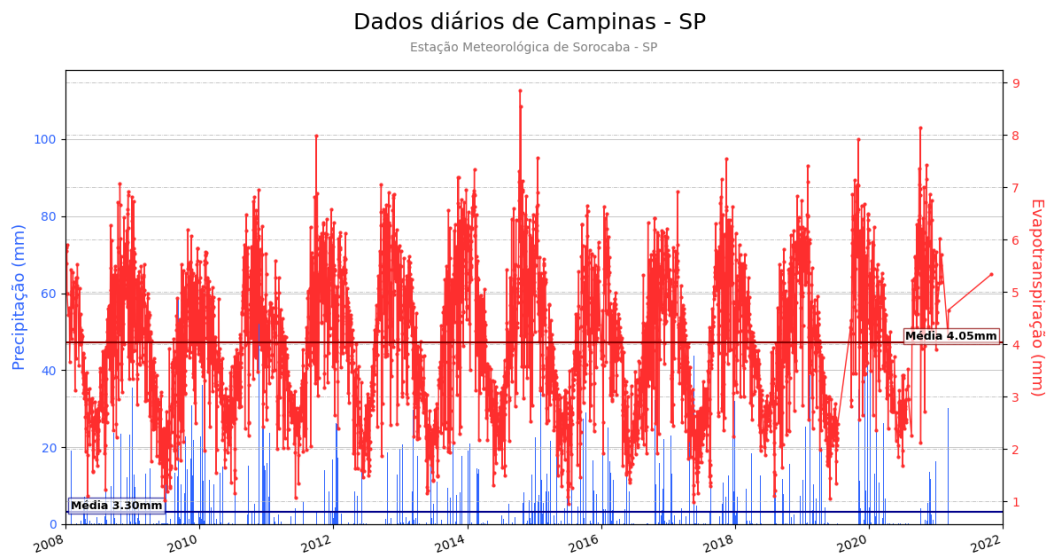
dispersas na primavera e verão, então os picos de evapotranspiração na primavera passaram a ficar menos intensos e no verão por vezes ocorreram picos mais elevados que os da primavera.

Em Madalena, FIGURA 6, a evapotranspiração costuma apresentar seu pico na primavera, começar a decair no verão, ao mesmo tempo que as chuvas começam a se intensificar, e no outono, quando costuma acontecer o período de chuvas mais intensas, é quando a evapotranspiração atinge seu menor valor, para voltar a crescer na sequência. Nesse local é muito notável a ocorrência inversa entre precipitação e evapotranspiração. A média diária de precipitação foi de $1,53\text{ mm}$, da acumulada mensal foi de $42,28\text{ mm}$ e da acumulada anual $508,86\text{ mm}$. A média diária de evapotranspiração foi de $5,52\text{ mm}$, a mensal, $151,45\text{ mm}$ e a anual, $1.815,72\text{ mm}$. A média anual de evapotranspiração nessa cidade é mais que 10 vezes maior que a precipitação. Houveram grandes falhas nos dados nos anos de 2019 e 2021.

No município de Campinas (FIGURA 7 e FIGURA 8), o pico da evapotranspiração ocorre no fim da primavera, durante o verão ela decresce levemente, e decresce de modo mais acentuado no outono. Os menores valores de evapotranspiração ocorrem na transição outono-inverno e volta a crescer de forma acentuada no inverno e de modo mais leve na primavera. As precipitações se mostram mais frequentes no verão, principalmente em janeiro, e menos frequentes no inverno, principalmente em agosto. As médias de precipitação em Campinas foram $3,30\text{ mm}$ a diária, $90,61\text{ mm}$ a acumulada mensal e $1.076,09\text{ mm}$ a acumulada anual, enquanto as médias de evapotranspiração

foram $4,05 \text{ mm}$ a diária, $110,09 \text{ mm}$ a acumulada mensal e $1.316,80 \text{ mm}$ a acumulada anual. A média de evapotranspiração se mostra maior que a média de precipitação. Em Campinas as falhas nos dados foram menos notáveis, mas as falhas mais importantes ocorreram em 2019, 2020 e 2021.

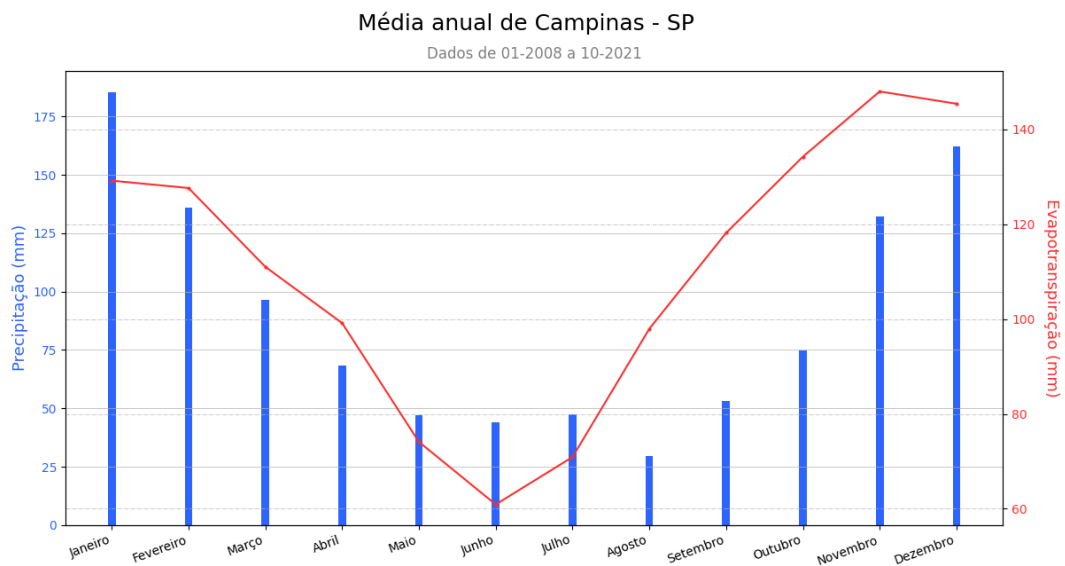
FIGURA 7 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

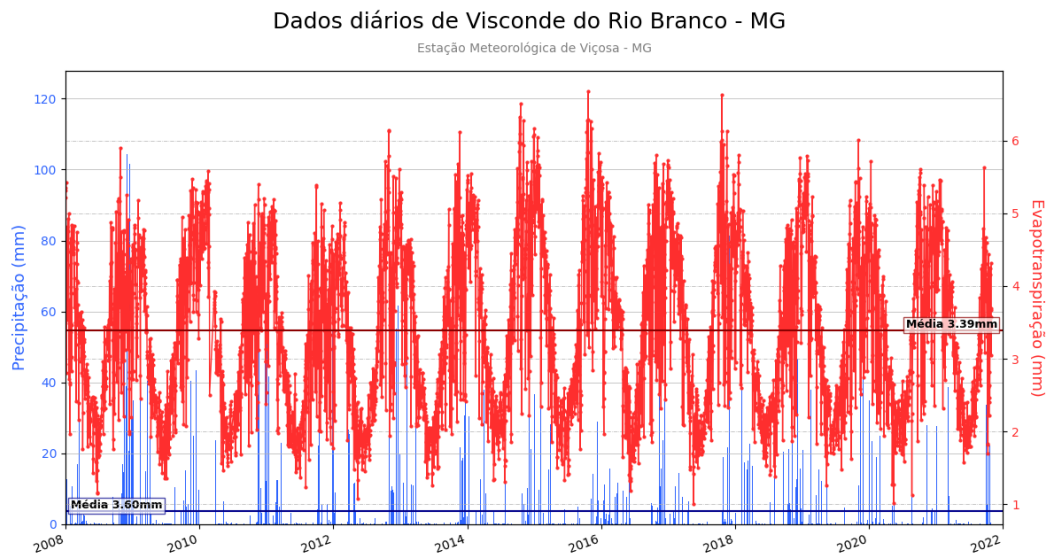
Em Visconde do Rio Branco - MG (FIGURA 10), a evapotranspiração costuma apresentar seu máximo no verão, em janeiro, e decresce até o começo do inverno, quando atinge seu valor mínimo. A partir desse momento, a evapotranspiração volta a aumentar de forma intensa até a primavera, então até o verão seu saldo continua crescendo de modo mais suave, porém apresentando mais oscilações. A precipitação apresenta valores mais altos em dezembro e menores valores em julho. A média diária de precipitação é de $3,60 \text{ mm}$, a acumulada mensal é de $102,88 \text{ mm}$ e a acumulada anual é de $1.255,48 \text{ mm}$. A evapotranspiração diária média é de $3,39 \text{ mm}$, a acumulada mensal é de $98,37 \text{ mm}$ e a acumulada anual é de $1.183,86 \text{ mm}$. Nesta cidade os valores de evapotranspiração se apresentam menores que os valores de precipitação. Nesta localidade não houveram grandes intervalos de falhas nos dados, mas os mais notáveis ocorreram em 2010 e 2016, sendo possível observar na FIGURA 9.

FIGURA 8 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

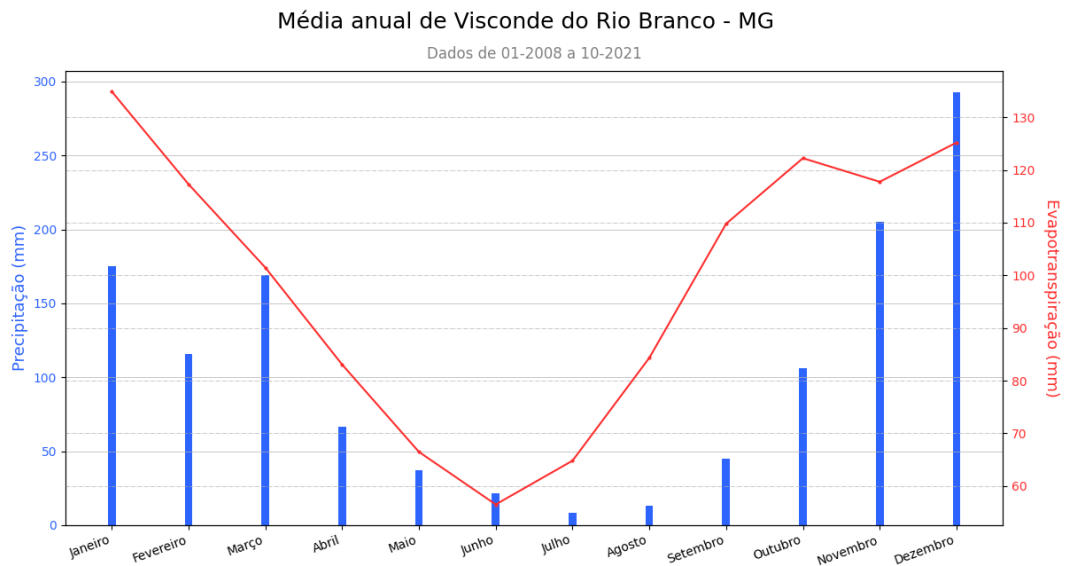
FIGURA 9 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

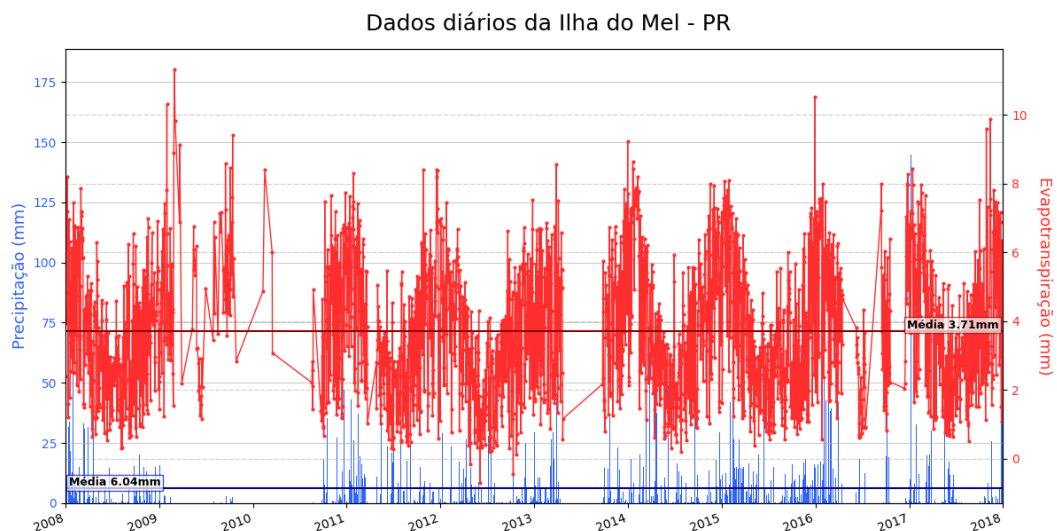
Na Ilha do Mel os valores de evapotranspiração praticamente acompanham os valores de precipitação (FIGURA 12), o inverso do que ocorre na cidade de Madalena-CE. O pico de evapotranspiração para a ilha ocorre no verão, em janeiro, então decresce até o começo do inverno no mês de junho, se mantendo baixo no mês de julho, a partir de então começa a crescer até o novo pico. Da mesma forma que a

FIGURA 10 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CIDADE DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

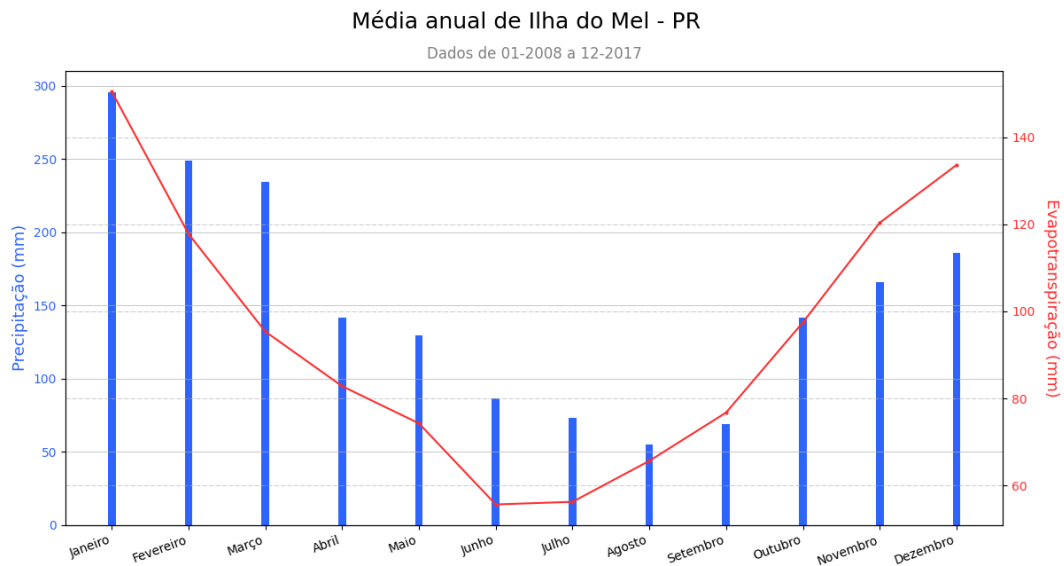
FIGURA 11 – PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DE REFERÊNCIA PARA ILHA DO MEL - PR (2008 - 2017)



FONTE: A Autora (2021)

evapotranspiração, a precipitação máxima geralmente ocorre no mês de janeiro, porém a precipitação mínima costuma ocorrer no mês de agosto. A precipitação média diária é de $6,04\text{ mm}$, a acumulada mensal é de $153,43\text{ mm}$ e a acumulada anual é de $1.827,61\text{ mm}$, enquanto a evapotranspiração média diária é de $3,71\text{ mm}$, a acumulada

FIGURA 12 – MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA ILHA DO MEL - PR (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

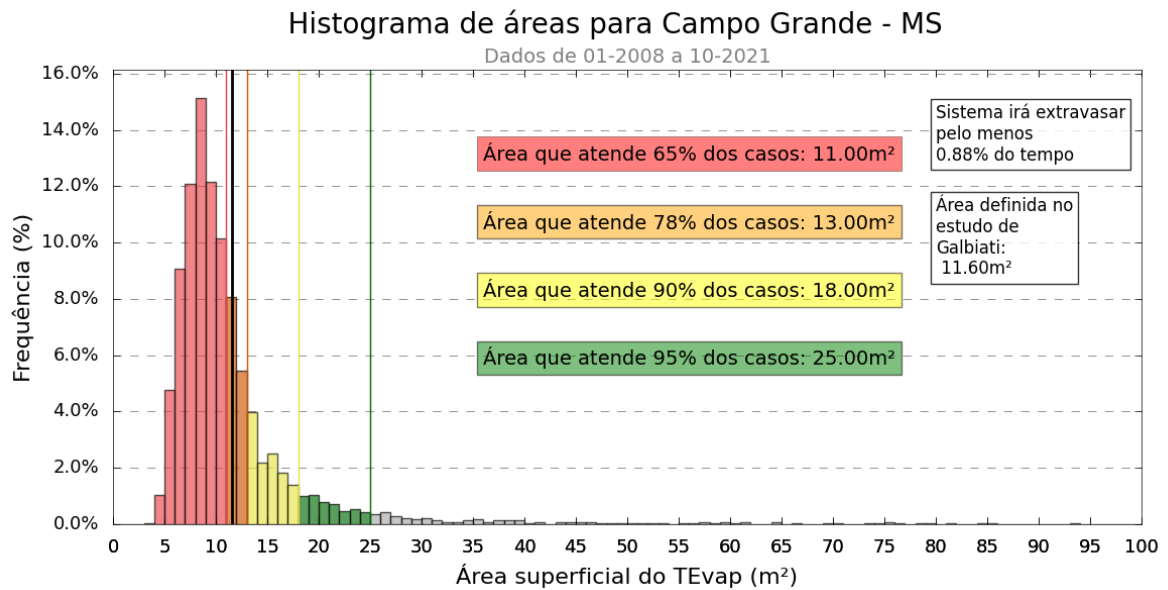
mensal é de $94,39 \text{ mm}$ e a acumulada anual é de $1.126,51 \text{ mm}$. Portanto, nesta localidade, a precipitação se mostra consideravelmente maior que a evapotranspiração. Nota-se na FIGURA 11 que houveram falhas significativas nos dados da Ilha do Mel nos anos de 2009, 2010, 2013 e 2016.

