



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS – IFG
CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA DE ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A
SUBSTITUIÇÃO DE SUMIDOUROS POR TANQUE DE
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM HABITAÇÕES POPULARES:
ESTUDO DE CASO NAS RESIDÊNCIAS DA AGÊNCIA
GOIANA DE HABITAÇÃO (AGEHAB) EM GOIÁS**

JHONATAN CAIQUE SOUZA DOS SANTOS

APARECIDA DE GOIÂNIA
2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jhonatan Caíque Souza dos Santos

Matrícula: 20191090040162

Título do Trabalho: Proposta de alternativa sustentável para a substituição de sumidouros por tanque de evapotranspiração em habitações populares: Estudo de caso nas residências da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB) em Goiás.

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Documento assinado digitalmente



JHONATAN CAIQUE SOUZA DOS SANTOS
Data: 23/04/2025 13:33:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Aparecida de Goiânia, 23 / 04 / 2025.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS – IFG
CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JHONATAN CAIQUE SOUZA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A
SUBSTITUIÇÃO DE SUMIDOUROS POR TANQUE DE
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM HABITAÇÕES POPULARES:
ESTUDO DE CASO NAS RESIDÊNCIAS DA AGÊNCIA
GOIANA DE HABITAÇÃO (AGEHAB) EM GOIÁS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, desenvolvido na linha de pesquisa de Águas e Meio Ambiente sob orientação da professora Ma. Jéssica Azevedo Coelho.

APARECIDA DE GOIÂNIA – GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237 Santos, Jhonatan Caíque Souza dos
Proposta de alternativa sustentável para a substituição de sumidouros por tanque de evapotranspiração em habitações populares: Estudo de caso nas residências da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB) em Goiás /Jhonatan Caíque Souza dos Santos - Aparecida de Goiânia, 2025.
96 f.

Orientadora: Ma. Jéssica Azevedo Coelho.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Aparecida de Goiânia, Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

1. Saneamento. 2. Esgoto. 3. Sustentabilidade. 4. Tanque de Evapotranspiração. I. Título

CDD 628.2

Catalogação na publicação:
Suzane Gonçalves Duarte Peixoto CRB 1/2746

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **PROPOSTA DE ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A SUBSTITUIÇÃO DE SUMIDOUROS POR TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM HABITAÇÕES POPULARES: ESTUDO DE CASO NAS RESIDÊNCIAS DA AGÊNCIA GOIANA DE HABITAÇÃO (AGEHAB) EM GOIÁS**, sob orientação de Jessica Azevedo Coelho, apresentada pelo aluno **Jhonatan Caíque Souza dos Santos (20191090040162)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Aparecida de Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **19:00** do dia **24/03/2025** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Jessica Azevedo Coelho** (Presidente)
- **Ricardo Fernandes de Andrade** (Examinador Interno)
- **Rafael Barbaresco Silva** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 10,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Jessica Azevedo Coelho** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jessica Azevedo Coelho** (036.116.911-60), em **26/03/2025 18:13:41** com chave **314eb8e40a8711f08c98005056a537a4**.
- **Ricardo Fernandes de Andrade** (966.664.986-15), em **26/03/2025 20:22:44** com chave **38b881de0a9911f09315005056a537a4**.
- **RAFAEL BARBARESCO SILVA** (711.689.581-72), em **26/03/2025 18:41:28** com chave **1359ac3c0a8b11f0ba05005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 27/03/2025

Código de Autenticação: 1c829f



*Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus
por iluminar meu caminho e me dar forças
para chegar até aqui. À minha mãe, que com
trabalho árduo e mãos incansáveis, me
ensinou que o esforço e a dedicação
transformam sonhos em realidade. À minha
família, pelo amor, apoio e por acreditarem
em mim sempre.*

AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela sabedoria, força e perseverança ao longo desta caminhada, iluminando meus passos e me concedendo saúde para vencer cada desafio.
- À minha família, pelo apoio incondicional, por acreditarem em meu potencial e por me incentivarem a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.
- À minha orientadora, Ma. Jéssica Azevedo Coelho, por sua paciência, dedicação e valiosa orientação, que foram fundamentais para a construção deste trabalho.
- Aos docentes do Instituto Federal de Goiás (IFG), por todo o ensinamento transmitido ao longo dessa jornada, pelo comprometimento com a excelência acadêmica e pelo incentivo ao pensamento crítico e à busca incessante pelo conhecimento.
- Aos amigos que o IFG me presenteou, pelos momentos de aprendizado, apoio mútuo e pela parceria ao longo dos anos de formação. A convivência e as trocas de experiências tornaram essa trajetória ainda mais enriquecedora.
- Aos amigos de trabalho da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB), que foram essenciais na minha formação profissional, contribuindo com conhecimento, experiências e apoio ao longo dessa jornada.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui, seja com palavras de incentivo, auxílio técnico ou qualquer gesto de apoio. Meu sincero agradecimento a cada um que, de alguma forma, agregou valor a essa conquista.

RESUMO

SANTOS, Jhonatan Caíque Souza dos. Proposta de alternativa sustentável para a substituição de sumidouros por tanque de evapotranspiração em habitações populares: Estudo de caso nas residências da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB) em Goiás. 2025. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Aparecida de Goiânia, 2025.

A falta de saneamento básico em diversas regiões do Brasil ainda é um grande desafio, principalmente em áreas sem acesso a redes centralizadas de esgoto. Em Goiás, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2019), apenas 49,6% do esgoto gerado em 2018 foi tratado, sendo a fossa séptica com sumidouro o sistema mais utilizado (SNIS, 2019). Contudo, sua instalação é inviável em locais com lençol freático raso devido à exigência normativa de um distanciamento mínimo de 1,50 metros entre o fundo do sumidouro e o lençol freático. Diante dessa limitação, este estudo propõe uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes domésticos: a substituição do sumidouro pelo tanque de evapotranspiração, que oferece uma solução ambientalmente segura e normatizada. O trabalho incluiu o dimensionamento e a modelagem do sistema utilizando a metodologia BIM, além da orçamentação e análise comparativa de custos entre os dois sistemas. Os resultados demonstram que, embora o tanque de evapotranspiração tenha um custo inicial mais elevado devido ao uso de materiais específicos e à necessidade de mão de obra especializada, sua viabilidade ecológica e sua aplicabilidade em locais de lençol freático raso fazem dele uma alternativa eficaz e sustentável. O estudo foi aplicado nas residências populares da AGEHAB no município de Ipameri-GO, garantindo que a proposta atenda às normativas vigentes e contribua para o avanço do saneamento básico em áreas de difícil implementação de sistemas convencionais.

PALAVRAS CHAVES: Saneamento, Esgoto, Sustentabilidade, Tanque de Evapotranspiração.

ABSTRACT

The lack of basic sanitation in several regions of Brazil remains a major challenge, especially in areas without access to centralized sewage networks. In Goiás, according to the National Sanitation Information System (2019), only 49.6% of the sewage generated in 2018 was treated, with the septic tank and soak pit system being the most commonly used (SNIS, 2019). However, its installation is unfeasible in areas with a shallow water table due to regulatory requirements mandating a minimum distance of 1.50 meters between the bottom of the soak pit and the groundwater level. Given this limitation, this study proposes a sustainable alternative for domestic wastewater treatment: replacing the soak pit with an evapotranspiration tank, which provides an environmentally safe and standardized solution. The study included the system's design and modeling using the BIM methodology, as well as budgeting and comparative cost analysis between the two systems. The results show that, although the evapotranspiration tank has a higher initial cost due to the use of specific materials and the need for specialized labor, its ecological viability and applicability in areas with a shallow water table make it an effective and sustainable alternative. The study was applied to public housing units developed by AGEHAB in the municipality of Ipameri-GO, ensuring that the proposed solution complies with current regulations and contributes to the advancement of basic sanitation in areas where conventional systems are difficult to implement.