4.2 COMPARAÇÃO DE ÁREAS DO MODELO COM AS ÁREAS DOS ESTUDOS

Nesta seção avalia-se o balanço hídrico no TEvap, conforme EQUAÇÃO 3.18 utilizada no Módulo 4 do modelo matemático. As áreas superficiais do TEvap obtidas nesse balanço para cada localidade foram plotadas em histogramas de frequências. Através desse resultado são descritas a porcentagem mínima de dias que o sistema irá extravasar, a comparação entre a área utilizada no estudo e a faixa de frequência que ela se encontra no histograma, e qual seria a área ideal para o sistema funcionar o máximo de dias possível sem extravasamento.

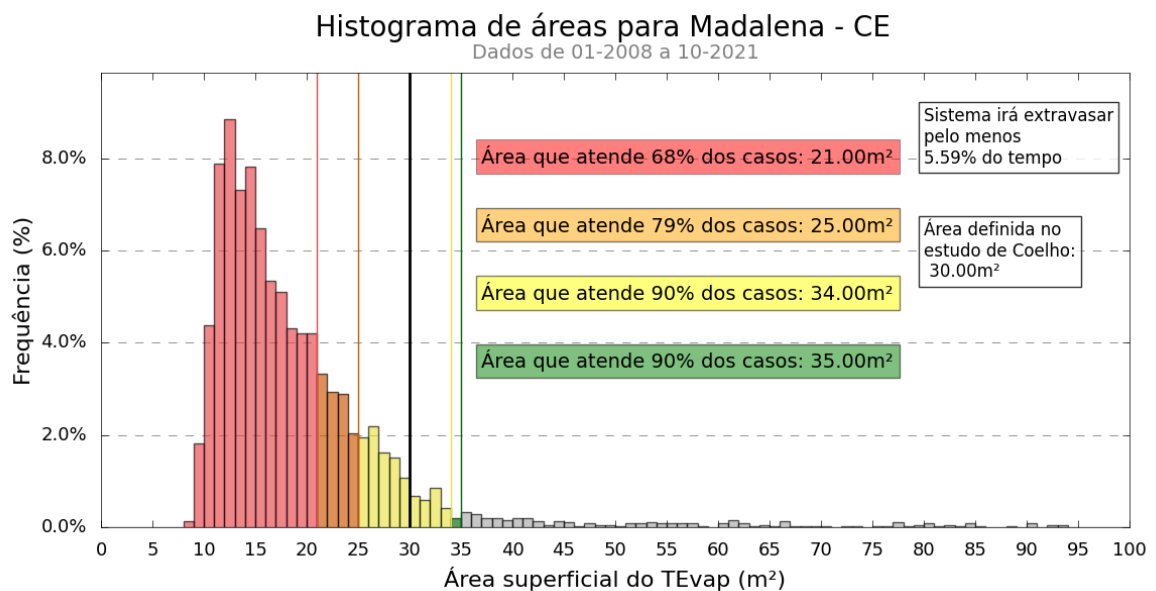
Na cidade de Campo Grande, segundo o modelo matemático e com os dados de entrada conforme descrito na subseção 3.2.1.1, o sistema irá extravasar no mínimo em $0,88\%$ dos dias, podendo extravasar mais em decorrência da área escolhida para o TEvap, conforme representa a FIGURA 13. Para a área calculada por Galbiati de $11,6 \text{ m}^2$, considerados os mesmos parâmetros, os resultados mostram que ela permitirá que o TEvap não extravase em aproximadamente 73% dos dias. Para que a área abranja 95% dos dias sem extravasamento, é necessário que o sistema tenha 25 m^2 .

FIGURA 13 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPO GRANDE - MS (2008 - 2021)



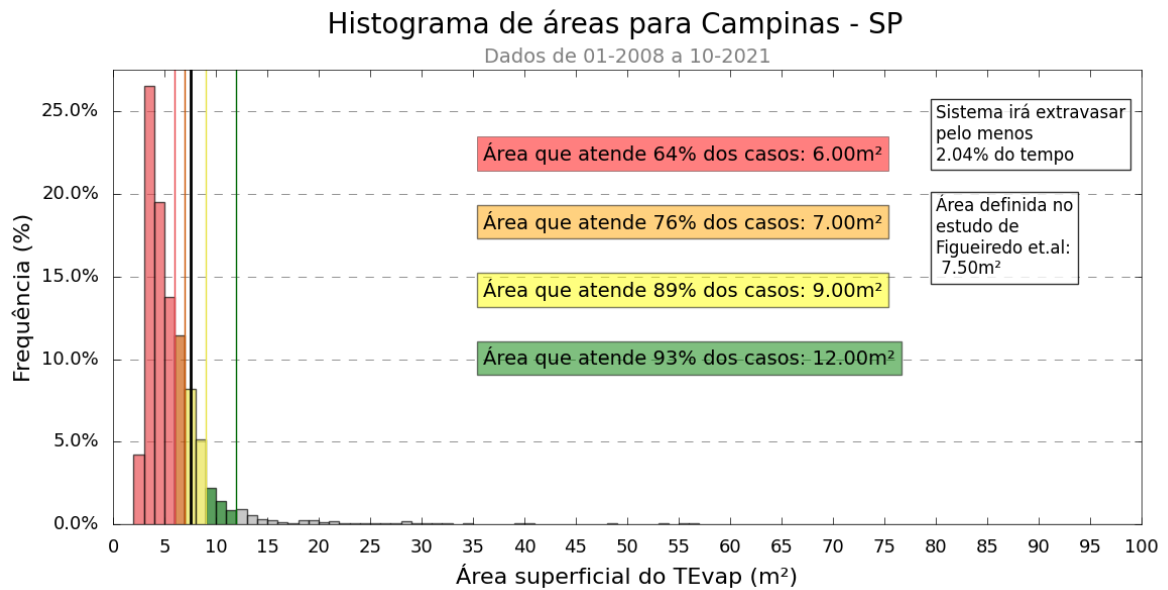
FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 14 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE MADALENA - CE (2008 - 2021)



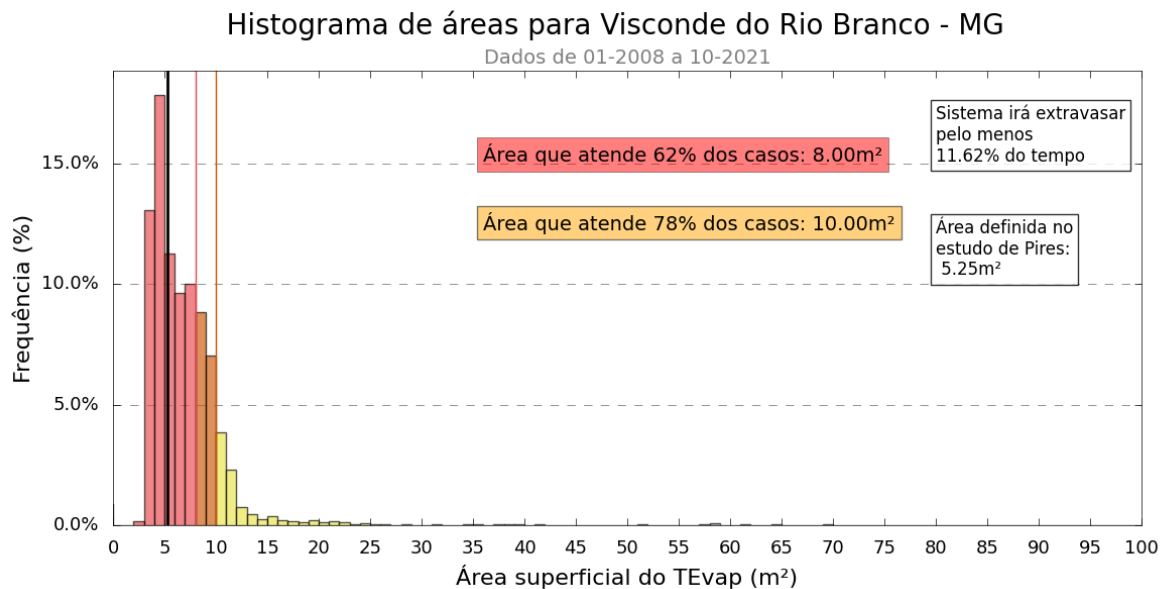
FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 15 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPINAS - SP (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 16 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE VISCONDE DO RIO BRANCO - MG (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

Conforme FIGURA 14, com as condições de entrada utilizadas conforme descrito na subseção 3.2.2.1, na cidade de Madalena o sistema irá extravasar impreteavelmente em 5,59% dos dias. A área utilizada no estudo de Coelho, atende cerca de 87% dos casos. Para que o sistema atenda 90% dos casos é necessária uma área de 34 m².

Para cidade de Campinas, com as condições de entrada utilizadas na subseção 3.2.3.1, o TEvap irá extravasar pelo menos em 1,30% dos dias. Conforme FIGURA 15, a área definida por (FIGUEIREDO; SANTOS; TONETTI, 2018) atende cerca de 80% dos casos. Para atender cerca de 95% dos casos seria necessária uma área de $12 m^2$.

Na cidade de Visconde do Rio Branco, conforme FIGURA 16, para os dados de entrada utilizados conforme descrito na subseção 3.2.4.1, o tanque irá extravasar ao menos 11,62% do tempo. A área utilizada no estudo de Pires atende a cerca de 33% dos casos. Para atender 78% dos casos seria necessária uma área de $10 m^2$.

4.3 COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE CADA LOCAL COM DADOS PADRONIZADOS

Nesta seção, com objetivo de comparação sobre as diferenças de comportamento do TEvap entre as diferentes localidades, os dados de entrada do modelo foram padronizados para todos os locais, conforme descrito na subseção 3.2.5.1, havendo em cada um a análise de duas situações de infiltração de água no solo.

Analisando os cenários (a) das FIGURAS 17 a 21, onde os coeficientes de infiltração de água da chuva são de 25%, observa-se que uma área de $7 m^2$ funciona de modo ideal em cerca de 84% do tempo em Campo Grande, 93% do tempo em Madalena, 79% do tempo em Campinas, 66% do tempo em Visconde do Rio Branco e 61% do tempo na Ilha do Mel.

Analisando os cenários (b) das FIGURAS 17 a 21, onde os coeficientes de infiltração de água da chuva são de 50%, observa-se que uma área de $7 m^2$ funciona de modo ideal em cerca de 79% do tempo em Campo Grande, 90% do tempo em Madalena, 74% do tempo em Campinas, 62% do tempo em Visconde do Rio Branco e 56% do tempo na Ilha do Mel. Na TABELA 4 há um resumo desses cenários.

Diante do exposto, nota-se que, para uma mesma área, a cidade Madalena, localizada no clima semi-árido, chega a abranger mais 90% dos casos sem extravasar, enquanto na Ilha do Mel, localizada no clima subtropical úmido sem seca, a mesma área atende no máximo a 61% dos casos sem extravasamento.

Como esperado observando-se a equação do balanço hídrico (EQUAÇÃO 3.18), na cidade com menos precipitação, Madalena, a influência do aumento do coeficiente de infiltração de 25 para 50% acarretou um acréscimo de cerca de 3% no tempo que impreterivelmente há extravasamento, enquanto que para o local com mais precipitação, Ilha do Mel, o mesmo aumento no coeficiente de infiltração de água da chuva, resultou em um acréscimo de mais de 7% nos casos de extravasamento inevitáveis. Portanto possível observar a grande influência que o coeficiente de infiltração de água da chuva pode ter na quantidade de tempo que o sistema irá extravasar, conforme dados resu-

midos na TABELA 5. Desse modo é de extrema importância evitar ao máximo essa infiltração.

TABELA 4 – RESUMO DA PORCENTAGEM DE TEMPO SEM EXTRAVASAMENTO PARA ÁREA DE $7 M^2$

Local do Estudo	Campo Grande - MS	Madalena - CE	Campinas - SP	Visconde do Rio Branco - MG	Ilha do Mel - PR
$k_i = 0,25$	84%	93%	79%	66%	61%
$k_i = 0,50$	79%	90%	75%	62%	56%

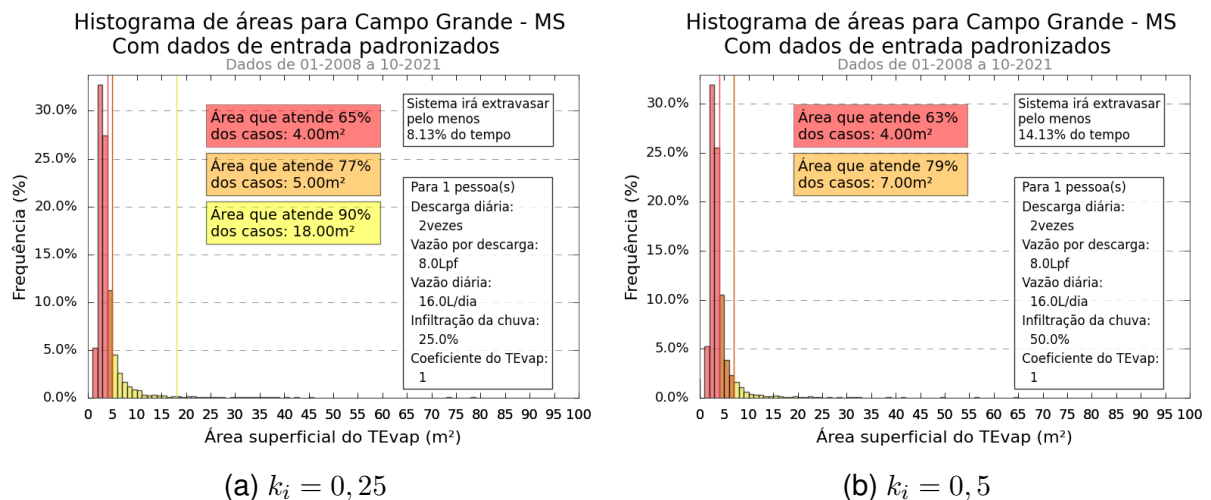
FONTE: A Autora (2021)

TABELA 5 – RESUMO DA PORCENTAGEM MÍNIMA DE EXTRAVASAMENTO PARA CADA LOCAL

Local do Estudo	Campo Grande - MS	Madalena - CE	Campinas - SP	Visconde do Rio Branco - MG	Ilha do Mel - PR
$k_i = 0,25$	8,13%	2,85%	7,91%	8,83%	17,14%
$k_i = 0,50$	14,13%	5,76%	13,33%	13,72%	24,86%

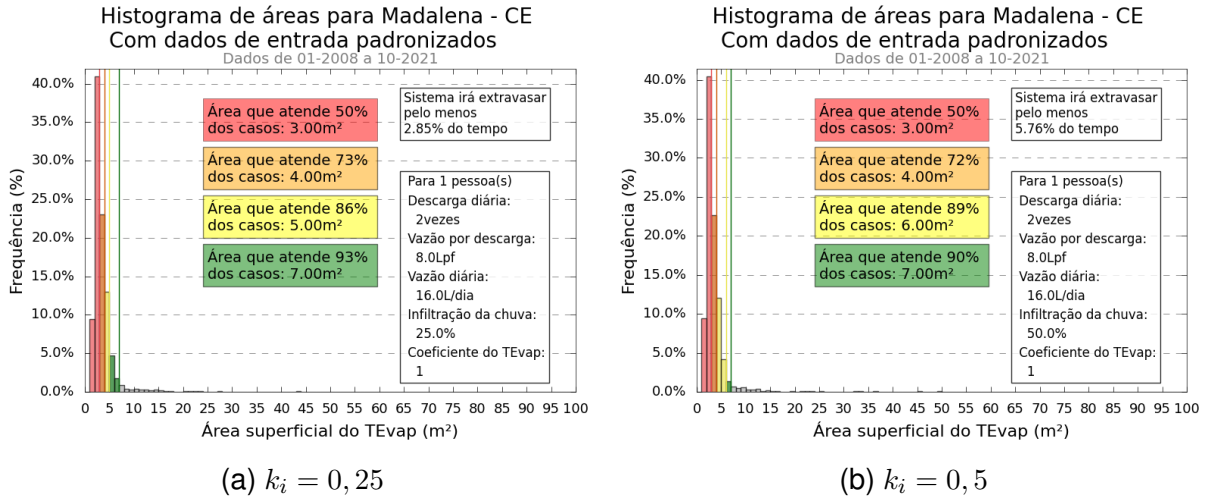
FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 17 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPO GRANDE/MS COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)



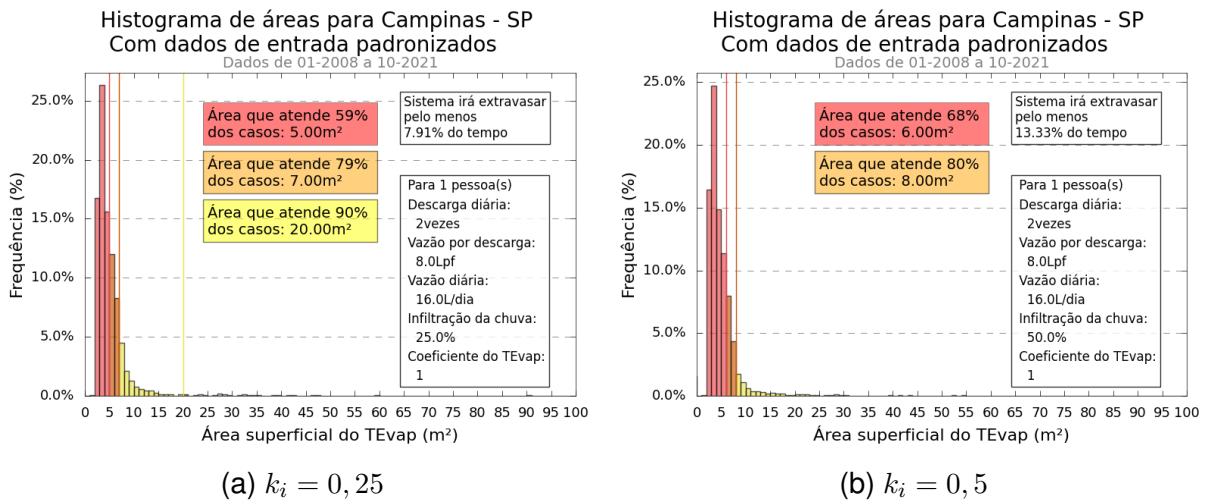
FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 18 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE MADALENA/CE COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

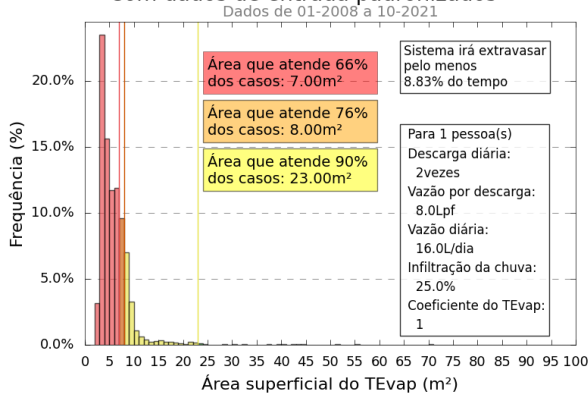
FIGURA 19 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE CAMPINAS/SP COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)



FONTE: A Autora (2021)

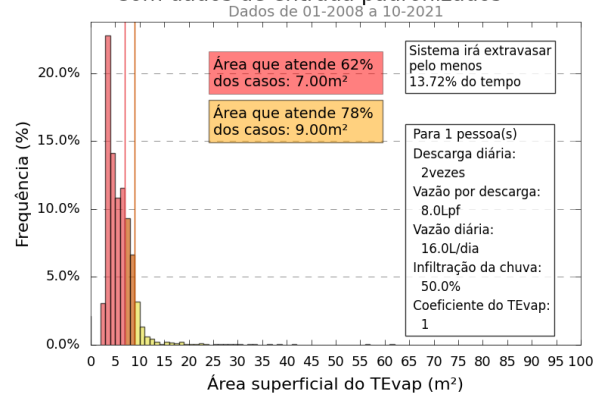
FIGURA 20 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DE VISCONDE DO RIO BRANCO/MG COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2021)

Histograma de áreas para Visconde do Rio Branco - MG Com dados de entrada padronizados



(a) $k_i = 0,25$

Histograma de áreas para Visconde do Rio Branco - MG Com dados de entrada padronizados

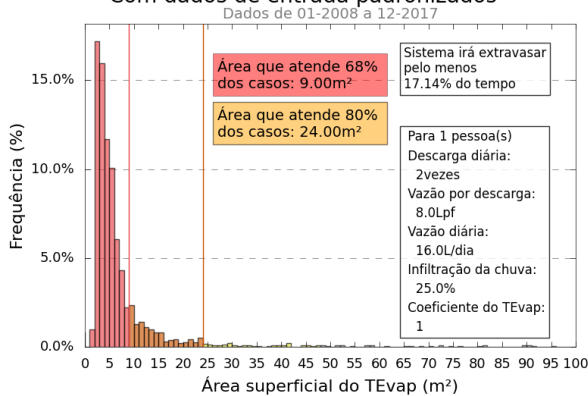


(b) $k_i = 0,5$

FONTE: A Autora (2021)

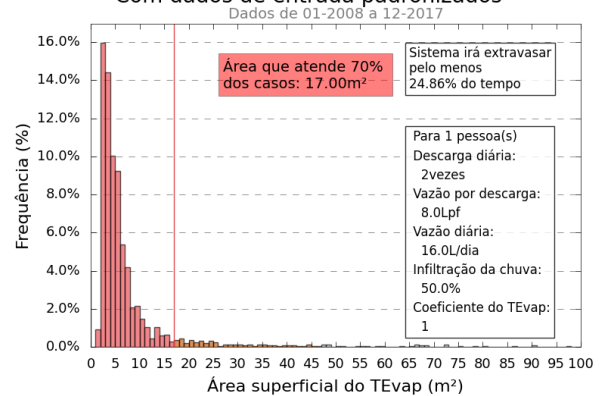
FIGURA 21 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DA ILHA DO MEL/PR COM DADOS PADRONIZADOS (2008 - 2017)

Histograma de áreas para Ilha do Mel - PR Com dados de entrada padronizados



(a) $k_i = 0,25$

Histograma de áreas para Ilha do Mel - PR Com dados de entrada padronizados



(b) $k_i = 0,5$

FONTE: A Autora (2021)

5 CONCLUSÃO

O modelo matemático implementado se mostrou uma boa ferramenta para avaliar tanto o balanço hídrico do TEvap, permitindo realizar o dimensionamento da área ideal do sistema e a previsão de extravasamento para uma área escolhida de acordo com dados meteorológicos do local, quanto a relação entre a precipitação e evapotranspiração de alguma localidade. O modelo desenvolvido carrega consigo a confiabilidade do modelo Penman-Monteith, um método consagrado internacionalmente.

O dimensionamento de TEvap ainda é feito de modo empírico, sendo recomendado pela FUNASA o uso de $2m^2$ por pessoa. Porém, as avaliações das evapotranspirações realizadas neste trabalho mostram que, comparativamente, se Campo Grande necessita de uma área de $2m^2$ por pessoa, a Ilha do Mel com certeza necessita de uma área maior e as cidades de Campinas e Visconde do Rio Branco provavelmente necessitarão de uma área maior que o estabelecido pela FUNASA para resultarem em um mesmo período ideal de funcionamento do sistema.

O uso do Tanque de Evapotranspiração é uma boa alternativa de tratamento de esgoto, principalmente em locais com lençol freático próximo à superfície do solo, pois, sendo um sistema impermeabilizado, ele evita o contato do efluente bruto que entra no tanque com a água do lençol freático. Entretanto, ele pode exigir uma área muito grande para um funcionamento ideal, principalmente em locais onde a média da taxa de precipitação é maior que a média da taxa de evapotranspiração. Portanto, de acordo com os resultados deste trabalho, a depender de alguns fatores construtivos e outros fatores ambientais/climáticos, pode ocorrer extravasamentos do sistema.

Antes da construção de um TEvap em qualquer localidade é necessário avaliar alguns quesitos da região. O primeiro são as taxas de precipitação e evapotranspiração do local. Caso seja um local onde a taxa de precipitação é maior que a evapotranspiração, assim como a Ilha do Mel, é interessante utilizar o TEvap em conjunto com outro sistema para a destinação final do efluente extravasado. Apesar da FUNASA na CataloSan (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018) identificar o TEvap como um sistema completo de tratamento de esgoto, para determinadas situações e localidades é interessante utilizá-lo em conjunto com algum outro sistema, descritos nessa cartilha como sistemas de "Reuso ou Destinação Final", tal como o círculo de bananeiras ou a vala de infiltração, por exemplo. Além disso, em locais com valores altos de precipitação, torna-se especialmente importante evitar ao máximo a infiltração de água da chuva através de aspectos construtivos e de manutenção.

Os próximos passos para melhorar o modelo matemático deste trabalho são:

a identificação de valores de coeficiente do tanque de evapotranspiração (k_{tevap}) que possam representar melhor a relação entre a evapotranspiração do tanque e a de referência, obtendo coeficientes que possam dar maior confiabilidade ao cálculo de acordo com a localidade de construção do TEvap e as plantas utilizadas; a identificação da influência que cada condição de construção e manutenção (solo abaolado ou não, existência ou não de matéria orgânica seca recobrindo o solo...) tem sobre o coeficiente de infiltração (k_i) e a averiguação em campo os resultados das simulações do modelo, através da comparação dos eventos reais de extravasamentos com as previsões de extravasamento.

Parte II

Estudo de Caso na Ilha do Mel

6 INTRODUÇÃO

Antes dos anos 70 a Ilha do Mel era habitada quase totalmente por moradores nativos que praticavam atividades de subsistência. Nesse período a grande maioria morava na Ponta Oeste, local que costumava ser a parte principal da ilha, possuindo inclusive escola, igrejas e a única Zona Eleitoral da ilha (HARDER; FREITAS, 2015).

A partir dos anos 70 ocorreram alguns fatores que, posteriormente, mudaram por completo a dinâmica social da Ilha do Mel. Ocorreu uma drástica redução na densidade populacional de peixes (HARDER; FREITAS, 2015), na mesma época também foi inaugurada a BR-277, facilitando o acesso às praias do Paraná (HARDER; FREITAS, 2015). Além disso, em 1975 a Ilha do Mel foi tombada como Patrimônio histórico-cultural do Estado do Paraná (DENKWICZ et al., 2021).

No ano de 1982 a primeira Unidade de Conservação (UC) da Ilha do Mel foi criada, a Estação Ecológica, porém ela foi imposta à comunidade, sem participação popular (DENKWICZ et al., 2021), processo que restringiu o modo de vida dos habitantes da ilha. Então em 1985 a maioria da população que morava na Ponta Oeste iniciou um processo de migração forçada (HARDER; FREITAS, 2015).

Atualmente, com essa restrição de atividades permitidas na Ilha do Mel devido à existência das UCs de Estação Ecológica e Parque Estadual, a principal fonte de renda da maioria da população residente é o turismo, com exceção das famílias que restaram na Ponta Oeste, pois o turismo nessa localidade é praticamente inexistente (DENKWICZ et al., 2021).

Além disso, a Ilha do Mel é uma localidade que há décadas possui problemas com o esgotamento sanitário. O tipo de tratamento de esgoto mais utilizado na ilha são as fossas rudimentares, que se mostram ineficientes para essa localidade, pois, mesmo em período sem influência turística, a Ilha do mel apresentou poluição em suas águas (PARANÁ IAP, 2012). Então o fato do turismo ser principal fonte de renda da população local culmina na intensificação desse problema.

Quando direcionamos o foco para a Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim e o Colégio Estadual Felipe Valentim, que funcionam no mesmo edifício, os problemas de saneamento básico se tornam ainda mais evidentes. Em abril de 2022 a equipe do Projeto Baías - Educação e Saneamento trabalhou na escola para trazer uma solução de esgotamento sanitário ao local. Durante o processo de cavação, em diversos pontos foram encontrados resíduos cuja destinação final foi o enterramento no terreno da escola. Além disso, ao aterrar fossas abandonadas, a equipe observou que as mesmas serviam de criadouro de vários animais vetores de doenças, tal como

baratas e mosquito *Aedes aegypti*.

Em 2018 Oliveira (2018) já havia trazido em seu trabalho o problema de esgotamento sanitário nessa escola, relatando que, em momentos de extravasamento da fossa, o esgoto escorria pela trilha ao lado da escola e no próprio local de lazer das crianças, havendo, assim, exposição delas à situações insalubres. O foco do trabalho de Oliveira (2018) foi justamente trazer uma solução à essa situação, propondo a implantação de um Tanque de Evapotranspiração em conjunto com um Círculo de Bananeiras nesse ambiente escolar. O trabalho de Oliveira (2018) inspirou a criação deste trabalho.

Dentro desse cenário, o objetivo desta parte do trabalho foi estudar o dimensionamento e a viabilidade da implantação de Tanque de Evapotranspiração como solução para o esgotamento sanitário do local onde funcionam a Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim e o Colégio Estadual Felipe Valentim, na comunidade de Encantadas - Ilha do Mel.

7 REVISÃO TEÓRICO EMPÍRICA

7.1 BREVE HISTÓRIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As Unidades de Conservação surgem na intenção de efetivar a proteção ambiental de determinadas áreas naturais com elevada importância em seu contexto. A primeira UC oficialmente criada foi o Parque Nacional de *Yellowstone*, em 1872 nos Estados Unidos (DENKWICZ et al., 2021). Segundo Diegues (2008) sua criação foi baseada no mito da "natureza intocada", que provém do naturalismo, o qual defendia que a única forma de proteger a natureza era afastá-la do ser humano. Porém, Ellen (1989) afirma que esse "estado puro" da natureza não existe, pois essas áreas consideradas intocadas geralmente já foram manipuladas pelo ser humano, caracterizando assim o *mito* da natureza intocada ((ELLEN, 1989 apud DENKWICZ et al., 2021)). E esse mito, segundo Diegues (2008), foi repassado a países em desenvolvimento, como o Brasil, que possuem características sociais, culturais e ambientais muito diferentes pois nestes países há populações tradicionais vivendo nessas áreas naturais de elevada importância.

As políticas públicas brasileiras, inclusive ambientais, por muito tempo não foram criadas de forma participativa com a sociedade civil pois o estado possuía um modelo político autoritário e burocrático ((CÂMARA, 2013)). Esse cenário de imposição de políticas ambientais sem participação social teve um início de mudança primeiramente pela estimulação da gestão participativa pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei N° 6.938/1981 (BRASIL, 2010), posteriormente através do marco da redemocratização do Brasil, a Constituição de 1988 (BRASIL, 2020a), que em seu artigo 225 prevê como direito de todos ter o meio ambiente preservado mas o dever de defendê-lo e preservá-lo não é apenas do poder público, mas também do coletivo (OLIVEIRA SOARES; MIRANDA; SILVA MOURÃO, 2020).

Retomando o foco nas Unidades de Conservação, a primeira unidade criada no Brasil foi o Parque Nacional do Itatiaia - RJ no ano de 1937 (DENKWICZ et al., 2021), porém apenas no ano de 2000, através da Lei N° 9.985, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Essa legislação "estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação."(BRASIL, 2000). Foi o SNUC que consolidou a participação popular nos processos de criação e gestão das UCs (OLIVEIRA SOARES; MIRANDA; SILVA MOURÃO, 2020), garantindo a participação das populações locais e outros atores presentes nesses processos.

O SNUC divide as UCs em dois grandes grupos, as Unidades de Proteção

Integral, que são mais restritivas, permitindo apenas o uso indireto dos recursos naturais, e as Unidades de Uso Sustentável, que são menos restritivas, permitindo o uso sustentável de parte dos recursos naturais. A seguir serão comentadas com mais detalhes apenas das Unidades que são citadas neste trabalho.

A Estação Ecológica é uma Unidade de Proteção Integral cujo objetivo é a preservação da natureza e realização de pesquisas científicas, proibindo a visitação pública quando não há finalidade educacional. O Parque Estadual também é uma Unidade de Proteção Integral cujo objetivo é "a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica", onde é permitido o turismo ecológico, a recreação em contato com a natureza, a realização de pesquisas científicas e a realização de atividades de educação ambiental. Em ambos tipos de UC, no caso de haverem moradores/propriedades particulares na área delimitada como proteção, a lei prevê que eles sejam desapropriados pois o local passa a ser de posse e domínio públicos (BRASIL, 2000).

7.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - ILHA DO MEL

A Ilha do Mel (FIGURA 22) está localizada na foz do Complexo Estuarino de Paranaguá. Ao norte da ilha se encontra a Ilha das Peças e ao sul o Balneário de Pontal do Sul, na cidade de Pontal do Paraná. Sua área é de 2.762 *ha*, sendo que a UC Estação Ecológica possui uma área de 2.240,69 *ha*, correspondendo a aproximadamente 81% da área total, e a UC Parque Estadual possui uma área de 337,84 *ha*, cerca de 12% da ilha. No total aproximadamente 93% da Ilha do Mel é constituída por área de proteção (PARANÁ, G. D. E. D., 2012)(PARANÁ IAP, 2012).