Keywords: Sanitation, Sewage, Sustainability, Evapotranspiration Tank.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gradiente de sistemas de tratamento de esgoto, conforme o seu nível de centralização ou descentralização	20
Figura 2 – Funcionamento geral de um tanque séptico	23
Figura 3 - Corte esquemático - Sumidouro	24
Figura 4 - Perspectiva esquema de funcionamento de um Tanque de Evapotranspiração	26
Figura 5 - Esquema representativo de um tanque de evapotranspiração.	31
Figura 6 - Planta Baixa Casa Goiás Social.....	33
Figura 7 - Isométrico Casa Goiás Social	34
Figura 8 - Planta Baixa Casa Uni	35
Figura 9 - Isométrico implantação Casa Uni.....	36
Figura 10 - Etapas da metodologia	37
Figura 11 - Percurso entre os municípios	39
Figura 12 - Localização de Ipameri e municípios limítrofes.....	40
Figura 13 - Distrito de Domiciano Ribeiro.....	41
Figura 14 - Implantação Tanque de Evapotranspiração	43
Figura 15 - Ortofoto do sistema implantado	43
Figura 16 - Volumes mensais de entrada e de saída do TEvap instalado em Campo Grande - MS, em L (litros), no período entre agosto e novembro de 2008.	49
Figura 17 - Pontos de percolação Quadra 16	57
Figura 18 - Pontos de percolação Quadra 22	57
Figura 19 - Vista superior e planta baixa: Fossa séptica proposta	62
Figura 20 – Corte esquemático AA: Fossa séptica proposta.....	63
Figura 21 - Planta baixa: Tanque de evapotranspiração	65
Figura 22 - Corte BB: Tanque de evapotranspiração	66
Figura 23 - Planta de paisagismo das espécies	68
Figura 24 - Isométrico Tanque de Evapotranspiração proposto	69
Figura 25 - Projeto: Sumidouro	71
Figura 26 - Corte 1: Sumidouro	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas de tratamento de esgoto doméstico	28
Quadro 2 - Sistemas de tratamento completo	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios com Instalação de Tanques de Evapotranspiração proposto	38
Tabela 2 - Resumo das sondagens executadas no Distrito de Domiciano Ribeiro	42
Tabela 3- Contribuição diária de efluente (q) por unidade, para ocupantes permanentes	45
Tabela 4 - Período de detenção dos efluentes, por faixa de contribuição diária	45
Tabela 5 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio	46
Tabela 6 - Valores obtidos para o dimensionamento da fossa séptica	46
Tabela 7 - Consumo per capita de Domiciano Ribeiro	55
Tabela 8 - Valores do ensaio de percolação para Quadra 16	58
Tabela 9 - Valores do ensaio de percolação para Quadra 22	58
Tabela 10 - Conversão dos valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial	59
Tabela 11 - Interpolação dos valores conforme ABNT NBR 17076/2024	60
Tabela 12 - Especificação e quantitativo de espécies de plantas a serem utilizadas no projeto de tanque de evapotranspiração	67
Tabela 13 - Orçamento Fossa Séptica	73
Tabela 14 - Orçamento Sumidouro	75
Tabela 15 - Orçamento tanque de evapotranspiração	77
Tabela 16 - Orçamento vala de infiltração	80
Tabela 17 - Orçamento sistema fossa séptica com dois sumidouros	82
Tabela 18 - Orçamento sistema fossa séptica com tanque de evapotranspiração	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	
1.1.	Objetivo geral	13
1.2.	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Saneamento Básico	14
2.2	Esgotamento Sanitário no Brasil	15
2.3	Esgotamento Sanitário em Goiás	17
2.4	Sistemas de Tratamento de Esgoto.....	18
2.4.1	Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto	19
2.4.2	Fossa séptica	21
2.4.3	Sumidouro.....	23
2.4.4	Tanque de Evapotranspiração.....	25
2.5	Integração da Fossa Séptica com Tanque de Evapotranspiração para Tratamento de Esgoto Doméstico.	27
2.6	Agência Goiana de Habitação (AGEHAB)	31
2.6.1	Projetos desenvolvidos e executados pela AGEHAB.....	32
2.6.2	Casa Goiás Social.....	33
2.6.3	Casa Uni	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Caracterização geral da área de estudo	38
3.1.1	Caracterização da área de estudo proposto	39
3.1.2	Implantação do projeto do tanque de evapotranspiração.....	42
3.2	Dimensionamento fossa séptica.....	44
3.3	Dimensionamento Tanque de Evapotranspiração	47
3.3.1	Métodos de cálculo empírico do tanque de evapotranspiração	48

3.3.2	Método de cálculo conforme ABNT NBR 17076/2024.....	51
3.3.3	Dimensionamento sumidouro.....	53
4	RESULTADOS.....	61
4.1	Projeto fossa séptica	61
4.2	Projeto tanque de evapotranspiração	64
4.2.1	Projeto de paisagismo para o tanque de evapotranspiração	66
4.3	Projeto do sumidouro	70
4.4	Orçamento	72
4.4.1	Fossa séptica	73
4.4.2	Sumidouro.....	75
4.4.3	Tanque de Evapotranspiração.....	76
4.4.4	Vala de infiltração	79
4.4.5	Orçamento conjunto dos sistemas empregados	81
4.5	Análise dos Resultados	84
5	CONCLUSÃO.....	86
	REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

Saneamento básico, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e suas atualizações, pode ser definida como sendo um conjunto de serviços essenciais que visam garantir a saúde pública e a preservação do meio ambiente. A legislação define quatro componentes fundamentais desse sistema: o abastecimento de água potável, que envolve a captação, tratamento e distribuição de água de qualidade para o consumo humano; o esgotamento sanitário, que inclui a coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada dos esgotos; o manejo de resíduos sólidos, que abrange a coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos, bem como a limpeza urbana; e a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, responsável pelo controle de inundações e pelo escoamento seguro das águas das chuvas.

Entre os quatro componentes do saneamento básico, a falta de tratamento de esgoto é a situação mais crítica no Brasil. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), apenas 55% da população brasileira tem acesso à rede de coleta de esgoto sanitário. Destes, mais de 63% vivem em áreas urbanas, podendo evidenciar que quando se sai dos centros das grandes capitais, é possível notar a precariedade do saneamento básico local, principalmente em cidades ausentes de sistema de tratamento de esgoto.

A falta de saneamento básico pode impactar significativamente várias áreas importantes do país, incluindo a educação e a saúde pública. De acordo com Oliveira *et al.* (2015), crianças que vivem e estudam em ambientes sem condições sanitárias adequadas têm um aproveitamento escolar 18% menor e uma taxa de reprovação 46% maior. Isso demonstra que a ausência de saneamento básico prejudica o desempenho acadêmico, dificultando o aprendizado em uma fase crucial para o desenvolvimento intelectual. Essa deficiência educacional pode resultar em desafios na vida adulta, dificultando o avanço na pirâmide social.

Além disso, o Brasil teve em 2021, cerca de 130 mil internações por enfermidades associadas à falta de saneamento básico, resultando em 1.493 óbitos e mais de 54 milhões de despesas com internações por doenças de veiculação hídrica

(Trata Brasil, 2021). E de acordo com a Organização Mundial da Saúde, a cada R\$ 1,00 investidos em saneamento básico, é possível gerar uma economia de R\$ 4,00 em saúde pública. Conforme dados do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, o estado de Goiás, possui pouco mais de 7 milhões de habitantes. Do total de habitantes, mais de 90% possuem acesso a um sistema de rede de água, porém, apenas 58,5% dos moradores, habitam em residências que possuem rede de coleta de esgoto (SNIS, 2020).

Para melhorar o cenário do saneamento no Brasil, a Lei 14.026/2020 estabelece um novo marco, com a meta de universalizar o acesso a serviços de água e esgoto até 2033. Em Goiás, a Lei 14.939/2004 complementa essa iniciativa a nível estadual. Essas legislações representam avanços significativos rumo à universalização do saneamento básico, promovendo melhorias essenciais na saúde pública e na qualidade de vida da população. Todavia, longes dos grandes centros e das grandes capitais, é possível verificar a ausência de sistemas centralizados para tratamento de esgotos, as chamadas ETE's (Estação de Tratamento de Esgoto). Isso se dá pela dificuldade econômica e inviabilidade técnicas para conseguir estruturar, executar e manter tais estrutura.

A Agência Goiana de Habitação S/A (AGEHAB), desempenha um papel essencial no setor habitacional de Goiás, desenvolvendo e implementando políticas públicas voltadas para o crescimento urbano e o acesso à moradia digna, especialmente para a população em situação de vulnerabilidade social e econômica. A AGEHAB foca principalmente nos interiores do estado, onde constrói residências a custo zero para beneficiar a população local. No entanto, muitas dessas cidades não têm uma rede centralizada de coleta de esgoto.

Conforme apontado por Libralato *et al.* (2011), sistemas de tratamento descentralizados são vantajosos em regiões sem rede de coleta de esgoto. Em tais locais, a AGEHAB propõe a construção desses sistemas descentralizados, sendo as fossas sépticas e sumidouros as opções mais comuns. O principal desafio desses sistemas é atender às normas vigentes, especialmente a exigência de um distanciamento mínimo de 1,50 metros entre o fundo do sumidouro e o lençol freático.

Nas áreas onde a AGEHAB constrói casas e que carecem de uma rede de coleta de esgoto, a falta de alternativas adequadas de tratamento sanitário é uma questão preocupante.

Com o objetivo de beneficiar o maior número possível de municípios, e atender todas as normativas vigentes, incluindo as normas brasileiras regulamentadoras (NBR), e as leis federais e estaduais. Este estudo propõe substituir o sumidouro por um tanque de evapotranspiração. A proposta inclui o desenvolvimento do projeto com software *BIM (Building Information Modeling)*, abrangendo o memorial de cálculo para o dimensionamento adequado do sistema e a orçamentação completa, para que possa ser comparado com os custos de um sumidouro tradicional. Após a elaboração do modelo, foi realizada a implementação do tanque de evapotranspiração no município de Ipameri-GO por possuir um lençol freático raso, conforme confirmado por laudo de sondagem local.