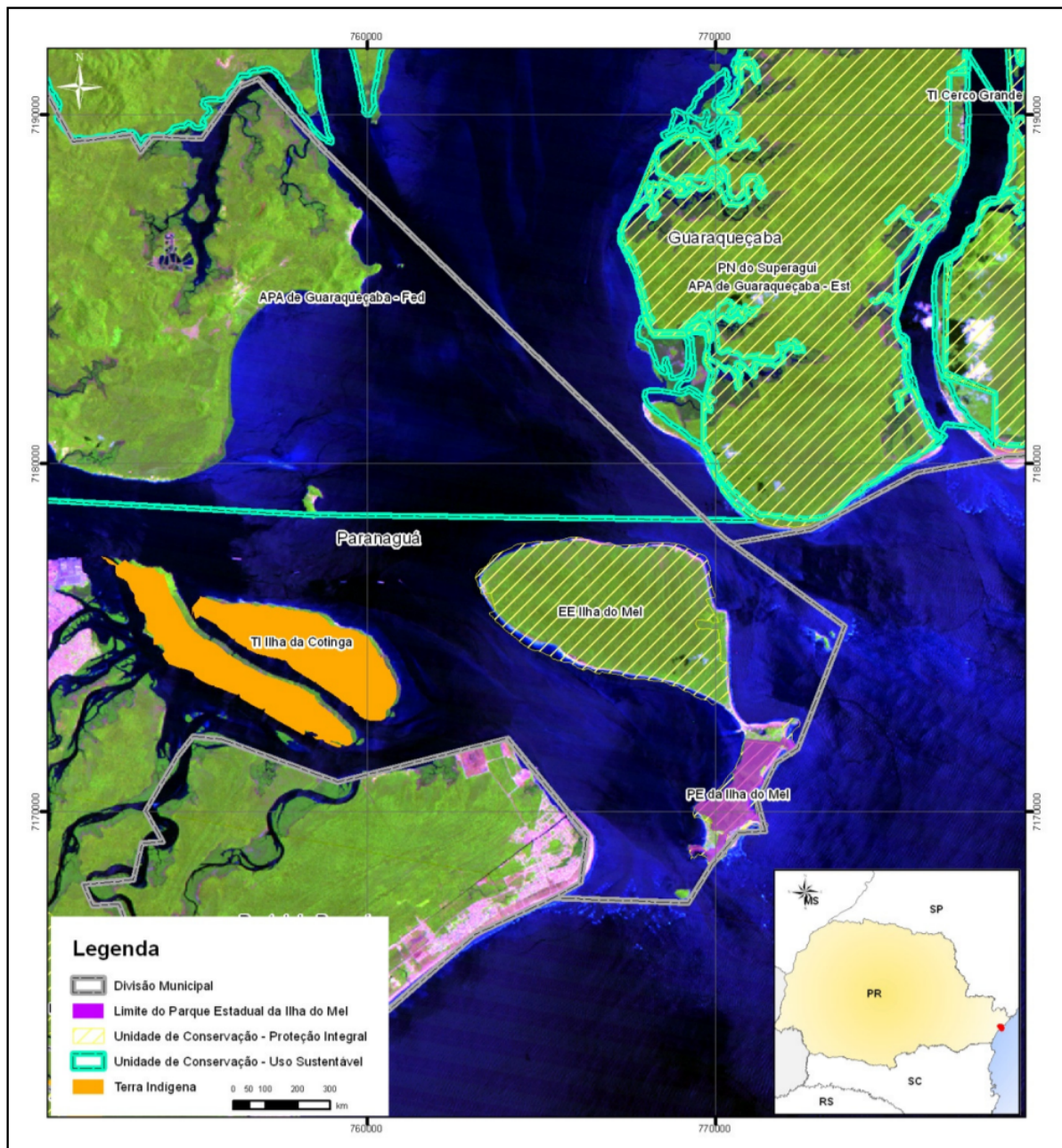
Popularmente a Ilha do Mel é dividida em duas grandes comunidades: Nova Brasília e Encantadas, pois são os locais que se encontram os trapiches para as embarcações que vem do continente. Entretanto, segundo o Plano de Manejo do Parque Estadual e o da Estação Ecológica da Ilha do Mel, ela é dividida em seis comunidades (FIGURA 23): Nova Brasília, Encantadas, Praia Grande, Vila do Farol, Fortaleza e Ponta Oeste (PARANÁ IAP, 2012). Contudo, as comunidades de Praia Grande e Ponta Oeste não são oficialmente reconhecidas pelo Estado, e as comunidades que são reconhecidas são chamadas de Setores de Ocupação (PARANÁ IAP, 2012).

Conforme já mencionado, até os anos 70 os habitantes da Ilha do Mel eram quase somente nativos que viviam de atividades de subsistência, como pesca e plantio, sendo que a região mais habitada e estruturada da ilha era a Ponta Oeste, local que possuía escola, igrejas e a única Zona Eleitoral da ilha (HARDER; FREITAS, 2015).

No ano de 1975 a Ilha do Mel foi tombada como Patrimônio histórico-cultural do Estado do Paraná com a intenção de "impedir o turismo predatório e conservar os

hábitos culturais e a vegetação natural". Essa ação ocorreu pois desde 1970 começaram a surgir propostas de urbanização na Ilha do Mel, ao mesmo tempo em que as preocupações sobre as questões ambientais também aumentaram. A partir desse momento toda nova infraestrutura da ilha deveria passar pela aprovação do conselho do Patrimônio Histórico e Artístico do Paraná (DENKWICZ et al., 2021).

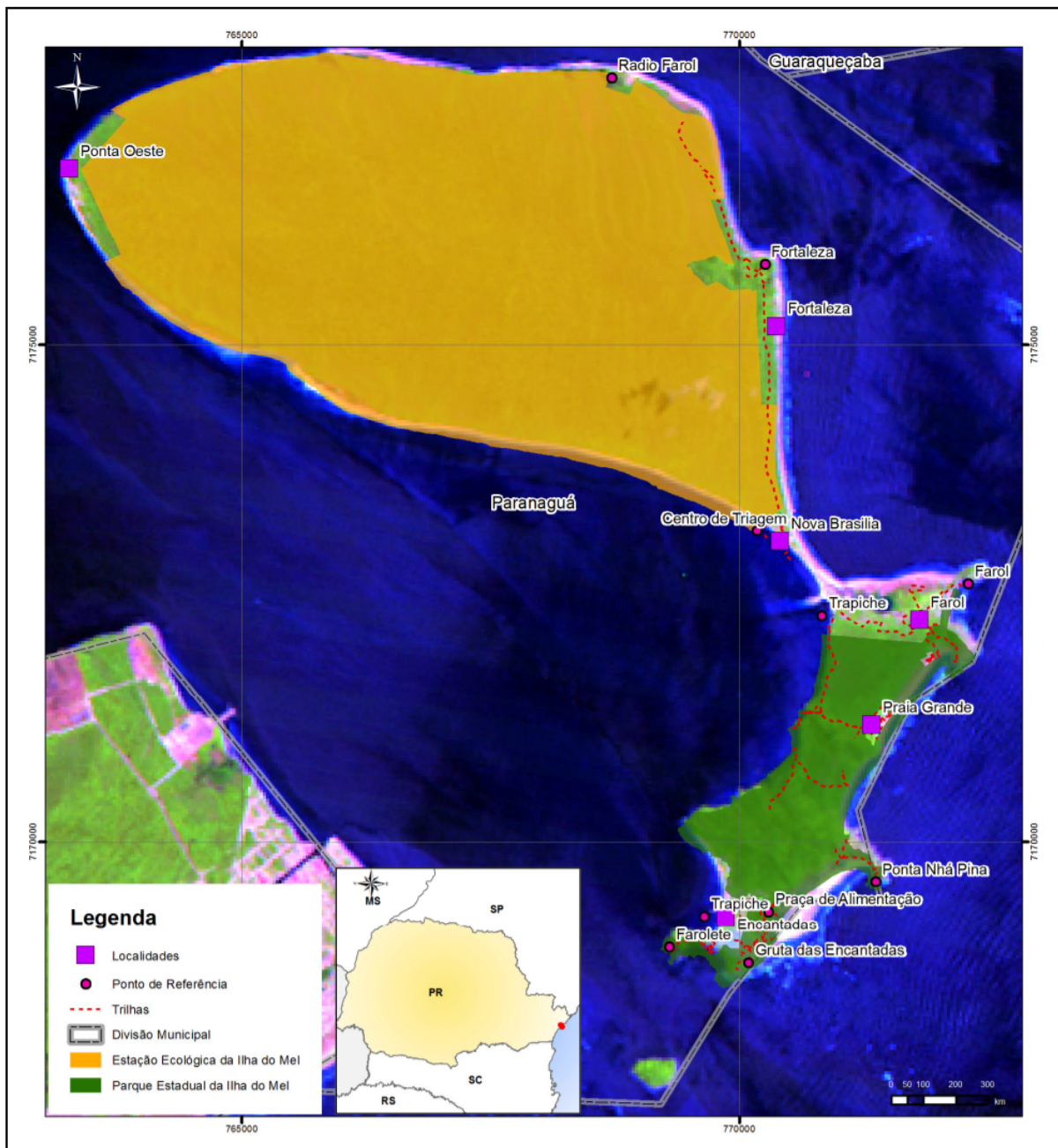
FIGURA 22 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL E SUAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO



Fonte: STCP Engenharia de Projetos Ltda., 2011.

FONTE: Paraná IAP (2012)

FIGURA 23 – COMUNIDADES DA ILHA DO MEL



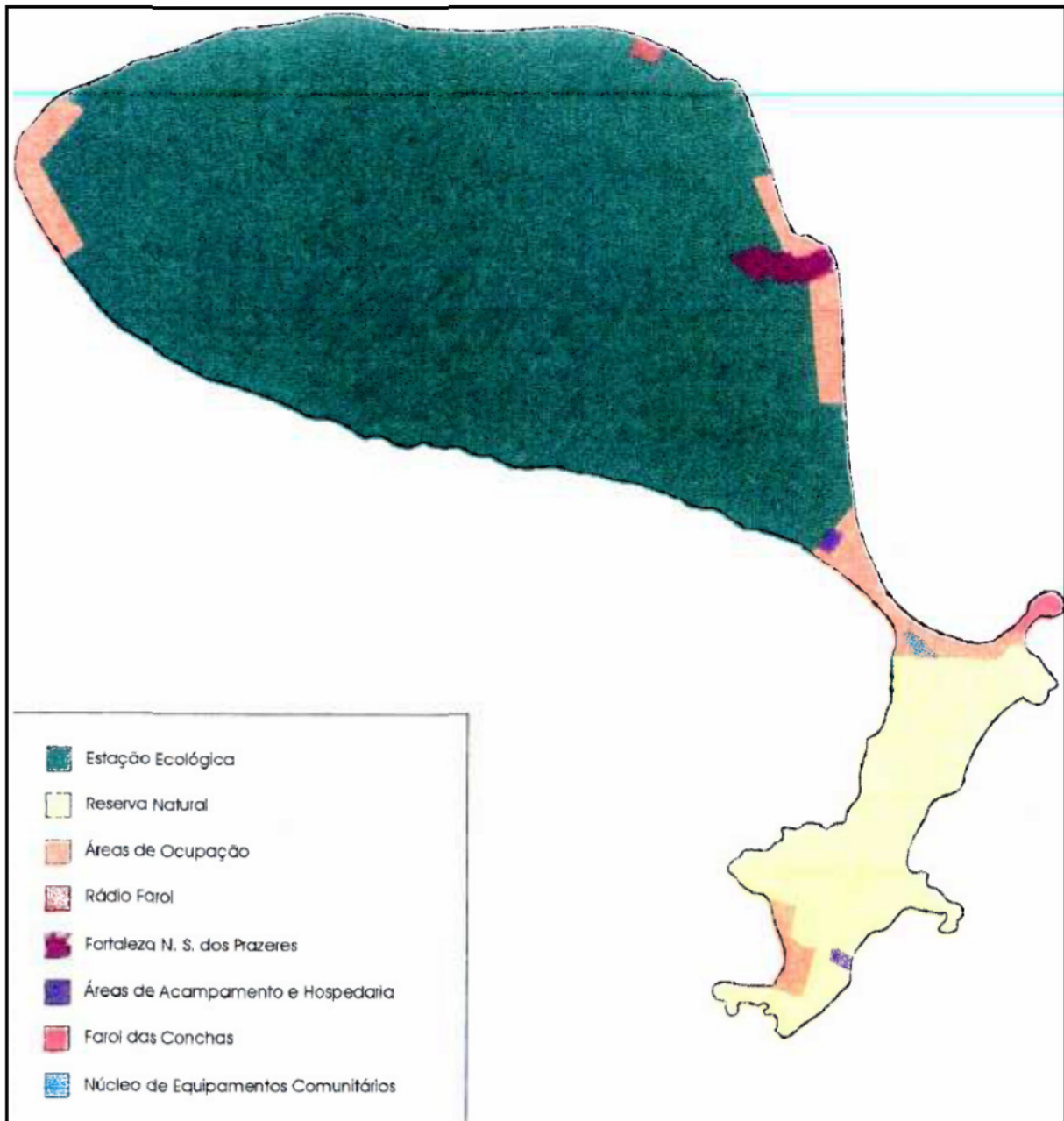
Fonte: STCP Engenharia de Projetos Ltda., 2011.

FONTE: Paraná IAP (2012)

Anos antes do tombamento da Ilha do Mel como patrimônio do estado, o acesso aos portos de Antonina e Paranaçu foi modificado do Canal do Norte, localizado ao norte da ilha, para o Canal da Galheta, localizado ao sul da Ilha do Mel, entre a ilha e o balneário de Pontal do Sul, devido ao aumento das atividades portuárias. Essa modificação provocou uma alteração na comunidade de peixes nos arredores da Ponta Oeste, reduzindo, inclusive, a densidade populacional das principais espécies pesqueiras do local. Tendo em vista que na época os moradores estavam concentrados

na Ponta Oeste e que a pesca era a principal atividade de subsistência dessa população, essa alteração na fonte de renda central da população foi responsável pelo primeiro fluxo migratório para fora da Ponta Oeste (HARDER; FREITAS, 2015).

FIGURA 24 – USO DO SOLO DA ILHA DO MEL EM 1981



Fonte: ITCF/CEEILP, 1981 *apud* IAP, 1996.

FONTE: GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (2012)

No ano de 1981 foi instituído o Plano de Uso da Ilha do Mel, definindo a ocupação do uso do solo da ilha (FIGURA 24) e já reservando a área para a UC de Estação Ecológica que veio a ser institucionalizada na sequência (PARANÁ, G. D. E. D.,

2012). Finalmente no ano de 1982, através do Decreto 5.454/1982 (PARANÁ, E. D., 1982), foi criada a primeira Unidade de Conservação da ilha, a Estação Ecológica da Ilha do Mel. Conforme já descrito, esse tipo de UC não permite o uso direto dos recursos naturais. Então a situação era de uma comunidade que já estava sofrendo impactos ambientais indiretos dos portos, estava em uma nova situação imposta de precisar de autorização de um conselho governamental para fazer qualquer tipo de alteração de infraestrutura por conta do tombamento e a partir da criação da Estação Ecológica, sem prévio diálogo nem participação da comunidade, agora passava a não ser autorizada a praticar suas atividades de subsistência, como fazia anteriormente (HARDER; FREITAS, 2015).

Como os moradores da Ponta Oeste foram desapropriados com a instalação da Estação Ecológica, em 1985 foi iniciado o processo de migração forçada de famílias desta localidade para Paranaguá em um primeiro momento, e para outras regiões da própria ilha em anos seguintes, durando até 1992 (HARDER; FREITAS, 2015). Com o decorrer dos anos o Estado foi retirando as instalações públicas, tal como a escola, e restringindo cada vez mais as ações de moradores da Ponta Oeste. Em 2011 a idade média das 25 pessoas residentes no local era de 61 anos, uma população envelhecida, que segue resistindo sem acesso à energia elétrica e com acesso restrito às fontes de água potável (HARDER; FREITAS, 2015).

A criação do Parque Estadual da Ilha do Mel aconteceu em 2002, através do Decreto Nº 5.506 do Governo do Paraná. O principal motivo da criação foi a não existência na legislação brasileira da categoria de Reserva Natural, utilizada desde o Plano de Uso da Ilha do Mel em 1981 (FIGURA 24) até aquele momento, não havendo, assim, instrumento jurídico de proteção (PARANÁ IAP, 2012).

Devido a toda mudança da dinâmica socioambiental da ilha para se adequar ao que é permitido pelo órgão ambiental (chamado Instituto Ambiental do Paraná - IAP - até 2019 e então passando a se chamar Instituto de Água e Terra - IAT), através da legislação do SNUC (BRASIL, 2000), a principal fonte de renda da maioria da população residente passou a ser o turismo, com exceção das famílias que restaram na Ponta Oeste, pois o turismo nessa localidade é praticamente inexistente (DENKWICZ et al., 2021).

Junto desse cenário, a Ilha do Mel é uma localidade que há décadas possui problemas com o esgotamento sanitário, pois essa questão por muito tempo não era vista como relevante, seguindo o padrão de desenvolvimento socioeconômico sem considerar o lado sustentável¹. A principal forma de esgotamento adotada no local é

¹ A concepção de desenvolvimento sustentável só veio a ser definida em 1987 no Relatório de Brundtland, porém até hoje ela ainda não está bem enraizada, muito disso por conta da visão capitalista de lucro a qualquer custo, deixando questões socioambientais em segundo plano (CARVALHO, N. L. et al., 2015).

o uso de fossas, que muitas vezes não são nem sépticas, mas sim rudimentares, ou seja, apenas valas cavadas no solo e algumas vezes possuindo uma brita ao fundo. Esse tipo de tratamento não é eficiente nessa localidade devido ao lençol freático estar muito próximo à superfície do solo e à dificuldade de realizar a limpeza regular de fossas sépticas (PARANÁ IAP, 2012). Então temos um local com uma população fixa de 1.094 moradores, segundo o Censo do IBGE de 2010 (PARANÁ IAP, 2012), mas que pode receber diariamente até 5 mil turistas (PARANÁ IAP, 2012), e somado a isso é um local que, mesmo sem a influência turística, já possui suas águas poluídas devido ao alto déficit na questão de tratamento de esgoto (OLIVEIRA ESTEVES, 2005). Portanto o turismo, principal fonte de renda da população local, acaba intensificando esse problema, mas ele permanece presente mesmo em períodos que não há essa influência.

Como resultado de um crescimento desordenado da ilha acrescido de uma falta de fiscalização, aconteceu a compra de terrenos de moradores de baixa renda por pessoas externas (PARANÁ IAP, 2012). Atualmente muitos desses terrenos são pousadas. Desse modo, o que restou para a maioria dos moradores da nativos foi a função de empregados dessas pessoas proprietárias de pousadas e restaurantes bem estruturados, pois são raros os nativos que tem esse tipo de empreendimento (ANDREOLI, 2016).

7.3 O AMBIENTE ESCOLAR DA COMUNIDADE DE ENCANTADAS

No ano de 2018 Oliveira (2018) defendeu seu TCC trazendo a problemática do esgotamento sanitário na Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim, mesmo local onde também funciona o Colégio Estadual Felipe Valentim, localizada na comunidade de Encantadas, na Ilha do Mel-PR. Naquele momento a autora já relata a questão do extravazamento das fossas, deixando efluente de esgoto a céu aberto tanto no gramado quanto escorrendo pela trilha ao lado da escola (FIGURA 25), algo que já era uma reclamação da direção escolar.

Em 2022 a equipe do Projeto Baías - Educação e Saneamento (FIGURA 26) realizou o projeto de melhoria dos sistemas de esgotamento sanitário nas escolas da Ilha do Mel. Esses sistemas alternativos de tratamento trazem uma solução baseada no tanque de evapotranspiração para as escolas de Encantadas e de Nova Brasília. Em resumo essa inovação consiste na união de biodigestores com metade do TEvap, mantendo deste último a parte do fitro junto do plantio de espécies com alta taxa de evapotranspiração. Entre os dias 1 e 21 de abril de 2022 o sistema foi construído para a escola de Encantadas. Durante o processo de construção, foram aterradas 10 fossas que estavam desativadas, e nesses momentos apareceram diversos animais vetores de doença (FIGURA 27), tal como baratas e mosquitos *Aedes aegypti*. Comprovando,

FIGURA 25 – FOTO DO TRABALHO DE BRUNA HAKIM MOSTRANDO ESGOTO DA ESCOLA ESCORRENDO PELA TRILHA

FIGURA 7 - VAZAMENTOS DA FOSSA DO BANHEIRO, NA PRIMEIRA IMAGEM EFLUENTE ESCORRENDO PARA A TRILHA E NA SEGUNDA IMAGEM ENCANAMENTO DESCOBERTO NA ÁREA EXTERNA DA ESCOLA.



FONTE: Imagens cedidas pela diretora do colégio

FONTE: Oliveira (2018)

assim, a situação insalubre a que as crianças estavam expostas. Nesse projeto também foram realizadas palestras técnicas para toda a comunidade e gincanas de educação ambiental sobre saneamento básico com os alunos (FIGURA 28).

7.4 O TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A construção de um TEvap possui recomendações de dimensionamento relativamente variáveis justamente por ser ainda um sistema que é construído de modo empírico. O cálculo de área recomendado para construção do TEvap é de $2 m^2$ por pessoa (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018), porém, como já foi demonstrado na Parte I deste trabalho, esse valor pode variar em função das condições climáticas de onde está sendo construído o tanque. Com relação a profundidade (FIGURA 29), a recomendação é que tenha de $1 m$ a $1,20 m$ (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018), porém há estudos de TEvap funcionando normalmente com até $1,50 m$ de profundidade (PIRES, 2012).

A largura recomendada usualmente é de $2 m$ para que, seguindo o dimensionamento empírico, cada metro de comprimento represente a área equivalente a uma pessoa utilizando o sistema (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018), entretanto há estudos com largura de $2,5 m$. É importante ressaltar que o dimensionamento mais interessante

FIGURA 26 – PARTE DA EQUIPE DO PROJETO BAÍAS - EDUCAÇÃO E SANEAMENTO



FONTE: Andrieli Teixeira Ribas (2022)

é aquele que fornece a maior área superficial possível, culminando assim em uma maior exposição da superfície à radiação solar e ao vento, que juntos favorecem a evapotranspiração.

Para impermeabilização do tanque, no caso de não usar alvenaria ou ferrocimento, recomenda-se o uso geomembrana PVC ou PEAD com no mínimo $1,5\text{ mm}$ de espessura (PAULO; GALBIATI; FILHO, 2018).

A primeira camada de materiais tem uma altura recomendada de 50 a 60 cm , e, no caso do uso de pneus para a câmara de recepção, a disposição dos mesmos deve ser feita colocando pedaços de entulho entre eles para garantir um espaçamento entre cada um (FIGUEIREDO; SANTOS; TONETTI, 2018). Com relação ao dimensionamento da camada de brita, recomenda-se uma altura de 20 a 30 cm , enquanto a altura recomendado pra a camada de areia é de 10 a 20 cm e para a camada de solo, 20 a 30 cm (FIGUEIREDO; SANTOS; TONETTI, 2018).

Devido a importância de evitar ao máximo a infiltração de água da chuva, pois, conforme observado nos resultados e reforçado na conclusão da Parte I, infiltração da água da chuva tem forte influência no extravasamento do TEvap, portanto algumas questões devem ser consideradas na construção e manutenção do sistema. Primeiramente, as paredes laterais do tanque devem ultrapassar no mínimo 10 cm o nível do solo, para evitar que a água que escoe ao redor do tanque infiltre no mesmo. Com o mesmo objetivo, é importante que o solo utilizado na camada superior do tanque tenha

FIGURA 27 – FOSSA DESATIVADA SENDO ABERTA E BARATAS SAINDO DE DENTRO



FONTE: Lilian de Melo (2022)

o formato abaolado, assim como recomenda Galbiati (2009), para que a maior parte da água da chuva escoe para fora dele. Além disso, a manutenção regular do tanque deixando folhas secas por cima do solo também é uma ação importante para evitar a infiltração da água da chuva.

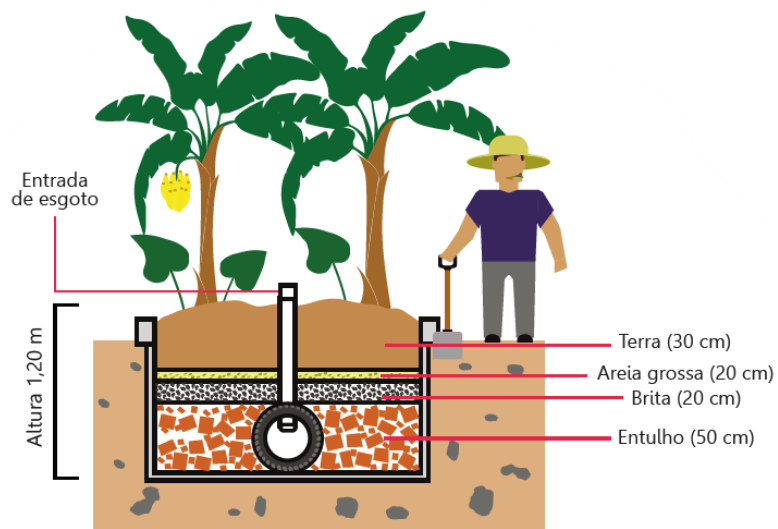
Analisando com mais detalhes a digestão anaeróbia, que ocorre na primeira camada do TEvap, temos a sequência metabólica representada na FIGURA 30. O grupo de bactérias que inicia esse processo é das bactérias fermentativas, que estão representadas pela letra A na figura. Porém a primeira fase, chamada de hidrólise, onde ocorre a quebra das macromoléculas (polímeros) em moléculas menores, ocorre

FIGURA 28 – GINCANA SOBRE SANEAMENTO BÁSICO



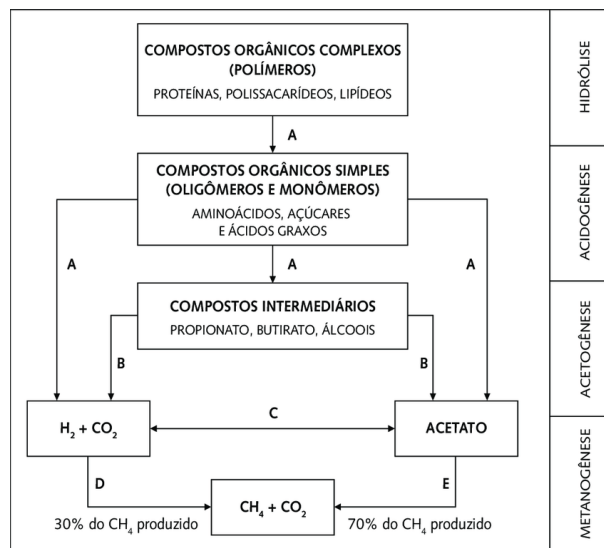
FONTE: Andrieli Teixeira Ribas (2022)

FIGURA 29 – DESENHO DE UM TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO - VISTA FRONTAL



FONTE: Figueiredo, Santos e Tonetti (2018)

FIGURA 30 – ESQUEMÁTICO DA SEQUÊNCIA METABÓLICA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA



FONTE: Fuess e Garcia (2012)

no exterior das células através de exoenzimas que bactérias fermentativas hidrolíticas liberam. Somente após a quebra das macroléculas que os materiais são capazes de adentrar na parede celular das bactérias. Então ocorre a fase da Acidogênese: no interior das células de bactérias fermentativas acidogênicas os compostos mais simples (monômeros e oligômeros) são transformados principalmente em ácidos graxos voláteis, mas também álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Na fase das Acetogênese as bactérias acetogênicas, representadas pela letra B na figura, realizam a oxidação dos compostos intermediários em produtos que servirão de substrato para as bactérias metanogênicas: hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Na última fase representada na imagem, a metanogênese, ocorre a degradação de compostos orgânicos nos gases metano e gás carbônico através das bactérias metanogênicas. Mas esse último grupo de bactérias ainda é subdividido nas metanogênicas acetoclásticas, representadas pela letra E na figura, que geram metano a partir do acetato; e as metanogênicas hidrogenotróficas, representadas pela letra D, que produzem metano a partir de hidrogênio e gás carbônico (LEMONS CHERNICHARO, 1997). Segundo Cicerone e Oremland (1988), é possível que o metano gerado seja consumido pelas bactérias metanotróficas ao passar pela camada de solo, pois essas bactérias são capazes de oxidar o metano (in Galbiati (2009)).

Oliveira (2018) em seu trabalho sobre a implantação do TEvap na mesma área escolar da Ilha do Mel, escolheu as plantas a serem inseridas no TEvap com base nos seguintes critérios: "taxa de evapotranspiração da cultura (ETc), crescimento rápido, preferência a espécies nativas, tolerância a ambientes alagados, resistência e adaptação à região, potencial alimentício e paisagístico". Chegando nas espécies

definidas na FIGURA 31. Porém, por recomendação da observação e experiência da Dra. Tamara Simone van Kaick, a Taboa não é uma espécie propícia para o uso no TEvap, pois não possui uma boa taxa de evapotranspiração (com. pess.).

FIGURA 31 – PROPOSTA DE ESPÉCIES PARA TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO INSTALADO NA ILHA DO MEL - PR

Espécie	k_c	Referência	Nome popular
<i>Musa spp.</i>	Fase crescimento: 0,92 Floração: 1,07 Produção: 0,98	Barroso et al. (2010)	Bananeira
<i>Heliconia psittacorum</i> <i>L x H. spathocircinata</i> (Arist)	Fase inicial: 0,29 Vegetativa: 0,60 Floração: 0,92	Monteiro et al. (2006)	Helicônia papagaio
<i>Typha domingensis</i>	1,3	Glenn et al. (1995) apud Amaral (2013)	Taboa
<i>Carica papaya L.</i>	0,87	Posse et al. (2008)	Mamoeiro

FONTE: Oliveira (2018)

8 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos projeto do TEvap, inicialmente foi realizada uma visita à escola no dia 23 de fevereiro de 2021, para avaliar o local, a quantidade e localização dos banheiros, verificar qual seria o local mais adequado para construção do sistema e confirmar o interesse e a demanda pela instalação desse tipo de tratamento de esgoto. Portanto as informações são referentes à esta data.

A escola possui quatro locais de banheiros. O local identificado na planta no Anexo 1 pelo número 1 (FIGURA 32) possui 3 vasos sanitários e uma pia, está localizado ao lado da cozinha em frente ao refeitório, no centro da escola. O banheiro identificado pelo número 2 está localizado na mesma construção central, mas possui entrada pela lateral, possuindo dois vasos sanitários, um chuveiro e uma pia (FIGURA 33). Dois banheiros juntos estão identificados pelo número 3. Eles se encontram um ao lado do outro na parte lateral da construção, mais próxima à trilha principal, que leva à entrada da escola (FIGURA 34), ambos com 3 vasos sanitários e uma pia, totalizando 6 vasos e 2 pias.

Na época da visita haviam 53 alunos matriculados na escola municipal, 73 alunos no colégio estadual e 15 funcionários, totalizando 141 pessoas frequentando diariamente o local.

FIGURA 32 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 1



FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 33 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 2



FONTE: A Autora (2021)

Posteriormente o professor Dr. Fernando Augusto Silveira Armani junto do professor Dr. Alexandre Bernardino Lopes (FIGURA 35) fizeram o levantamento planialtimétrico do local, resultando em uma planta de toda a área da escola feita pelo professor Alexandre Bernardino. Essa planta foi utilizada de base neste trabalho para a realização da representação do TEvap em planta da escola (Anexo 1).

FIGURA 34 – BANHEIROS NOMEADOS COMO NÚMERO 3



FONTE: A Autora (2021)

FIGURA 35 – PROFESSOR ALEXANDRE BERNARDINO FAZENDO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO



FONTE: Fernando Augusto Silveira Armani (2021)

Então os dados foram inseridos no modelo matemático descrito na Parte I deste trabalho para avaliação da área do TEvap. A partir do resultado do modelo, foi decidida a área do sistema, então foram definidas a largura e o comprimento do tanque. Em sequência foi definida a profundidade do mesmo.

Com a informação de volume do tanque, foram inseridas algumas linhas de código no programa para efetuar o cálculo do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) afim de compreender o tempo médio que o esgoto permanece no sistema. Ele é calculado dividindo o volume útil pela vazão diária de entrada no sistema. Porém, como esse cálculo leva em conta apenas a vazão de entrada do sistema, ele não considera o dinamismo interno do sistema por conta da evapotranspiração.

Para o cálculo do TDH, inicialmente é realizado o cálculo do volume de vazios por camada. Em cada camada é multiplicado o valor da área do sistema pela porcentagem de vazios para cada tipo de material. As porcentagens de volume de vazios utilizadas são as mesmas do estudo de Costa (2014), conforme a TABELA 6. Porém na primeira camada, devido a existência de um volume vazio maior por conta da câmara de recepção, este volume da câmara foi calculado e excluído do cálculo do volume de vazios do material da primeira camada, ou seja, o volume de vazio de entulho foi calculado apenas onde ele está localizado, na parte ao redor da câmara de recepção. Então o volume de vazio da câmara foi acrescido ao volume de vazios do entulho, totalizando o volume de vazios da primeira camada. O volume de vazios das outras camadas foi calculado normalmente, apenas multiplicando o volume total pela porcentagem de vazios.

TABELA 6 – PORCENTAGEM DO VOLUME DE VAZIOS DOS MATERIAIS

Material	Porcentagem de Vazios (%)
Entulho	20
Brita n°1	40
Areia	25
Terra	25

FONTE: Costa (2014)

Então, com a união desses dados, o sistema e suas tubulações foram projetados no AutoCAD tendo como base a planta da escola feita pelo Professor Alexandre Bernardino e também a representação do TEvap feita pela FUNASA. Com a planta finalizada, a quantidade de materiais para a implantação do sistema foi calculada.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise do terreno da escola durante a visita, foi definido qual seria o melhor local para construção do sistema, representado na FIGURA 36, pois era um local pouco utilizado e que está localizado em nível mais baixo que as saída de esgoto de toda a escola, proporcionando uma queda natural conforme nivelamento do próprio terreno. Após essa definição e a partir dos dados coletados sobre a quantidade de pessoas na escola diariamente, foram delimitadas algumas condições para que o TEvap pudesse ser construído com a estrutura convencional. A área máxima disponível para construção era por volta de $60 m^2$, então era previamente sabido, por dedução lógica, que não teria como ser construído um TEvap tradicional para toda a estrutura da escola, pois a construção desse sistema para 141 pessoas diariamente requereria uma área muito maior que a área disponível na escola. A solução adotada foi direcionar apenas um dos conjuntos de banheiro, o de número 1 ou o de número 2, para o sistema e este banheiro seria reservado para receber apenas fezes, enquanto os outros banheiros, que continuariam ligados nas fossas antigas, receberiam apenas urina.