1.1. Objetivo geral

Propor uma solução sustentável para o tratamento de efluentes em casas de habitação popular da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB) localizadas em áreas com lençol freático raso.

1.2. Objetivos específicos

- Desenvolver o projeto de um tanque de evapotranspiração utilizando a metodologia *BIM (Building Information Modeling)* para a modelagem paramétrica e orçamentação;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica do sistema de tanque de evapotranspiração.
- Comparar custos e benefícios em relação ao sistema tradicional de sumidouro, considerando a realidade do município;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados ao saneamento básico, abordando sua importância para a saúde pública e o meio ambiente. Inicialmente, será discutido o panorama do esgotamento sanitário no Brasil e em Goiás, destacando os desafios enfrentados na ampliação do acesso ao tratamento de efluentes. Em seguida, serão explorados os sistemas de tratamento de esgoto, com ênfase nos sistemas descentralizados, que se mostram viáveis para áreas sem infraestrutura convencional. Também será abordado o funcionamento das fossas sépticas e das soluções complementares para disposição final dos efluentes, como o sumidouro e o tanque de evapotranspiração, enfatizando suas vantagens e limitações conforme normativas técnicas

2.1 Saneamento Básico

A poluição da água é uma ameaça grave à saúde humana e ao meio ambiente, afetando milhões de pessoas ao redor do mundo. Mais de 80% das águas residuais globais ainda são despejadas em rios e oceanos sem tratamento adequado, causando desequilíbrios ecológicos e contaminando fontes de água essenciais (WWAP, 2017). Isso agrava a escassez de água potável, especialmente em áreas superpovoadas, e contribui para a disseminação de doenças como cólera e disenteria, resultando em milhares de mortes anualmente, muitas delas de crianças (OMS, 2019).

Segundo dados de 2018 da Organização das Nações Unidas (ONU) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 2,2 bilhões de pessoas no mundo, ou 03 em cada 10, não tinham acesso à água potável, e 4,2 bilhões, o equivalente a 06 em cada 10, não dispunham de saneamento básico (OMS, 2019). Aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas não tinham acesso a instalações sanitárias adequadas, como vasos sanitários ou latrinas. Além disso, 14% da população mundial, ou 1 bilhão de pessoas, não possuía qualquer tipo de instalação sanitária, com 90% desse grupo vivendo em áreas rurais (OMS, 2019).

Até a metade da década de 1960, no Brasil, a responsabilidade pelos serviços públicos de fornecimento de água e coleta de esgoto era predominantemente dos

municípios, que realizavam esses serviços através de Departamentos ou Serviços Municipais de Águas e Esgotos (SAES ou DAES). Em 1970, foi implementado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), o que levou à criação de empresas estaduais responsáveis pelos serviços públicos de abastecimento de água e esgoto. (Turolla, 2002).

Segundo Santos (2007), o crescimento da população brasileira, especialmente nas últimas décadas, resultou em uma maior demanda por água e, conseqüentemente, no aumento da geração de resíduos decorrentes do seu uso. Esses efluentes sanitários precisam ser tratados antes de serem despejados nos corpos d'água, a fim de assegurar a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável global (Santos, 2007). O saneamento básico pode evitar até 9,1% das doenças globais e diminuir em 6,3% o número total de mortes (Prüss-Üstün *et al.*, 2008). O acesso à água e ao saneamento básico foi oficialmente reconhecido como um direito fundamental de todos os seres humanos (ONU, 2010).

2.2 Esgotamento Sanitário no Brasil

No Brasil, 56% da população tem acesso a redes de esgoto. Mais de 93 milhões de brasileiros (44%) ainda não contam com coleta de esgoto. Além disso, 3,1% das crianças e adolescentes vivem em casas sem banheiro (SNIS, 2022). Entre as 100 maiores cidades do país, 38 possuem mais de 90% da população com acesso à rede de esgoto (Trata Brasil, 2023). A proporção de municípios com redes de esgoto no Brasil aumentou de 47,3% em 1989 para 60,3% em 2017 (Trata Brasil, 2023).

A Constituição Federal de 1988, ao estabelecer a dignidade da pessoa humana como um dos pilares da República Federativa do Brasil (art. 1º, III), também incluiu diversas diretrizes interconectadas relacionadas ao saneamento básico. Essas diretrizes incluem a proteção ambiental como um princípio da ordem econômica e financeira (art. 170, VI), a política de desenvolvimento urbano (art. 182), e a garantia de um meio ambiente ecologicamente equilibrado (art. 225), (Brasil, 1988).

Além disso, a Constituição Federal de 1988, estabeleceu que a responsabilidade pela promoção de programas de saneamento básico é compartilhada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios (Brasil,

1988). Dessa forma, todos os entes federativos têm o dever de implementar tais programas, conforme indicado por Nohara e Postal Júnior (2018). A Constituição também atribui à União a tarefa de definir diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo áreas como habitação e saneamento básico (Brasil, 1988). Em resposta, foi criada a Lei nº 11.445/2007, que estabelece o marco legal para o saneamento básico e define diretrizes nacionais para o setor.

O marco legal para o saneamento básico, estabelecendo diretrizes nacionais para o setor, foi definido pela Lei nº 11.445/2007. Em 15 de julho de 2020, após ser aprovada pelas casas legislativas, foi sancionada a Lei nº 14.026/2020, que trouxe mudanças significativas para a legislação sobre saneamento básico. Essa nova lei alterou aspectos importantes como a titularidade, contratos, concessões, universalização e gestão de resíduos sólidos, entre outras modificações (Brasil, 2020).

A Lei nº 14.026/2020 trouxe mudanças significativas para o sistema institucional da política de saneamento básico no Brasil. Ela estabeleceu prazos para a universalização de serviços como abastecimento de água e esgotamento sanitário, bem como para a destinação final de resíduos sólidos. Para atingir esses objetivos, o novo marco legal promoveu a abertura do mercado à iniciativa privada, desafiando o domínio das companhias estaduais de saneamento que prevalecia até então. A nova legislação também reformulou o modelo de contratos e concessões administrativas, proibindo os municípios de conceder novos contratos a Estados sem licitação prévia e de firmar contratos de programa com empresas estatais de outras Unidades Federativas. Além disso, a lei passou a exigir uma padronização mínima nos contratos e definiu regras mais rigorosas para garantir a sustentabilidade e o equilíbrio econômico-financeiro dos serviços (Leite, Neto e Bezerra, 2022).

Além disso, para enfrentar as dificuldades gerenciais e financeiras dos Municípios, foi reforçada a ideia de regionalização dos serviços de saneamento básico, especialmente no que diz respeito ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário. No entanto, o veto à renovação por 30 anos dos contratos de programa em vigor e às situações de fato em que empresas públicas ou sociedades de economia mista prestam serviços de saneamento pode acarretar prejuízos

imediatos para a política do setor, considerando que uma parte significativa da execução dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto ainda é realizada pelas companhias estaduais de saneamento (Leite, Neto e Bezerra, 2022).

O déficit nos serviços de saneamento básico no Brasil, aliado à vulnerabilidade econômica de grande parte da população que ainda não tem acesso a esses serviços, evidencia a necessidade de uma atuação conjunta entre o setor privado e o poder público. Para garantir avanços nesse setor, é fundamental que o Estado não apenas fomenta investimentos, mas também implemente políticas públicas eficazes que viabilizem a ampliação e a melhoria do saneamento em todo o país.

2.3 Esgotamento Sanitário em Goiás

Quando se fala do Estado de Goiás, com uma população de 7,1 milhões de pessoas, 90,9% tinham acesso ao abastecimento de água. Dentre esses, 58,5% moravam em residências com sistema de coleta de esgoto. Apenas 55,6% do volume de esgoto gerado era tratado, e as perdas de água nos sistemas de distribuição eram de 27,7% (SNIS, 2020).

A primeira ação para o desenvolvimento do setor em Goiânia ocorreu com a publicação do Decreto nº 359, em 18 de maio de 1933. Esse decreto determinou a transferência da capital do Estado da cidade histórica de Goiás para Goiânia e proporcionou incentivos significativos para obras de infraestrutura, incluindo energia e saneamento básico, essenciais para o estabelecimento do novo centro urbano. Assim, no dia 22 de novembro de 1934, foi firmado o primeiro contrato com a empresa “Herbert Pereira & Cia” para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Estado (Saneamento de Goiás S.A., 2011).