FIGURA 36 – MELHOR LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DO TEVAP



FONTE: A Autora (2021)

Essa ação de diferenciar os banheiros conforme o uso teria que ser aplicada junto com um projeto de educação ambiental para toda a escola, sendo explicado desde o que é saneamento básico, sua importância para o ser humano e para o meio

ambiente, mas com um enfoque no funcionamento do sistema de tratamento a ser utilizado, de modo que todos compreendam o porque dessa distinção dos banheiros e, conseqüentemente, respeitem seu correto.

Considerando o uso reduzido do banheiro que é direcionado para o TEvap, devido a exclusividade dele para fezes, foram considerados os seguintes dados de entrada:

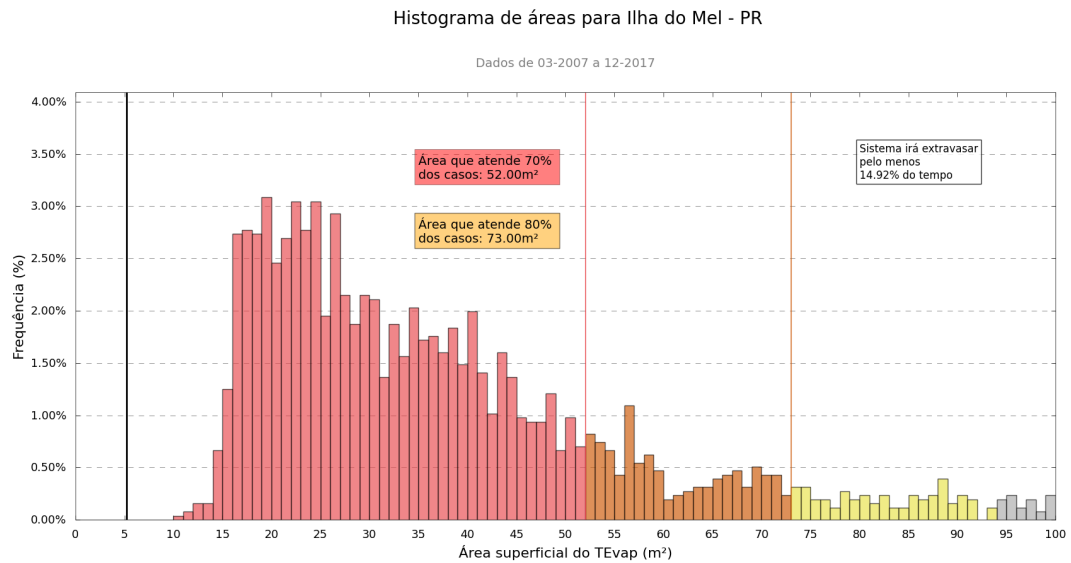
- 20 pessoas utilizando;
- 1 vez por dia;
- Descarga de 6 L por fluxo;
- Resultando em vazão diária de $120 L.dia^{-1}$;
- Coeficiente de evapotranspiração do tevap $k_{tevap} = 1$, devido a não existência de nenhum estudo sobre a taxa de evapotranspiração de um TEvap no mesmo Bioma e condições climáticas, foi considerado o menor valor possível para um resultado cauteloso, a Evapotranspiração de Referência;
- Coeficiente de infiltração de água da chuva $k_i = 0,25$, considerando que serão utilizadas todas as forma de construção e manutenção que reduzam a infiltração de água da chuva.

Esses dados resultaram no histograma da FIGURA 37, mostrando que a área mínima do TEvap para atender 70% dos casos sem extravasar é de $52 m^2$, enquanto que para atender ao menos 80% dos casos, a área mínima é de $73 m^2$. Desse modo foi decidido projetar um TEvap de $60 m^2$ que funciona de modo ideal (sem extravazar) em aproximadamente 75% dos dias.

Então, pensando no melhor aproveitamento do espaço, ao invés da construção de um único TEvap mais comprido, o dimensionamento proposto foi a partir da construção de dois tanques em paralelo, cada um com a dimensão de $12 \times 2,5 m$, resultando nos $60 m^2$ de área desejada. Nessa configuração há segurança de ter outro sistema para o caso de um precisar de reparos. Esse sistema está representada no Anexo 1, na planta feita no programa AutoCAD. Portanto desse modo temos um sistema que atende de modo ideal a 75% dos dias de uso, ou seja, em 25% dos dias é previsto que ocorrerá extravasamento do TEvap, mas, segundo Galbiati (2009), o efluente extravasado já está com uma qualidade de água melhorada após passar pelo sistema.

Analisando a profundidade do tanque, foi escolhido o maior valor recomendado pela FUNASA, para que o volume do tanque fosse o maior possível, dentro do respaldo técnico. Então a profundidade definida foi de $1,20 m$. A primeira camada foi definida com

FIGURA 37 – HISTOGRAMA DE ÁREAS PARA A ESCOLA DE ENCANTADAS



FONTE: A Autora (2022)

uma altura de 50 *cm*, a camada de brita com altura de 30 *cm*, a camada de areia com altura de 20 *cm*, e a camada de solo também com 20 *cm*.

De acordo com as alturas das camadas, os cálculos dos volumes de vazios resultaram nos valores representados na TABELA 7, logo o volume útil do tanque é de 9,14 *m*³, correspondendo a 25% do volume total do tanque.

TABELA 7 – VOLUMES DE VAZIOS DAS CAMADAS

Camada	Volume de vazios (<i>m</i> ³)
Primeira	2,54
Segunda	3,6
Terceira	1,5
Quarta	1,5

FONTE: A Autora (2021)

A vazão diária de entrada de esgoto no sistema é de 1,2 *m*³.*dia*⁻¹. Portanto o TDH é de 7,9 *dias*. Então o efluente que entra no sistema, desconsiderando a evapotranspiração, demoraria aproximadamente 8 *dias* para sair do sistema, mas ao se considerar a evapotranspiração e precipitação nesse cálculo, esse valor pode ser menor.

Com relação às espécies a serem plantadas em TEvap na Ilha do Mel, com base no que foi proposto por Oliveira (2018) (FIGURA 31), retira-se a Taboa e acrescenta-se a Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*), que possui uma alta taxa de evapotranspiração e é encontrada na ilha.

Após obtenção dos valores do dimensionamento do TEvap, foram criadas as plantas representadas no Anexos 1, 2, 3 e 4. Devido ao tanque ter um comprimento grande, ele foi dimensionado com uma queda de 1% em relação a sua entrada e o lado oposto, correspondendo a 12 *cm*, para evitar que qualquer lodo que possa ficar armazenado fique acumulado na entrada do sistema.

Três tubulações de inspeção foram inseridas no projeto, uma no início, outra no meio e outra no final da câmara de recepção para que possa ser avaliado o comportamento dentro dessa camada e se está ocorrendo acúmulo de lodo.

No caso da construção da câmara de recepção com manilha e tijolos, conforme representado no Anexo 3, o tijolo que serve de base para os tijolos inclinados deve ser um tijolo maciço e os tijolos inclinados devem ser de 6 furos, com os furos fazendo um caminho entre a o interior da câmara e os entulhos de construção civil. Toda essa estrutura pode ser substituída pelo uso de pneus enfileirados, o que reduziria os custos. Porém, como na Ilha do Mel não há veículos automotores, com exceção dos poucos minicarros elétricos destinados a coleta de resíduos e segurança, deve-se estudar a viabilidade e os impactos de levar para ilha resíduos de fora.

Foi projetado um registro na entrada de cada tanque para que o esgoto afluyente possa ser interrompida alternadamente caso necessário.

O materiais calculados para essa construção estão determinados na tabela a seguir, sendo que, para os materiais que correm mais risco de serem extraviados ou quebrar, foi determinada uma quantia de material sobressalente:

TABELA 8 – QUANTIA DE MATERIAIS NECESSÁRIA PARA A CONSTRUÇÃO DE TEVAP DE 60m - 2 DE 12 m x 2,5 m

Material	Unidade	Quantidade	Sobresalente	Total	Observação
Tijolo 6 furos	un	3515	176	3691	Caso sejam utilizados lona e pneus, não há necessidade
Tijolo maciço	un	1024	52	1076	Pode ser utilizado pedra ou outro material firme. Caso sejam utilizados pneus, não é necessário.
Lona PEAD 1,5 mm 16x6,5	un	2	0	2	Caso usada lona, reduz 2467 unidades de tijolos de 6 furos.
Brita n°4 (Rachão)	m ³	30	1	31	Apenas no caso de não haver resto de construção civil suficiente no local.
Brita n°1	m ³	18	1	19	
Areia Grossa	m ³	16,4	1,6	18	
Terra preta	m ³	12	1	13	Pode ser utilizado solo do local
Cano PVC 100 mm	m	44,89	3,11	48	
T 100 mm	un	2	0	2	
Joelho 90° 100 mm	un	2	0	2	
Luva 100 mm	un	22	6	28	
CAPs 100 mm	un	6	1	7	
Cola de PVC	un	2	0	2	
Mudas de Bananeira	un	30	5	35	Podem ser aproveitadas do local da construção.
Registro tipo esfera 100 mm	un	2	0	2	
Meia manilha 0,8 m 60 cm	un	40	2	42	Não é necessário caso sejam utilizados pneus.
Cimento Comum	m ³	1,18	0,16	1,34	10 sacos de 50 kg. Caso sejam utilizados a lona e os pneus, não é necessário.
Impermeabilizante para argamassa	L	30	0	30	Não é necessário no caso do uso de lonas.
Caixa de passagem	un	4	0	4	
Pneus de 175 mm de largura	un	138	2	140	Caso a câmara receptora não seja feita de alvenaria e manilhas.

FONTE: A Autora (2021)

10 CONCLUSÃO

A criação de políticas públicas deve sempre passar no mínimo pela consulta das pessoas que serão direta ou indiretamente afetada por elas. Hoje há esse arcabouço legal que obriga que as pessoas afetadas sejam consultadas, mas tomando como exemplo a criação das UCs na Ilha do Mel, notamos que, na época, as unidades de conservação foram impostas às comunidades com o objetivo de preservação, pois um turismo predatório estava ameaçando se instalar no local, mas da forma como isso foi realizado, a população nativa ficou mais vulnerável, sem poder realizar aquelas que eram suas atividades de subsistência. Com essa população vulnerabilizada, para certas famílias de baixa renda, a venda de seus terrenos se tornou uma solução no momento. Desse modo teve início um ciclo de concentração da riqueza que a ilha produz nas mãos de pessoas não nativas, pois estas compraram aqueles terrenos e a maioria conseguiu construir estabelecimentos bem estruturados. Então atualmente boa parte das pessoas nativas trabalham nesses locais, porém não são as donas dos mesmos.

Nesse contexto, vê-se que a política pública que determinou a imposição das Unidades de Conservação, cerceando o antigo modo de vida dos moradores, unida a falta de outras políticas públicas para melhoria da qualidade de vida dessa população e falta de fiscalização, culminou no crescimento desordenado do turismo sem um igual crescimento das infraestruturas de saneamento básico. Como consequência, hoje há um cenário onde um dos pontos turísticos mais visitados do estado passa constantemente por problemas de saneamento básico devido a falta de investimento do poder público.

Com relação à construção de um Tanque de Evapotranspiração na estrutura das escolas da comunidade de Encantadas na Ilha do Mel, um TEvap de $60 m^2$ atende o uso do vaso sanitário de 20 pessoas uma vez por dia. Considerando a grande quantidade de pessoas diariamente, e que são necessárias algumas adaptações, tal como separar banheiro destinado a fezes e banheiro destinado à urina, direcionando apenas as fezes para o Tanque de Evapotranspiração, notou-se que, para esse sistema se tornar viável, é essencial a eficácia da implantação de um projeto de educação ambiental com foco na explicação sobre o sistema e o porquê das suas condições de uso neste local.

Mesmo com essa diferenciação dos banheiros, que pode ser vista como uma inconveniência, na situação sanitária existente na Ilha do Mel isso ainda é uma vantagem, pois as fezes possuem maior potencial de contaminação que a urina, então dar uma solução sanitária exclusivamente para as fezes já reduz o potencial de poluição do local, melhorando inclusive a salubridade do ambiente onde rotineiramente há crianças.

Neste trabalho não foram avaliados aspectos financeiros, mas nota-se que a construção de um tanque constituído por alvenaria e manilhas culmina no uso de muitos materiais pesados e de grande volume. Por conta disso, devido a necessidade de transporte desses materiais por barca até a Ilha do Mel, a utilização de lona ao invés de paredes de alvenaria reduz muito a quantidade de materiais necessários na obra e exclui a necessidade de barca exclusiva para ela, pois é compacta. Além disso há redução na dificuldade e tempo de realização da obra. Portanto por mais que a lona PEAD com $1,5\text{ mm}$ de espessura possa ter um valor elevado, é necessário avaliar se a grande redução da quantidade de materiais compensa o valor do uso da lona. Outro aspecto construtivo a ser avaliado é o uso de pneus, pois seu uso reduz muito a quantidade de materiais também, porém continua sendo necessário o transporte desse material até a ilha, e é um material que deveria ser trazido de fora até o local.

Levando em consideração os aspectos construtivos citados acima, nota-se que o projeto de um TEvap tem forte influência da sua localidade de construção, pois em ilhas a construção de um tanque em alvenaria pode ser mais complicada e, talvez, mais cara, enquanto no continente, devido a maior facilidade de transporte, ocorre o oposto com relação a dificuldade no processo construtivo com o mesmo material e, possivelmente, com relação ao custo também. Portanto, quando se trata de ilhas, o planejamento do transporte de materiais tem que ser realizado com maior cautela, pois se torna mais dificultoso em comparação ao continente.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No momento da escrita deste trabalho a implantação de um sistema inovador de tratamento de esgoto, inspirado no Tanque de Evapotranspiração, foi efetivada na Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim e Colégio Estadual Felipe Valentim, e também será construído na escola de Nova Brasília. Portanto, devido ao esforço da equipe do *Projeto Baías - Educação e Saneamento*, interessada na melhoria da qualidade de vida dessa população, a questão de esgotamento sanitário nas escolas da Ilha do Mel foi melhorada significativamente.

A participação na construção do sistema trouxe desafios e aprendizados. O primeiro grande desafio foi a logística de materiais, como já mencionado ao longo desse trabalho. Porém, além do aprendizado já citado de planejar cautelosamente essa logística quando o projeto for realizado em uma ilha (a depender do caso, considerando também as marés), também houve o aprendizado de haver nominalmente uma pessoa responsável pelo recebimento dos materiais no local, para que possa conferi-los e guardá-los de forma segura. Outro desafio desse sistema foi conseguir reunir a comunidade, além da escola, para que compreendessem o projeto e sua importância para então se empoderarem do mesmo. Para isso foram realizadas algumas reuniões, tanto técnicas como informativas, com a comunidade. Com esse processo foi observada a importância da aplicação da Tecnologia Social, pois sem o apoio e a compreensão da comunidade sobre o projeto, o trabalho teria sido muito mais dificultoso, além de que, sob um aspecto técnico, a manutenção do TEvap (poda da bananeira, replantio delas quando necessário, colocar camada de matéria orgânica seca sobre sistema) é uma função necessária com uma determinada periodicidade, e sem a compreensão, comprometimento e fiscalização (por se tratar de uma escola) por parte da comunidade, o êxito do projeto a longo prazo fica comprometido.

Para próximos estudos, além do que foi mencionado na Conclusão da Parte I, deve ser realizado o acompanhamento bioquímico e da vazão e frequência de extravasamentos desse sistema inovador de tratamento de esgoto em busca de compreender sua eficiência.

Por fim, também pode ser criado um modelo matemático para avaliar a dinâmica interna do TEvap com relação ao nível do esgoto, melhorando o resultado do Tempo de Detenção Hidráulico ao acrescentar também precipitação e evapotranspiração no sistema para calcular esse tempo. Juntando-se esse cálculo ao modelo criado neste trabalho, pode-se aumentar a precisão do mesmo.

REFERÊNCIAS

ALLAN, Richard G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. v. 56. [S.l.]: FAO, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 26, 29.

ALOCHIO, Luiz Henrique Antunes. **Direito do Saneamento: Introdução à Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico (Lei Federal n. 11.445/2007)**. 1. ed. Campinas, SP: Millennium Editora Ltda, 2007. Citado 1 vez na página 18.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. [S.l.], 2013. P. 157. ISBN 978-85-8210-018-9. Citado 1 vez na página 15.

ANDREOLI, Vanessa Marion. **A Educação Ambiental no contexto dos colégios estaduais da Ilha do Mel/PR: Currículo, ação docente e desenvolvimento comunitário local**. 2016. F. 1–370. Universidade Federal do Paraná. Citado 1 vez na página 67.

BARAKAT, Simone R.; CAMPOS, José G. F. Organizações e sustentabilidade: para além da mitigação das mudanças climáticas – momento de pensarmos em adaptação. **Organizações e Sustentabilidade**, v. 7, p. 3, 2 set. 2019. ISSN 2318-9223. DOI: 10.5433/2318-9223.2019v7n2p3. Citado 1 vez na página 15.

BARATTO, R.L. et al. **Coefficiente de proporcionalidade KRS da equação de Hargreaves e Samani para o Brasil**. [S.l.]: CONVIBRA, 2017. P. 13. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re.i_2017_convibra_6.pdf. Citado 1 vez na página 29.

BARROS, DF; ALBERNAZ, ALM. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Biology**, Association of the Brazilian Journal of Biology, v. 74, p. 810–820, 4 nov. 2014. ISSN 1519-6984. DOI: 10.1590/1519-6984.04013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842014000400810&lng=en&tlng=en. Citado 1 vez na página 15.