Conforme informações da SANEAGO (2011), o primeiro sistema de abastecimento de água de Goiânia captava água de maneira superficial no córrego Areião, com canalização exposta e sem estação de tratamento. Para o esgoto, foram utilizadas fossas sépticas, que rapidamente mostraram-se inadequadas para o crescimento da cidade. Isso levou à promulgação do Decreto-Lei nº 4.756, em 17 de setembro de 1941, que concedeu ao escritório A.B. Pimentel a responsabilidade de estabelecer e explorar a rede de esgoto sanitário por 25 anos. Como resultado, foi

criada a empresa Melhoramentos de Goiás S.A., que finalizou os serviços contratados em 1948.

Em 1967 surgiu a SANEAGO, atual empresa responsável pelo saneamento do Estado e ela se firmou como a principal fornecedora de serviços de saneamento em Goiás, mesmo em meio à tendência de privatização das Companhias Estaduais de Saneamento surgidas na época. A empresa está presente em 223 dos 246 municípios do Estado, estando assim presente em 91% do estado, fornecendo abastecimento de água a 98,07% da população e realizando serviços de esgotamento sanitário para mais de 73% da população do estado (Saneago, 2024).

Goiás tem se destacado como o Estado que mais aumentou os investimentos em saneamento na região Centro-Oeste (Sacho, Hora, 2016), sendo a visão organizacional da empresa, ser referência em prestação de serviços de saneamento básico no Brasil até 2029 (Saneago, 2024). Porém, devido à dificuldade de se levar infraestrutura para municípios mais distantes, algumas cidades precisam buscar por alternativas de esgotamento sanitário, para o atendimento da população local.

2.4 Sistemas de Tratamento de Esgoto

Atualmente, há várias opções para o tratamento de esgoto, que podem ser categorizadas em dois grupos principais: sistemas centralizados e sistemas descentralizados. Os sistemas centralizados são comumente utilizados em grandes metrópoles e envolvem a coleta de esgoto proveniente de um grande número de fontes. O processo inclui o uso de bombas, redes coletoras e estações elevatórias, quando necessário, para transportar o esgoto até uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Na ETE, o esgoto é tratado e, quando viável, a água é submetida a processos de reuso. Esses sistemas apresentam como principais vantagens o baixo custo unitário de operação, devido ao tratamento de grandes volumes de esgoto, e a capacidade de oferecer diferentes níveis de qualidade da água, conforme os requisitos para reuso ou descarte (Sbutil *et al.*, 2016).

Considerando as vantagens e a definição dos sistemas centralizados de esgoto discutidas anteriormente, é fundamental direcionar o foco para os sistemas descentralizados. Dado o escopo e o objetivo deste trabalho. Nos próximos tópicos,

serão exploradas as características do sistema centralizado de esgoto, destacando as vantagens e características desse tipo de sistema.

2.4.1 Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto

Nas regiões mais afastadas das grandes metrópoles e em grande parte nas áreas urbana do Brasil, há uma certa dependência de sistemas descentralizados para tratamento de esgoto, visto que não há estrutura para um sistema centralizado como uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Nesses casos, por questões de infraestrutura e custo, os sistemas descentralizados se tornam as melhores opções para o tratamento local do esgoto.

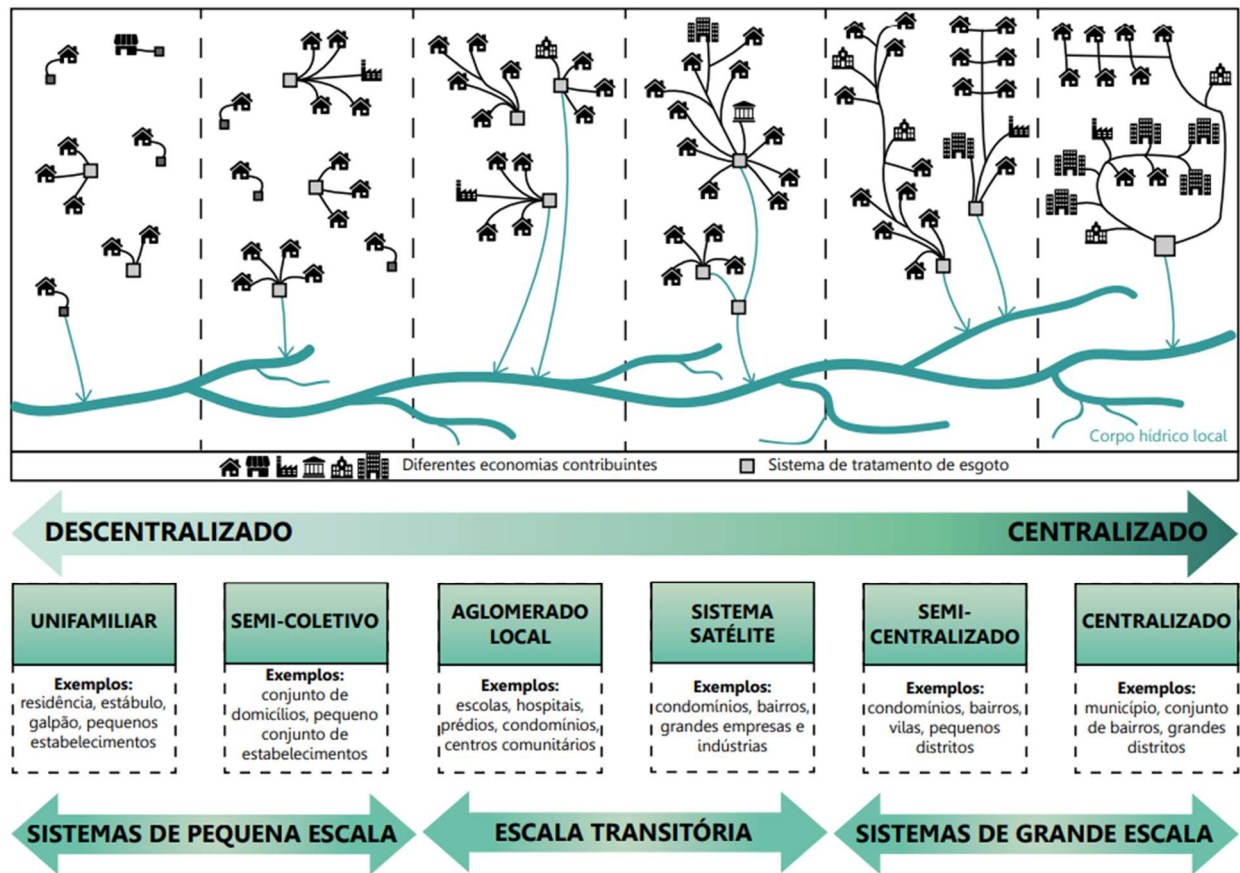
Tonetti *et al.* (2018) explicam que os sistemas descentralizados se caracterizam por coletarem, tratarem e realizarem a disposição final ou o reuso do esgoto próximo ao local de sua geração, em contraste com os sistemas centralizados tradicionais. Os autores ainda dividem os sistemas descentralizados em dois, sendo eles: Unifamiliares e Semicoletivos. Os sistemas unifamiliares se referem àquele que faz o tratamento de esgoto para atender uma família que habita em um ou dois domicílios bem próximas uma da outra. Por outro lado, os semicoletivos são sistemas que fazem o tratamento para atender um grupo em específico como: vilas, igrejas, pequenas escolas, dentre outras. É importante salientar que este estudo se concentrará apenas no sistema do tipo unifamiliar.

Nos países em desenvolvimento, o rápido crescimento populacional tem superado a capacidade de expansão dos serviços públicos de saneamento. Como resultado, é provável que as soluções individuais para a disposição de esgotos continuem sendo amplamente utilizadas (Jordão e Pessoa, 2005). Na Figura 1, podemos entender melhor sobre a diferença dos sistemas descentralizados até chegarem aos sistemas centralizados, sendo possível observar também os grupos e economias mais presentes em cada tipo de sistema.

Tonetti *et al.* (2018) destacam diversas vantagens dos sistemas descentralizados de esgotamento sanitário, com ênfase nos benefícios sociais e ambientais. Do ponto de vista social, esses sistemas contribuem significativamente

para a melhoria da saúde pública ao tratar o esgoto de maneira adequada, evitando seu descarte em corpos hídricos e, conseqüentemente, reduzindo a poluição do solo e dos sistemas aquáticos. No aspecto econômico, os sistemas descentralizados apresentam um custo relativamente baixo de construção e manutenção, tornando-os acessíveis para comunidades de menor poder aquisitivo. Além disso, uma das principais vantagens operacionais é a simplicidade do sistema, que não exige mão de obra especializada para sua instalação e operação, facilitando a sua implementação em áreas com recursos técnicos limitados.

Figura 1 - Gradiente de sistemas de tratamento de esgoto, conforme o seu nível de centralização ou descentralização



Fonte: Bueno (2017).