BRANCO, PREFEITURA MUNICIPAL DE VISCONDE DO RIO. **LEI COMPLEMENTAR N° 059/2016**. [S.l.: s.n.], 2016. Citado 1 vez na página 37.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Citado 1 vez na página 61.

BRASIL. **Lei 14.026 de 15 de julho de 2020**. [S.l.: s.n.], jul. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Citado 1 vez na página 18.

_____. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. [S.l.: s.n.], jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Citado 4 vezes nas páginas 19, 61, 62, 66.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 jan. 2007. ISSN 1677-7042. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 24 fev. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 15, 18.

_____. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. [S.l.: s.n.], 2010. Citado 1 vez na página 61.

CÂMARA, João Batista Drummond. Governança ambiental no Brasil: ecos do passado. **Revista de Sociologia e Política**, v. 21, p. 125–146, 46 jun. 2013. ISSN 0104-4478. DOI: 10.1590/S0104-44782013000200008. Citado 1 vez na página 61.

CARVALHO, Luiz Gonsaga de et al. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. [S.l.: s.n.], 2011. P. 456–465. Citado 1 vez na página 24.

CARVALHO, Nathália Leal et al. Desenvolvimento sustentável X desenvolvimento econômico. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 109–117, 3 abr. 2015. ISSN 2236-1308. DOI: 10.5902/2236130817768. Citado 1 vez na página 66.

CICERONE, R. J.; OREMLAND, R. S. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 02, p. 299–327, 4 dez. 1988. Citado 1 vez na página 72.

COELHO, Christine Farias. **Impactos socioambientais e desempenho do sistema fossa verde no assentamento 25 de maio, Madalena (CE)**. 2013. Universidade Federal do Ceará. Citado 1 vez na página 34.

COELHO, Christine Farias; REINHARDT, Hendrik; ARAÚJO, José Carlos de. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 23, p. 801–810, 4 jul. 2018. ISSN 14134152. DOI: 10.1590/s1413-41522018170077. Citado 2 vezes nas páginas 34, 35.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. [S.l.: s.n.], 2013. P. 109. Citado 1 vez na página 26.

CONCEIÇÃO, Marco Antônio Fonseca. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO**. [S.l.], dez. 2006. Citado 3 vezes nas páginas 26, 28.

- COSTA, Aline Pacheco. **Estudo de tecnologias sociais visando o tratamento do esgoto doméstico de unidade unifamiliar - Assentamento Nova São Carlos - São Carlos/SP**. 2014. Universidade de São Paulo. Citado 2 vez na página 77.
- DENKWICZ, Patricia et al. O TURISMO COMO INSTRUMENTO AUXILIAR PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA ILHA DO MEL –PR. **Gestão & Planejamento**, v. 22, p. 261–276, 2021. ISSN 21788030. DOI: 10.53706/gep.v.22.5837. Citado 8 vezes nas páginas 59, 61, 63, 66.
- DIEGUES, Antonio Carlos. **O mito moderno da natureza intocada**. 6. ed. [S.l.]: Hucitec, 2008. P. 1–189. ISBN 85-271-0345-1. Citado 2 vez na página 61.
- ELLEN, Roy F. **Environment, Subsistence and System: The Ecology of Small-Scale Social Formations**. [S.l.]: : Cambridge University Press, 1989. P. 1–344. ISBN 0521287030. Citado 2 vez na página 61.
- FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; BARBOSA, Ariane Corrêa et al. Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. **Revista DAE**, v. 67, p. 115–127, 220 nov. 2019. ISSN 0101-6040. DOI: 10.4322/dae.2019.059. Citado 2 vezes nas páginas 21, 36.
- FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SANTOS, Bárbara S. C. dos; TONETTI, Adriano Luiz. **Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras**. 1. ed. [S.l.]: Biblioteca/Unicamp, 2018. ISBN ISBN: 978-85-85783-87-7. Citado 3 vezes nas páginas 23, 52, 69, 71.
- FUESS, Lucas; GARCIA, Marcelo. **Qual o valor da vinhaça? Mitigação de impacto ambiental e recuperação de energia por meio da digestão anaeróbia**. [S.l.: s.n.], abr. 2012. ISBN 978-85-7983-275-8. Citado 0 vez na página 72.
- FUNASA. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. [S.l.]: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, 2019. P. 1–260. Citado 7 vezes nas páginas 15, 16, 18–20.
- GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Citado 13 vezes nas páginas 21–24, 31, 33, 37, 70, 72, 79.
- GRIGOLETTO, Jamyle Calencio et al. Gestão das ações do setor saúde em situações de seca e estiagem. **Ciência & Saúde Coletiva**, ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva, v. 21, p. 709–718, 3 mar. 2016. ISSN 1413-8123. DOI: 10.1590/1413-81232015213.26212015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016000300709&lng=pt&tlng=pt. Citado 1 vez na página 15.

HARDER, Eduardo; FREITAS, Ana Elisa De Castro. Envelhecer na invisibilidade: tempo e narrativa na Ponta Oeste da Ilha do Mel, Paraná, Brasil. **ILUMINURAS**, v. 16, 40 dez. 2015. ISSN 1984-1191. DOI: 10.22456/1984-1191.61251. Citado 9 vezes nas páginas 59, 62, 65, 66.

HOLMGREN, David. **Os Fundamentos da Permacultura: Um resumo dos conceitos e princípios apresentados no livro 'Principios e Caminhos da Permacultura Além da Sustentabilidade'**. [S.l.], 2007. Disponível em: www.holmgren.com.au. Citado 1 vez na página 21.

ITS. **Caderno de Debate - Tecnologia Social no Brasil: Direito à ciência e ciência para a cidadania**. [S.l.], nov. 2004. P. 26. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/85fd89_2f2b4f97fcb0441191e370e278303b7c.pdf. Citado 1 vez na página 20.

LEMONS CHERNICHARO, Carlos Augusto de. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores anaeróbios**. [S.l.]: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1997. v. 5, p. 1–246. ISBN 85-7041-130-8. Citado 1 vez na página 72.

MELLO, Yara Rúbia De; LOPES, Felipe Costa Abreu; ROSEGHINI, Wilson Flavio Feltrim. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E ANÁLISE RÍTMICA APLICADA A EPISÓDIOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ, PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, ago. 2017. ISSN 2237-8642. DOI: 10.5380/abclima.v20i0.48594. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/48594>. Citado 1 vez na página 38.

MELO, Suely. Saneamento rural: desafio que exige novas soluções. **Revista DAE**, v. 67, p. 6–14, 220 nov. 2019. ISSN 0101-6040. DOI: 10.4322/dae.2019.052. Citado 2 vezes na página 21.

MENDONÇA, José C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 275–279, 2 ago. 2003. ISSN 1415-4366. DOI: 10.1590/S1415-43662003000200015. Citado 1 vez na página 24.

METEOROLOGIA INMET, Instituto Nacional de. **Banco de Dados Meteorológicos**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Citado 6 vezes nas páginas 25, 34, 36, 37, 39.

N. B. WANDERLEY, Maria de. A emergência de uma nova ruralidade nas sociedades modernas avançadas – o “rural” como espaço singular e ator coletivo. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 8 n.º, 15 out. 2000. ISSN @2526 7752. Citado 1 vez na página 19.

NETO, João Lima Sant'Anna; ANUNCIACÃO ANDRADE, Vicentina Socorro da. Extremo climático e riscos na cidade de Campo Grande-MS/Brasil. **Territorium**, p. 33–42, 19 dez. 2012. ISSN 1647-7723. DOI: 10.14195/1647-7723_19_4. Disponível em: https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_19_4. Citado 1 vez na página 34.

OLIVEIRA, Bruna Hakim de. **TECNOLOGIAS ECOLÓGICAS DE SANEAMENTO EM ZONAS COSTEIRAS: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO PARA UMA ESCOLA NA VILA DE ENCANTADAS, ILHA DO MEL –PARANÁ, BRASIL**. 2018. Universidade Federal do Paraná. Citado 6 vezes nas páginas 60, 67, 68, 72, 73, 80.

OLIVEIRA, Sílvia M A Corrêa; SPERLING, Marcos Von. Potenciais Impactos de Sistemas Estáticos de Esgotamento Sanitário na Água Subterrânea - Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 16, p. 95–107, 2011. Citado 1 vez na página 18.

OLIVEIRA ESTEVES, Cláudio Jesus de. **Turismo e qualidade da água na Ilha do Mel (Paraná, Brasil)**. [S.l.]: Univesridade de São Paulo, mar. 2005. P. 4583–4609. Citado 1 vez na página 67.

OLIVEIRA SOARES, Letyssia Maynarth de;
MIRANDA, George Emmanuel Cavalcanti de; SILVA MOURÃO, José da. Uma análise empírica do modelo de gestão praticado em Unidade de Conservação de Uso Sustentável. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 472–483, jul. 2020. ISSN 1982-4513. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-46299. Citado 2 vez na página 61.

ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Citado 1 vez na página 16.

PAMPLONA, Sérgio; VENTURI, Marcelo. Esgoto à flor da terra - Sistema de evapotranspiração é solução simples, acessível e sustentável. **Permacultura Brasil: soluções ecológicas**, v. VI, p. 18–19, 16 2004. Citado 1 vez na página 21.

PARANÁ, ESTADO DO. **DECRETO Nº 5.454, DE 21 DE SETEMBRO DE 1982**. [S.l.: s.n.], set. 1982. Disponível em: https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/4243_20200227_163854.pdf. Citado 1 vez na página 66.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO DO. **Plano de Manejo: Estação Ecológica da Ilha do Mel**. [S.l.], 2012. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Manejo-Estacao-Ecologica-Ilha-do-Mel>. Citado 3 vezes nas páginas 38, 62, 65.

PARANÁ IAP, Instituto Ambiental do. **Plano de Manejo: Parque Estadual Ilha do Mel**. [S.l.], 2012. Disponível em:

<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Manejo-Parque-Estadual-Ilha-do-Mel>.

Citado 16 vezes nas páginas 20, 38, 39, 59, 62–64, 66, 67.

PAULO, Paula Loureiro; GALBIATI, Adriana Farina;

FILHO, Fernando Jorge Correa Magalhães. **CataloSan: Catálogo de Soluções Sustentáveis de Saneamento - Gestão de Efluentes Domésticos**. 1. ed. [S.l.]:

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.UFMS, 2018. ISBN ISBN: 978-85-63202-07-9. Citado 6 vezes nas páginas 21, 56, 68, 69.

PAULO, Paula Loureiro; GALBIATI, Adriana Farina;

FILHO, Fernando Jorge Correa Magalhães et al. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier B.V, v. 147, p. 61–66, ago. 2019. ISSN 09213449. DOI:

10.1016/j.resconrec.2019.04.025. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344919301879>. Citado 0 vez na página 22.

PIRES, Felipe Jacob. **Construção participativa de sistema de tratamento de esgoto doméstico no assentamento rural Olga Benário-MG**. 2012. Universidade Federal de Viçosa. Citado 4 vezes nas páginas 37, 68.

ROLAND, Nathalia et al. A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico. **Revista DAE**, v. 67, p. 15–35, 220 2019. ISSN 0101-6040. DOI: 10.4322/dae.2019.053. Citado 1 vez na página 19.

SANTOS, Karin dos; KINOSHITA, Luiza Sumiko. Flora arbustivo-arbórea do fragmento de floresta estacional semidecidual do Ribeirão Cachoeira, município de Campinas, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p. 325–341, 3 set. 2003. ISSN 0102-3306. DOI:

10.1590/S0102-33062003000300001. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062003000300001&lng=pt&tlng=pt. Citado 1 vez na página 36.

SILVA, Bárbarah Brenda; NOGUEIRA, Clara Demattos et al. Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, v. 67, p. 69–86, 220 nov. 2019. ISSN 0101-6040. DOI: 10.4322/dae.2019.056. Citado 1 vez na página 21.

SILVA, Valdenildo Pedro da; SANTOS FRANÇA, Gabryelle Larissa dos.

PERCEPÇÕES DE MUDANÇAS DO CLIMA, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO PARA SERTANEJOS DO SEMIÁRIDO. **Revista Brasileira de Climatologia**, Associação Brasileira de Climatologia, v. 22, abr. 2018. ISSN 2237-8642. DOI:

10.5380/abclima.v22i0.55958. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55958>. Citado 1 vez na página 15.

SNS, Secretaria Nacional De Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. [S.l.], 2020. P. 183. Citado 2 vezes nas páginas 15, 18.

SNSA. **PLANSAB: Plano Nacional de Saneamento Básico - Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. [S.l.], 2014. Citado 1 vez na página 18.

SOUZA, J.L.M. et al. **Coeficiente de proporcionalidade krs da Equação de Hargreaves e Samani para o estado do Paraná**. [S.l.]: CONVIBRA, 2016. P. 8.

Disponível em:

http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re.i_2016_convibra_1.pdf. Citado 1 vez na página 29.

TONETTI, Adriano Luiz et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. [S.l.], out. 2018. Citado 1 vez na página 19.

UN, United Nations. **Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010 - 64/292. The human right to water and sanitation**. v. I. [S.l.], ago. 2010. P. 1–3.

Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292.

Citado 1 vez na página 15.

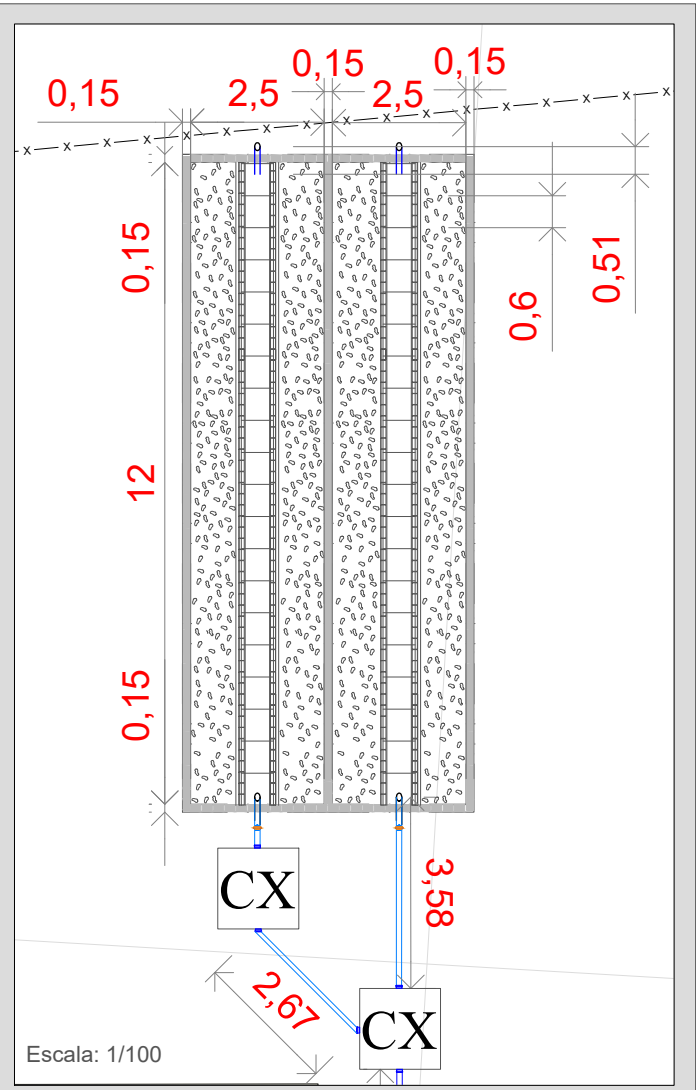
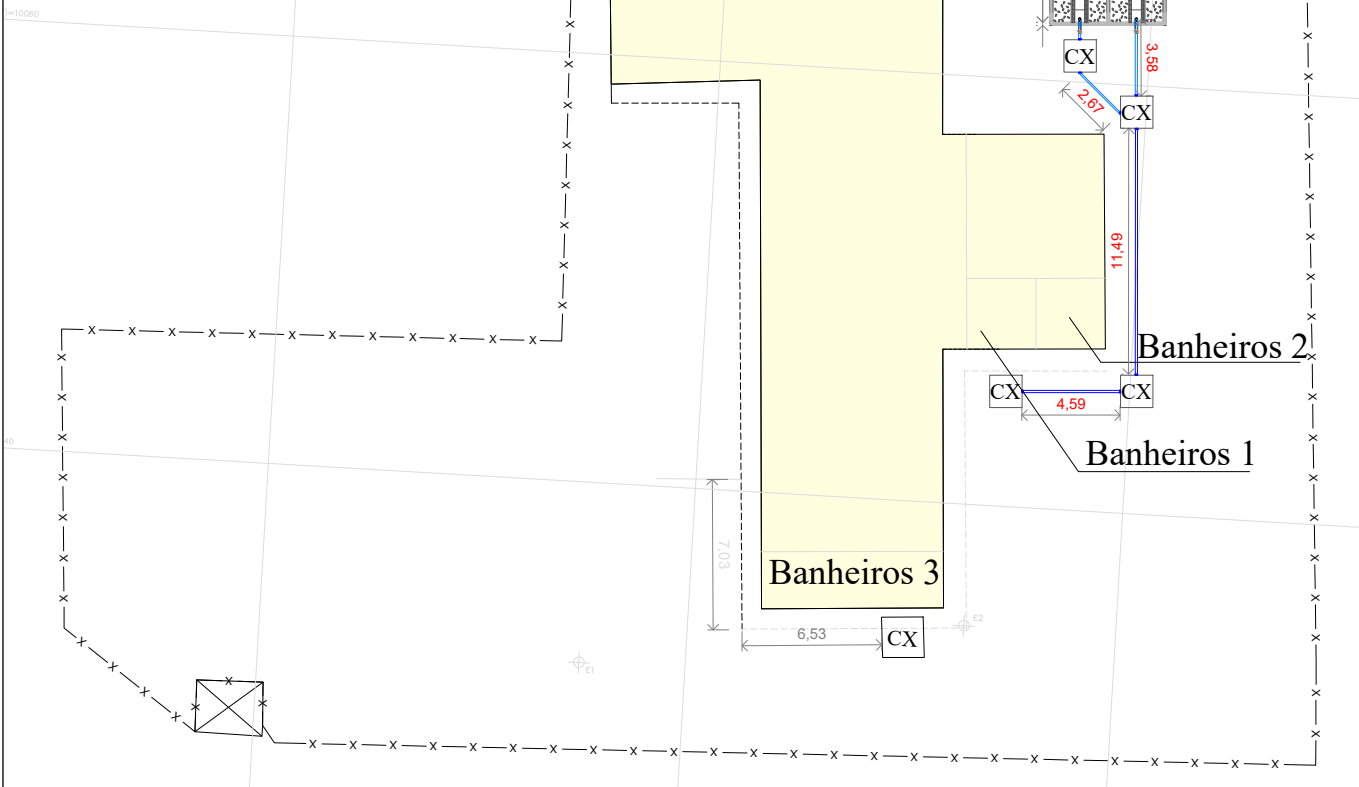
UNICAMP. **CEPAGRI - Tempo e Clima UNICAMP**. [S.l.: s.n.]. Disponível em:

<https://www.cpa.unicamp.br/graficos>. Citado 1 vez na página 36.