Atualmente, há diversas opções de tratamento descentralizado de esgoto, como fossa séptica, filtro anaeróbico, sumidouro, valas de infiltração, tanque de evapotranspiração, entre outras alternativas. No Brasil, a regulamentação desses sistemas eram orientadas até 2024 por duas normativas principais: a ABNT NBR 7229/1993, que estabelece diretrizes para o projeto, operação e construção de

sistemas de tanques sépticos, e a ABNT NBR 13969/1997, que trata dos tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e da disposição final dos efluentes líquidos, abrangendo o projeto, construção e operação desses sistemas, porém ambas foram substituídas pela ABNT NBR 17076/2024: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos. Durante o desenvolvimento deste trabalho, a atualização da norma ocorreu no meio do processo, o que resultou na manutenção de alguns termos das normas anteriores, os quais, entretanto, permanecem em consonância com a nova norma. Os itens que apresentaram discrepâncias mais significativas foram devidamente atualizados para alinhar-se à ABNT NBR 17076/2024.

2.4.2 Fossa séptica

As fossas sépticas, comumente chamadas também de tanque séptico, é uma alternativa ao tratamento descentralizado de esgoto doméstico, sendo formado por uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, a qual faz o tratamento do efluentes de esgoto por processos de sedimentação, flotação e digestão (ABNT NBR 7229/1993).

As fossas sépticas podem ser do tipo de câmara única, sendo composta por um único compartimento, na qual a parte superior é destinada aos processos de sedimentação, flotação e digestão da camada superficial de espuma, enquanto a parte inferior é reservada para o acúmulo e digestão do lodo sedimentado. Outro tipo é o de câmaras em série, unidade composta por dois ou mais compartimentos contínuos, organizados de forma sequencial no sentido do fluxo do líquido e interligados de maneira apropriada, onde ocorrem de forma conjunta e gradualmente reduzida os processos de flotação, sedimentação e digestão (ABNT NBR 7229/1993).

De acordo com o IBGE (2007), as fossas sépticas são o método mais comum de tratamento de esgoto individual. Esses tanques funcionam como unidades de tratamento primário para o esgoto doméstico, responsáveis pela separação e transformação dos sólidos presentes no esgoto.

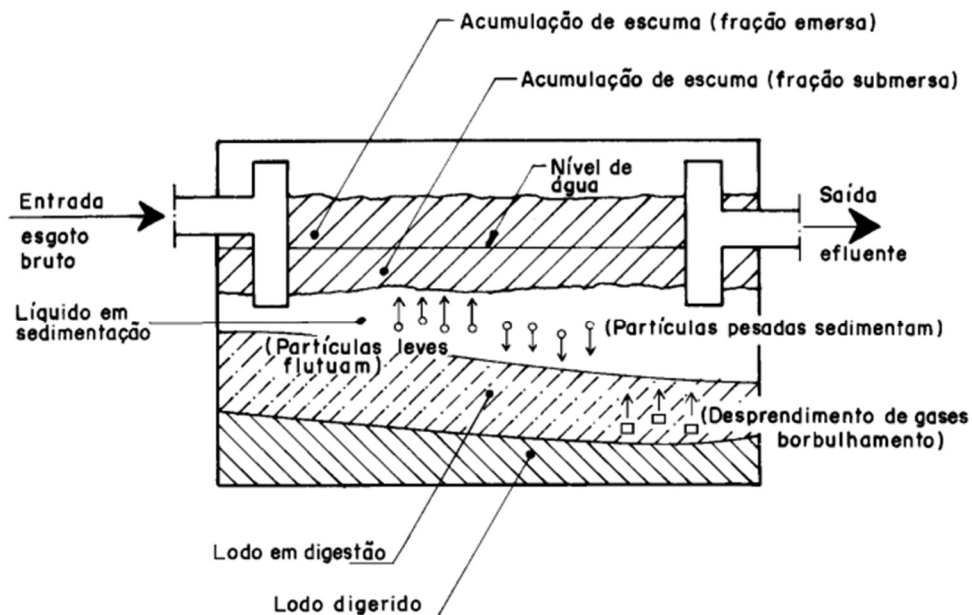
A fossa séptica é um sistema primário de tratamento, sendo necessário uma disposição final para completar o processo. O sistema promove a decomposição do material sólido presente no esgoto a partir da ação de bactérias anaeróbicas, aquelas que vivem na ausência de oxigênio. Assim, o material orgânico é depositado no fundo da fossa séptica, por gravidade, formando um lodo que será degradado de forma biológica. Finalizando esse processo, a porção líquida restante é encaminhado para a disposição final, podendo ser usado qualquer dos métodos estabelecidos pela ABNT NBR 17076/2024, que diz respeito dos tratamentos complementares e disposição final dos efluentes líquidos.

Os tanques sépticos podem ser entendidos como reatores biológicos anaeróbios, onde reações químicas ocorrem com a participação ativa de microrganismos, que contribuem significativamente para a redução da matéria orgânica. No interior desses tanques, o esgoto é tratado em um ambiente sem a presença de oxigênio livre (anaeróbio), resultando na formação de uma biomassa anaeróbia, conhecida como lodo anaeróbio, e na geração de biogás, composto predominantemente por metano e dióxido de carbono (Ávila, 2005).

Quando o esgoto entra no tanque séptico, os microrganismos começam a decompor a matéria orgânica presente. As partículas mais pesadas se acumulam no fundo, enquanto as mais leves flutuam e formam uma camada de espuma na superfície, que pode atingir cerca de 20 a 25 cm de espessura e inclui substâncias como óleos e gorduras. A água resultante dessa separação é então encaminhada para o filtro anaeróbico ou tratamento complementar (Jordão e Pessoa, 1995).

A fossa séptica pode ser construída com várias metodologias e estruturas, as mais comuns são as construídas com tijolo comum, bloco de concreto e anéis pré-moldado de concreto, a depender do custo e da disponibilidade do material na região a ser implantada o sistema. É importante salientar que a construção deve ser feita levando em consideração uma fácil manutenção, um baixo custo e todos os requisitos de dimensionamento estabelecidas pela ABNT NBR 7229/1993.

Figura 2 – Funcionamento geral de um tanque séptico



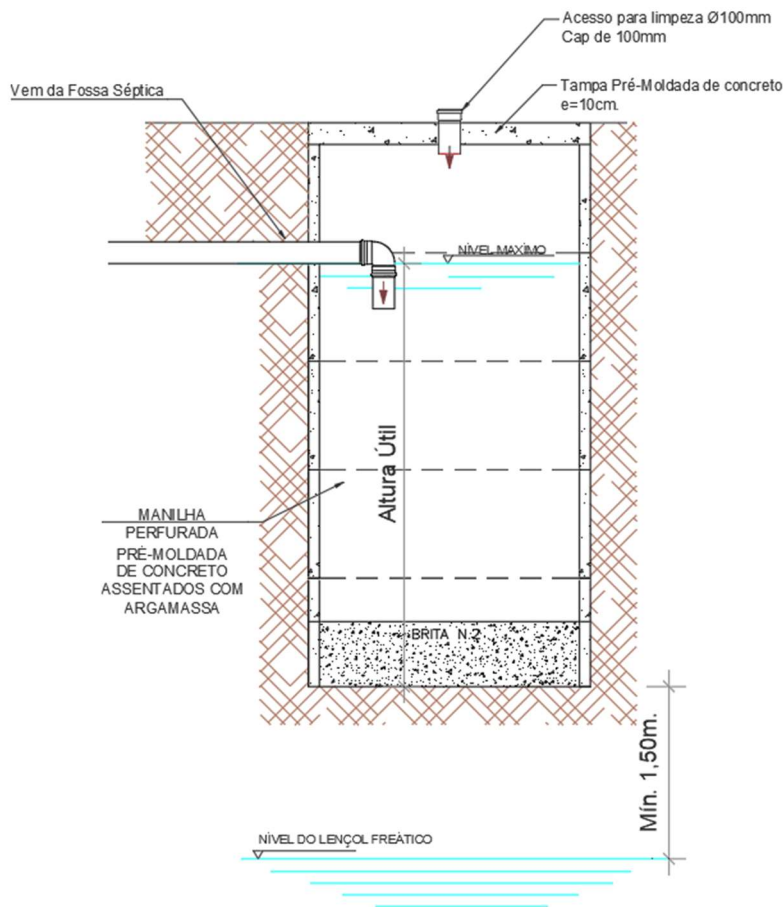
Fonte: ABNT NBR 7229/1993.

2.4.3 Sumidouro

O sumidouro também é uma forma popular de tratamento complementar de esgoto, sendo uma alternativa para disposição final do esgoto doméstico. A ABNT NBR 7229/1993, define sumidouro como: “Poço seco escavado no chão e não impermeabilizado, que orienta a infiltração de água residuária no solo”. A ABNT NBR 13969/1997, complementa a definição sendo: “Poço escavado no solo, destinado à depuração e disposição final do esgoto no nível subsuperficial”.

O sumidouro é uma estrutura vertical projetada para a disposição e tratamento final dos efluentes provenientes do tanque séptico, sendo permeáveis e não possui laje no fundo, permitindo assim a fácil penetração da parte líquida no solo. Seu uso é viável somente em locais onde o lençol freático é profundo, sendo necessário garantir uma distância mínima de 1,50 m entre o fundo do sistema e o nível do lençol freático. Após o processamento dos efluentes pelo tanque séptico, que inclui a deposição e a digestão, o líquido resultante é direcionado ao sumidouro. Nesse local, as águas residuais são liberadas ou reaproveitadas por meio da infiltração direta no solo.

Figura 3 - Corte esquemático - Sumidouro



Fonte: O autor.

Os sumidouros podem ter formatos cilíndrico ou prismático e serem construídos com paredes de pedra, tijolo, manilhas de concreto perfurada, entre outros materiais. Essas paredes não devem ser revestidas para permitir a infiltração do líquido. No fundo e/ou nas laterais do sumidouro, pode haver uma camada de brita para auxiliar na filtração do esgoto tratado, embora sua inclusão seja opcional para o projetista. Na prática, muitos construtores optam por não incluir essa camada de brita para reduzir os custos (Jordão e Pessoa, 1995).

2.4.4 Tanque de Evapotranspiração

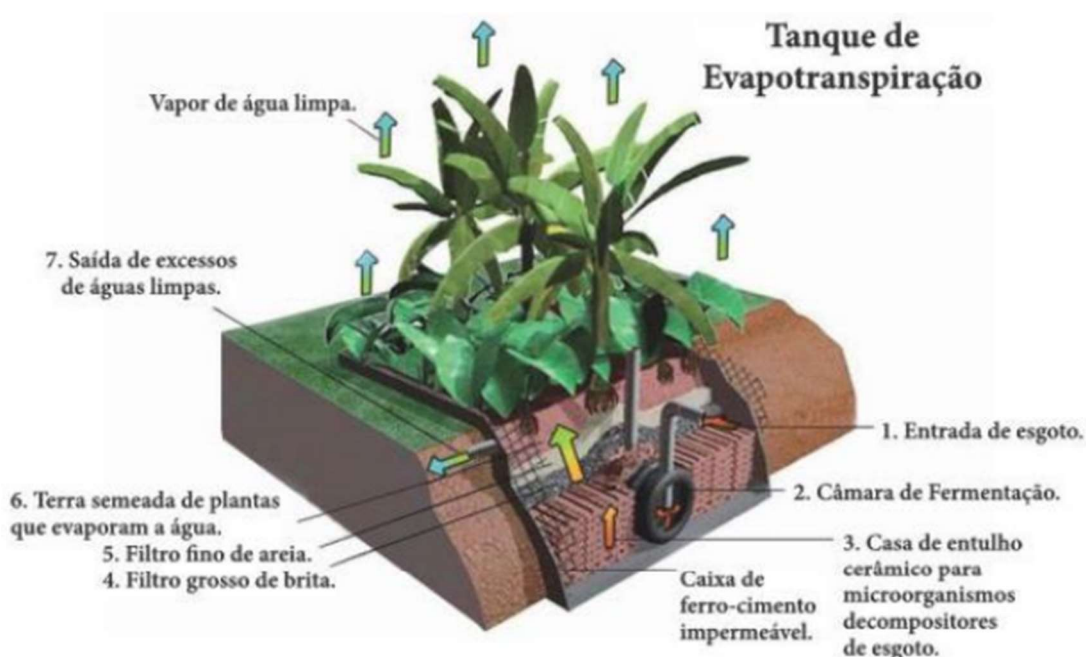
O tanque de evapotranspiração é uma tecnologia desenvolvida por permacultores para o tratamento e reaproveitamento de águas negras. Este sistema, que envolve a utilização de plantas, permite que os nutrientes do esgoto se integrem à biomassa das plantas, enquanto a água é eliminada por evapotranspiração (Pamplona e Venturi, 2004). O sistema, criado pelo permacultor norte-americano Tom Watson e originalmente denominado *Watson Wick* (Bodens e Oliveira, 2009), foi introduzido no Brasil em 1992 por Scott Pittman. Após sua implementação pelos permacultores, a técnica passou a ser promovida e adotada por diversos grupos ambientalistas, sendo continuamente aprimorada e inovada ao longo do tempo (IPB, 2010).

De acordo com Galbiati (2009), o sistema é composto por um tanque impermeabilizado, que é preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. Esse tanque recebe o efluente dos vasos sanitários, onde ocorrem processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização dos nutrientes, além da absorção e evapotranspiração pelas plantas. Cada módulo do tanque é dimensionado para atender a uma unidade familiar. São encontrados em outros estudos, vários nomes para a mesma técnica, podendo se encontrar os seguintes nomes: Tanque de Evapotranspiração (Tevap), Ecofossa, Fossa Verde, Fossa Bioséptica, Fossa Evapotranspiradora, Fossa de Bananeira, Canteiro Bio-séptico (Figueiredo, 2019).

Os principais processos físicos, químicos e biológicos que atuam no funcionamento desse processo incluem a precipitação e sedimentação de sólidos, a degradação microbiana anaeróbica, a decomposição aeróbica, a movimentação da água por capilaridade e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Fundação Banco do Brasil, 2024). A evapotranspiração remove a água do sistema através da transpiração das plantas e da evaporação natural da água presente no tanque, enquanto os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas (Paulo e Bernardes, 2009).

Assim, as águas residuárias passam por um tratamento biológico. Nesse processo, os microrganismos presentes (bactérias e fungos) decompõem a matéria orgânica, liberando nutrientes que são absorvidos pelas raízes das plantas, enquanto o excesso de água é evapotranspirado para a atmosfera na forma de água pura. Dessa maneira, esse tipo de tratamento transforma águas residuárias, que teriam um impacto negativo significativo se descartadas no ambiente, em nutrientes úteis para as plantas cultivadas e libera água tratada para a atmosfera (Paes *et al.*, 2014).

Figura 4 - Perspectiva esquema de funcionamento de um Tanque de Evapotranspiração



Fonte: Silva (2017) adaptado.

Para que o sistema tenha uma boa eficiência, se faz necessário o uso de plantas que tenha um grande índice de evapotranspiração, sendo necessário também serem de raízes rasas, para não danificar o sistema. Pamplona e Venturi (2004) recomendam a plantação de algumas plantas comestíveis, como: banana (*Musa sp.*), mamão (*Carica papaya L.*), inhame (*Colocasia sp.*) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott*). Já Emater/FBB (2016) sugere a utilização de plantas ornamentais, recomendando o plantio das seguintes espécies: copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), maria-sem-vergonha (*Impatiens walleriana*), lírio-do-brejo (*Hedychium*

coronarium), caeté banana (*Heliconia farinosa*), junco (*Zizaniopsis bonariensis*) e beri (diversas espécies do gênero *Canna*).

O estudo dos Tanques de Evapotranspiração (TEvap) busca contribuir para o aprimoramento das condições de saneamento no Brasil, especialmente em áreas rurais, que frequentemente recebem menos atenção em comparação aos grandes centros urbanos. Os TEvap apresentam-se como uma alternativa de saneamento sustentável, oferecendo uma solução para coleta, tratamento e disposição do esgoto doméstico, com o objetivo de alcançar aceitação por parte da população (Costa, 2014).

De acordo com Silva *et al.* (2022), o esgoto doméstico é composto por duas categorias: águas negras e águas cinzas. As águas negras, provenientes do esgoto sanitário contendo urina e fezes, requerem tratamento específico para reduzir patógenos. Já as águas cinzas, provenientes de chuveiros, pias e lavanderias, possuem potencial para reutilização em atividades como lavagem de áreas externas, irrigação de jardins e limpeza de veículos. De acordo com Freire (2022), a utilização do Tanque de Evapotranspiração (TEvap) é viável apenas quando há a separação das águas geradas na residência. Nesse contexto, somente o efluente proveniente dos sanitários (águas negras) deve ser direcionado ao TEvap, enquanto as águas cinzas, provenientes de pias, tanques e chuveiros, precisam ser encaminhadas para outro sistema de tratamento. Outros autores como Pamplona e Venturi (2004), também defende a utilização do sistema apenas para o tratamento de águas negras.

2.5 Integração da Fossa Séptica com Tanque de Evapotranspiração para Tratamento de Esgoto Doméstico.

Como evidenciado, a maioria dos estudos disponíveis sobre o tanque de evapotranspiração utiliza o sistema apenas para o tratamento primário das águas residuárias, focando exclusivamente nas águas negras da residência e tratando as águas cinzas com métodos complementares. Essa abordagem reflete a ausência de normativas específicas na época em que essas pesquisas foram realizadas. No entanto, com o avanço das regulamentações, a ABNT NBR 17076/2024 - Projeto de

sistema de tratamento de esgoto de menor porte – Requisitos, agora fornece diretrizes para a aplicação de sistemas como o tanque de evapotranspiração.