**ANEXO 1 - PLANTA DA ESCOLA COM LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO E
REPRESENTAÇÃO DO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**



Escala: 1/250



Legenda

	Cerca de tela, divisa de lote		Tubulação de esgoto
	Meio fio		Resto de Construção Civil
	Área construída da escola		Tijolos
	Construção de madeira		Registro
	Caixa de inspeção		Ponto Topográfico
	Projeção de meias manilhas - Vista Superior		



Planta Baixa com Levantamento Planimétrico

Objetivo: Verificação Topográfica - Planimetria e Planta Baixa do Sistema Alternativo de Tratamento de Esgoto

Local: Escola Municipal do Campo Teodoro Valentim, Ilha do Mel, Encantadas Paranaguá - PR

Área total: 2028,04 m ²	Folha n°: 01
Área construída: 417,66 m ²	Data : 10/02/21
Observações: Não deve ser usado para fins de registro e/ou retificação de área	
Croqui elaborado por: Prof. Alexandre B. Lopes Adaptado por: Catherine Novacovski	Assinatura

ANEXO 2 - REPRESENTAÇÃO DA VISTA SUPERIOR DO TEVAP

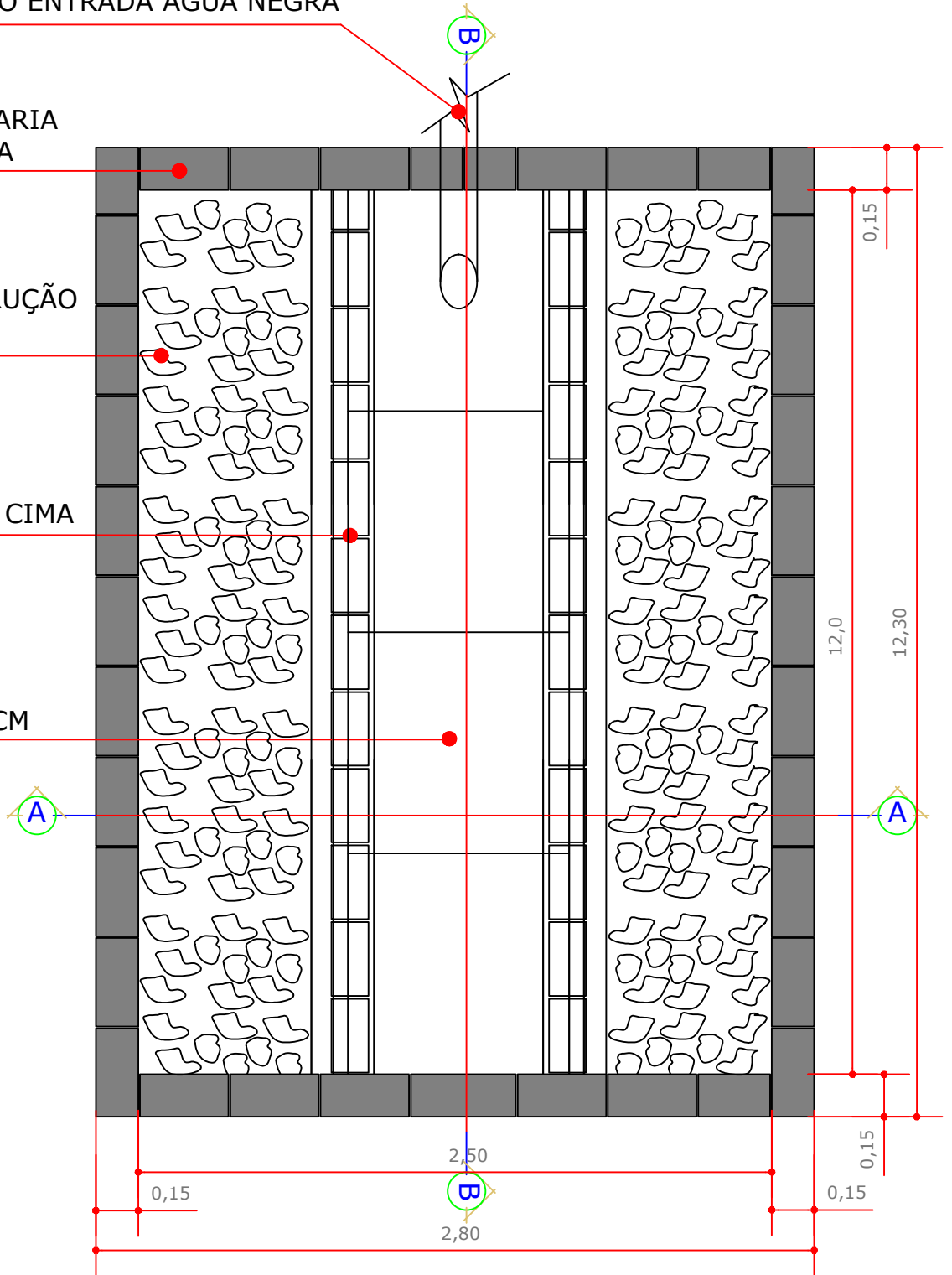
PROJEÇÃO ENTRADA ÁGUA NEGRA

PAREDE EM ALVENARIA IMPERMEABILIZADA

RESTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL OU BRITA 4

MEIO TIJOLO ACENTADO COM INCLINAÇÃO PARA CIMA

PROJEÇÃO MEIA MANILHA DE 0.80 CM



PLANTA
Escala 1:25

TÍTULO
TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
FOSSA ECOLÓGICA - PLANTA

PROJETO
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA NAS ESCOLAS

LOCALIDADE
ESCOLA MUNICIPAL DO CAMPO TEODORO VALENTIM
ENCANTADAS, ILHA DO MEL, PARANAGUÁ - PR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTAL DO PARANÁ
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR



DATA
MARÇO/21

ESCALA
1:25

PRANCHA 01/03

*Escala válida somente para horizontal, vertical fora de escala, apenas representativo

AUTORA
CATHERINE NOVACOVSKI

DESENHO CRIADO E DISTRIBUIDO
PELA FUNASA E ADAPTADO
PELA AUTORA

ANEXO 3 - REPRESENTAÇÃO DA VISTA FONTAL DO TEVAP

BANANEIRAS

TAMPA DE INSPEÇÃO E
MANUTENÇÃO CAP Ø 100MM

PVC 100MM CORTADO AO MEIO

ENTRADA ÁGUA NEGRA

PLANTAR ESPÉCIES RASTEIRAS

SOLO FÉRTIL

PAREDE EM ALVENARIA
IMPERMEABILIZADA

AREIA GROSSA

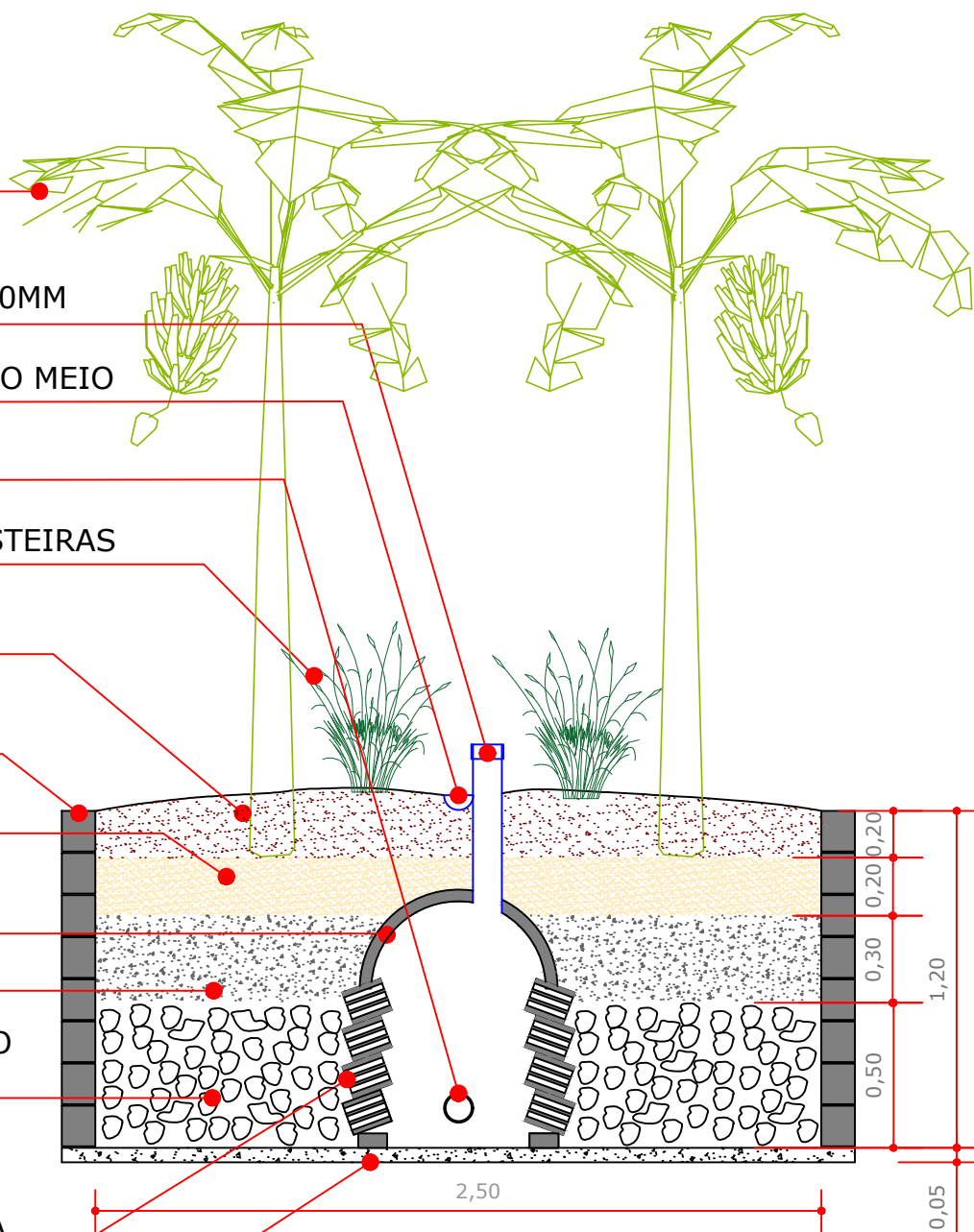
MEIA MANILHA
DE 0.80 CM

BRITA 1

RESTO DE CONSTRUÇÃO
CIVIL OU BRITA 4

MEIO TIJOLO
ACENTADO COM
INCLINAÇÃO PARA CIMA

CONTRA PISO



CORTE A-A
Escala 1:25

TITULO
TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
FOSSA ECOLÓGICA - CORTE A-A

DATA
MARÇO/21

ESCALA
1:25

PRANCHA 02/03

PROJETO
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA NAS ESCOLAS

AUTORA
CATHERINE NOVACOVSKI

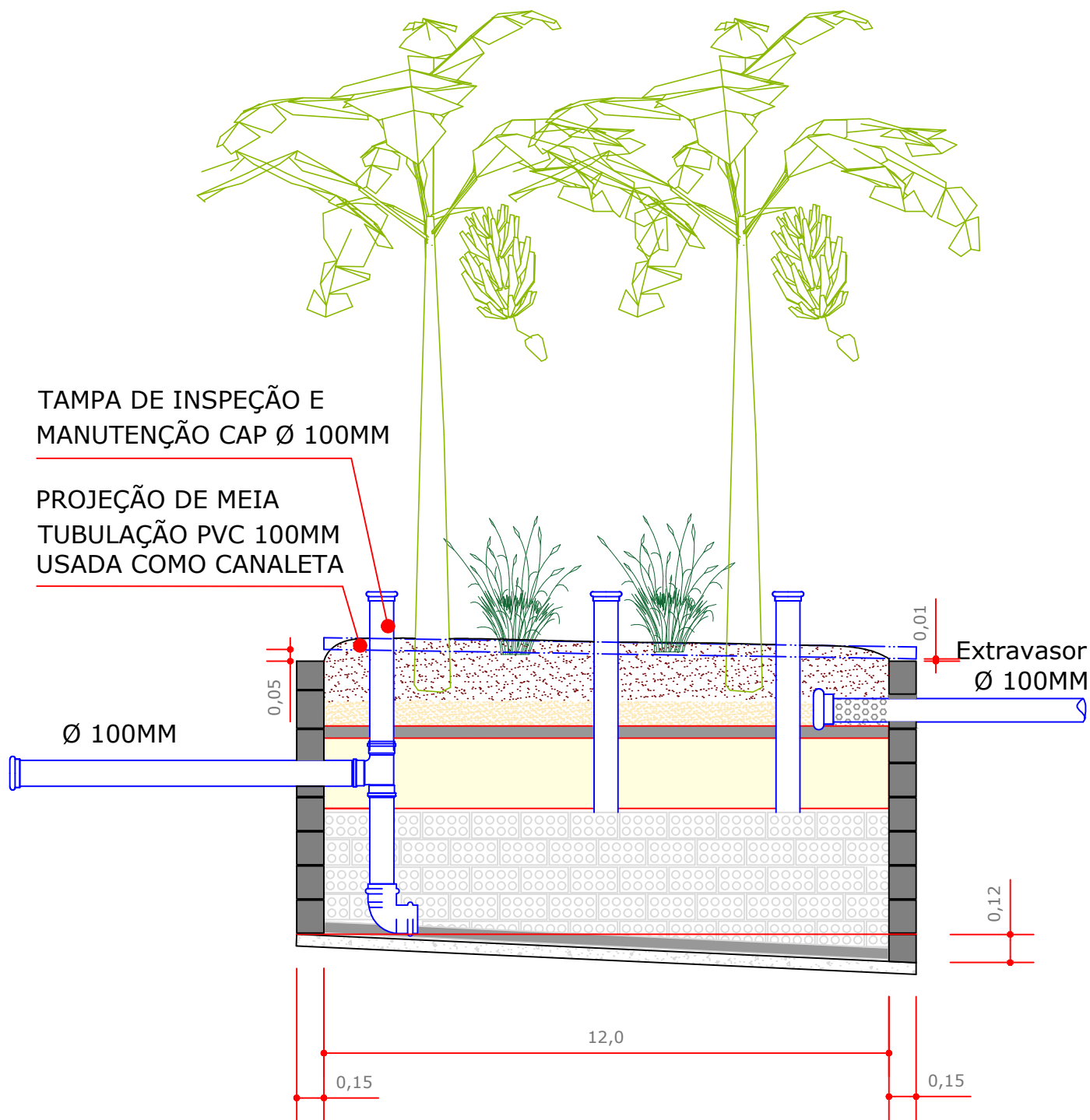
LOCALIDADE
ESCOLA MUNICIPAL DO CAMPO TEODORO VALENTIM
ENCANTADAS, ILHA DO MEL, PARANAGUÁ - PR




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTAL DO PARANÁ
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

DESENHO CRIADO E DISTRIBUIDO
PELA FUNASA E ADAPTADO
PELA AUTORA

ANEXO 4 - REPRESENTAÇÃO DA VISTA LATERAL DO TEVAP



CORTE B-B
Escala 1:25

TÍTULO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO FOSSA ECOLÓGICA - CORTEB-B	DATA MARÇO/21	ESCALA 1:25
	PRANCHA 03/03	
PROJETO ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA NAS ESCOLAS	*Escala válida somente para vertical, horizontal fora de escala, apenas representativo	
LOCALIDADE ESCOLA MUNICIPAL DE CAMPO TEODORO VALENTIM ENCANTADAS, ILHA DO MEL, PARANAGUÁ - PR	AUTORA CATHERINE NOVACOVSKI	
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS PONTAL DO PARANÁ CENTRO DE ESTUDOS DO MAR	DESENHO CRIADO E DISTRIBUIDO PELA FUNASA E ADAPTADO PELA AUTORA	