Este trabalho propõe uma abordagem inovadora ao utilizar o tanque de evapotranspiração não para o tratamento primário, como já possuem vários estudos com esse método, mas como um tratamento secundário. A proposta é direcionar apenas o efluente líquido para o sistema, enquanto os dejetos serão previamente tratados por um sistema de fossa séptica. Esta abordagem visa otimizar o tratamento de esgoto, alinhando-se às novas normativas e aproveitando as diretrizes atualizadas para um uso mais eficiente do tanque de evapotranspiração.

Com isso, o funcionamento completo do sistema inicia com o direcionamento de todo o esgoto da residência através das caixas de distribuição até a fossa séptica. Ao chegar na fossa, o esgoto passa por um tratamento preliminar, focado na remoção dos sólidos de maior porte, separando a matéria orgânica sedimentável. Em seguida, o efluente líquido é conduzido ao tanque de evapotranspiração, onde ocorre o tratamento final do efluente líquido. Nesse processo, o líquido é gradualmente evaporado ou absorvido pelas plantas por meio da capilaridade do solo. O que não for evapotranspirado é filtrado pelas camadas de brita e areia, servindo como nutriente para o crescimento saudável das plantas, garantindo a sustentabilidade do sistema.

Para compreender melhor cada uma das etapas no processo de tratamento de esgoto, a ABNT NBR 17076/2024 classifica o tratamento de esgoto doméstico em cinco etapas distintas. Essas etapas são apresentadas de maneira detalhada no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Etapas de tratamento de esgoto doméstico

Tratamento preliminar	Esta etapa é focada na remoção de sólidos grosseiros presentes no esgoto, como areia, óleos e graxas. É uma fase essencial para a proteção dos equipamentos de tratamento subsequentes
Tratamento primário	Aqui o objetivo é remover sólidos em suspensão e materiais flutuantes que se sedimentam, separados do efluente líquido. Esta fase visa a redução da carga de sólidos e partículas maiores.
Tratamento secundário	Esta etapa é voltada para a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão que não é eliminada no tratamento primário. A matéria

	orgânica dissolvida, também conhecida como DBO solúvel, não é removida por métodos físicos simples, enquanto a matéria orgânica em suspensão, ou DBO particulada, é parcialmente removida durante o tratamento primário, com a eliminação de sólidos de sedimentação lenta persistindo na massa líquida
Tratamento terciário	Composto por um conjunto de processos adicionais, o tratamento terciário visa a remoção de nutrientes ou microorganismos específicos que não foram completamente eliminados nas etapas anteriores. Este tratamento pode incluir diversas operações, dependendo da qualidade do efluente final desejada.

Fonte: NBR 17076/2024 Adaptado.

O Quadro 2, nos traz um esquema representativo da composição dos sistemas de tratamento preconizados pela ABNT NBR 17076/2024. Com isso vemos que o tanque séptico se apresenta como um tratamento primário, e o tanque de evapotranspiração como disposição final do efluente tratado. Vale ressaltar que para o estudo de caso, por se tratar de uma residência unifamiliar com 4 moradores, não se faz necessário o tratamento secundário e terciário, visto que o volume de esgoto é baixo, e a tipologia da residência não nos traz grandes dificuldades de tratamento como areias, graxas ou matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel ou filtrada). A norma ainda cita que pode haver combinações de processos de tratamento para complementar a eficiência requerida, além de dar a flexibilidade ao profissional devidamente habilitado para realizar outras configurações para o sistema de tratamento.

Quadro 2 - Sistemas de tratamento completo

Tratamento preliminar	Tratamento primário	Tratamento secundário	Tratamento terciário	Disposição final do efluente tratado
Caixa retentora de gordura	Tanque séptico	Filtro anaeróbio	Desinfecção	Infiltração em solo
Caixa desarenadora	MTEC primária	Filtro aeróbio		Corpo receptor de água
Dispositivo de gradeamento		MTEC anaeróbia		Reuso

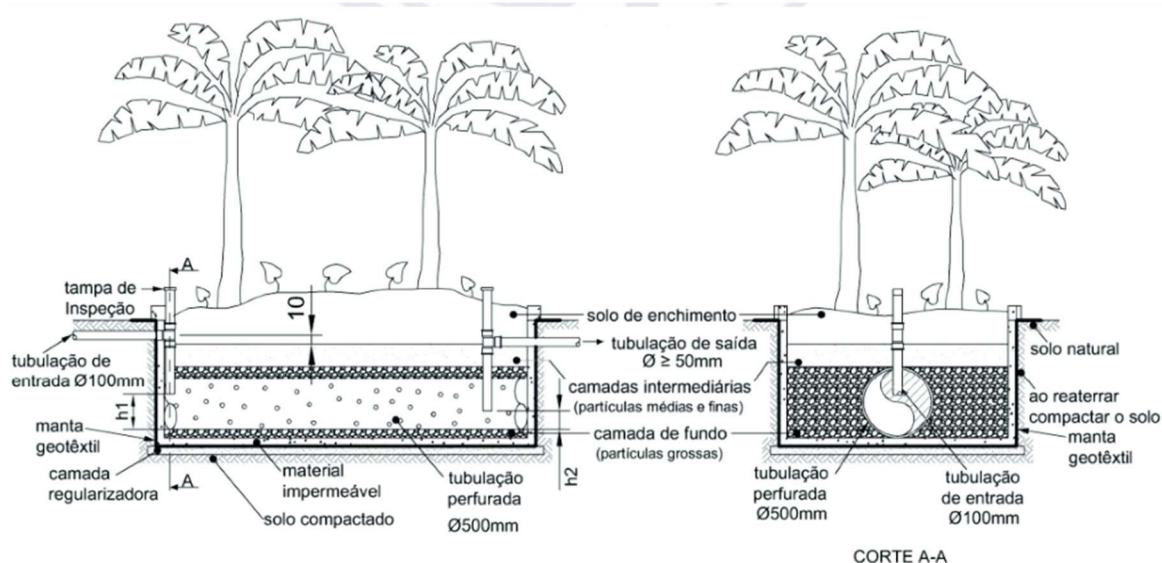
	MTEC aeróbia	Evapotranspiração
	Lodo Ativado fluxo contínuo	
	ECTE	
	RAC	
	Wetlands	
	Lodo ativado por batelada	
	Vermifiltro	

Fonte: ABNT NBR 17076/2024, Adaptado.

O Anexo M da ABNT NBR 17076/2024 aborda exclusivamente a utilização do tanque de evapotranspiração para a disposição final do efluente líquido tratado. Este anexo fornece diretrizes gerais, critérios de dimensionamento, detalhes sobre o processo construtivo e outras informações essenciais para a construção e implementação eficaz do sistema. As orientações incluídas garantem que o tanque de evapotranspiração seja utilizado de maneira adequada e eficiente.

A ABNT NBR 17076/2024 frisa que a aplicação do tanque de evapotranspiração é indicada para residências do tipo unifamiliares com até cinco moradores. O principal objetivo do sistema conforme a norma é o direcionamento do efluente líquido para o tanque que recebe e direciona para camadas de diferentes materiais filtrantes. Conforme pode se observar na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Esquema representativo de um tanque de evapotranspiração.



Fonte: NBR 17076/2024.

De acordo com a ABNT NBR 17076/2024, no interior do tanque de evapotranspiração, a matéria orgânica é degradada por processos físicos, químicos e biológicos. As plantas presentes na superfície do sistema absorvem os nutrientes do esgoto, e, para garantir a eficiência do processo, devem ser plantadas espécies vegetais com raízes pouco profundas e alto potencial de evapotranspiração, com uma média anual superior a 1.500 mm. O principal objetivo do tanque é reduzir o volume de esgoto, e como medida preventiva, recomenda-se a instalação de um sistema complementar de infiltração para eventuais excessos que não sejam evapotranspirados.

2.6 Agência Goiana de Habitação (AGEHAB)

A Agência Goiana de Habitação S/A (AGEHAB) desempenha um papel crucial no cenário habitacional de Goiás, sendo responsável pela elaboração e implementação das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento urbano e o acesso à moradia digna especialmente ao público em vulnerabilidade social e econômica (AGEHAB, 2024).

Criada pela Lei Estadual nº 13.532, de 15 de outubro de 1999, como resultado da fusão da Companhia de Habitação de Goiás (Cohab) e da Companhia Habitacional

do Estado de Goiás (Chego), a AGEHAB é uma empresa estatal responsável pela construção de unidades habitacionais de interesse social e pela execução da regularização fundiária em todo o território goiano. Comprometida com sua missão de proporcionar acesso à moradia digna e qualidade de vida às famílias em situação de vulnerabilidade social, a AGEHAB estabelece parcerias entre os setores público e privado para executar metas como as do programa "Pra Ter Onde Morar", que tem como um dos objetivos, a construção de casas a custo zero em vários municípios de estado de Goiás, com uma meta de entrega de 10 mil casas a custo zero até o final do ano de 2026 (AGEHAB, 2024).

A construção de qualquer habitação, seja ela destinada a fins sociais ou privados, requer a instalação de infraestrutura básica essencial, como fornecimento de energia elétrica, abastecimento de água e um sistema de tratamento de esgoto, seja ele centralizado ou descentralizado, dependendo da região. No contexto das residências fornecidas pela AGEHAB através do programa "Pra Ter Onde Morar", esse requisito não é exceção. Considerando que o programa visa levar habitações para diversos municípios em Goiás, muitas dessas localidades não possuem uma estação de tratamento de esgoto centralizada. Portanto, é necessário recorrer a sistemas descentralizados, como fossas sépticas e sumidouros, para assegurar um mínimo de saneamento básico para as famílias beneficiadas (AGEHAB, 2024).

2.6.1 Projetos desenvolvidos e executados pela AGEHAB

A AGEHAB desempenha um papel fundamental no setor habitacional de Goiás, sendo responsável pela implementação de políticas públicas focadas no crescimento urbano e no acesso à moradia digna, com especial atenção à população em situação de vulnerabilidade social e econômica. Entre as iniciativas mais relevantes da instituição, destacam-se dois projetos piloto que vêm ganhando crescente reconhecimento devido à sua abordagem arquitetônica inclusiva, voltada até mesmo para o público com deficiência (PCD). Esses projetos, em execução em diversos municípios do estado de Goiás, são denominados Casa Goiás Social e Casa Uni, e têm se consolidado como referências em termos de inovação e adaptação às necessidades habitacionais da população.

2.6.2 Casa Goiás Social

A Casa Goiás Social é um projeto habitacional de 47,43 m², distribuídos em dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço. Este modelo foi concebido para atender às necessidades da população em situação de vulnerabilidade, incluindo adaptações para o público com deficiência (PCD), o que torna o projeto ainda mais inclusivo. Atualmente, estão em execução mais de 2.900 unidades da Casa Goiás Social em diversos municípios do estado de Goiás, refletindo o impacto e a relevância dessa iniciativa. A figura a seguir apresenta a planta baixa do projeto, evidenciando sua configuração e acessibilidade.

Figura 6 - Planta Baixa Casa Goiás Social



Fonte: AGEHAB, 2024.

Para melhorar a visualização, a próxima figura apresenta o isométrico externo da Casa Goiás Social, destacando sua fachada e a configuração do volume da construção. Essa representação permite uma visão clara da arquitetura externa da residência, evidenciando os elementos de design e a integração do imóvel ao ambiente, com foco na acessibilidade e funcionalidade para o público-alvo.

Figura 7 - Isométrico Casa Goiás Social



Fonte: AGEHAB, 2024.

2.6.3 Casa Uni

A Casa Uni atualmente conta com mais de 1.550 unidades em execução e é um dos principais projetos habitacionais do estado de Goiás. Com uma área de 54,54m², a casa é dividida em 2 dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço, atendendo às necessidades das famílias com foco em acessibilidade. Este projeto tem se destacado pela sua eficiência e pela alta taxa de aceitação por parte dos moradores, tornando-se uma referência no estado. O *design* foi desenvolvido para proporcionar conforto e funcionalidade, assegurando a qualidade de vida dos residentes, com ênfase na integração de soluções que favorecem a inclusão e o bem-estar. A figura a seguir mostra a planta baixa do projeto em questão.

Figura 8 - Planta Baixa Casa Uni



Fonte: AGEHAB, 2024.

A seguir, apresentamos o isométrico da Casa Uni, Figura 9, que ilustra a perspectiva externa do projeto. Esta representação tridimensional destaca a arquitetura da casa, evidenciando suas linhas e volumes, além de proporcionar uma visão clara da distribuição espacial do conjunto.

Figura 9 - Isométrico implantação Casa Uni



Fonte: AGEHAB, 2024.

3 METODOLOGIA

Este trabalho seguiu uma abordagem metodológica de natureza mista, combinando técnicas qualitativas e quantitativas para explorar de maneira abrangente o tema proposto. Inicialmente, foi-se realizado um aprofundamento teórico por meio de uma revisão da literatura especializada sobre o dimensionamento prático e empírico de tanques de evapotranspiração. Esse levantamento bibliográfico foi conduzido utilizando bases de dados renomadas, como *Web of Science*, Google Acadêmico, Portal Capes, além de repositórios de universidades e institutos federais. A pesquisa foi orientada por palavras-chave relevantes, tais como “Tanque de evapotranspiração”, “Bacia de evapotranspiração”, “TeVap” e “Dimensionamento Tanque de evapotranspiração”. O objetivo foi identificar os autores mais citados e reconhecidos na área, estabelecendo uma base teórica sólida.

Posteriormente, realizou-se uma comparação entre os modelos de cálculo propostos por esses autores e o modelo de cálculo definido pela ABNT NBR 17076/2024, a fim de identificar convergências e divergências. Com base nessa

análise aprofundada da literatura e das normativas, foi elaborada uma proposta de dimensionamento do sistema de tratamento utilizando o tanque de evapotranspiração.

A escolha do município para este estudo teve um papel fundamental na condução da pesquisa. O distrito de Domiciano Ribeiro, em Ipameri-GO, foi selecionado devido à significativa quantidade de tanques de evapotranspiração implantados na região. Essa característica possibilitou uma base mais ampla para a análise comparativa de custos entre o sistema tradicional de sumidouro e a alternativa do tanque de evapotranspiração, contribuindo para uma avaliação mais precisa da viabilidade econômica da solução proposta.

Nas etapas subsequentes, o foco se deu na elaboração de um projeto detalhado do sistema, incluindo todas as fases necessárias, desde o projeto sanitário e paisagístico até o orçamento do projeto.

A Figura 10 apresenta o fluxograma detalhado das etapas que foram seguidas na execução desta metodologia.

Figura 10 - Etapas da metodologia



Fonte: O autor.

As próximas etapas da metodologia, conforme Figura 10, consistiu-se no dimensionamento do sistema, verificando as normativas e autores atuais, a fim de filtrar e viabilizar os cálculos necessários para o dimensionamento do sistema.

3.1 Caracterização geral da área de estudo

O tanque de evapotranspiração foi adotado pela AGEHAB como uma solução alternativa para municípios onde a instalação do sumidouro se mostrou inviável, principalmente em áreas com lençol freático raso. No entanto, por se tratar de uma tecnologia recente e ainda em fase de implementação, poucos municípios aderiram a essa solução até o momento. A Tabela 10 a seguir apresenta os municípios onde o sistema foi instalado, com o objetivo de avaliar a eficiência da proposta e sua viabilidade como alternativa sustentável para o tratamento de esgoto.

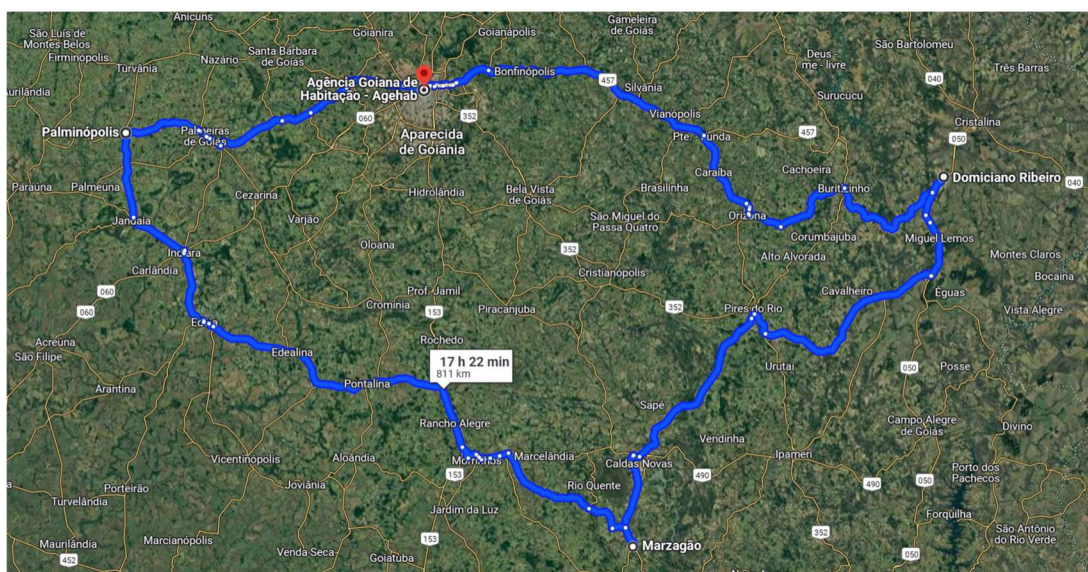
Tabela 1 - Municípios com Instalação de Tanques de Evapotranspiração proposto

Município	Setor	Casas Construídas	Quantidade de Tanque de evapotranspiração instalados
Ipameri	Enedina	30 UH	0 Unidades
	Domiciano Ribeiro	28 UH	28 Unidades
	Residencial		
Palminópolis	Dona Iva	50 UH	9 Unidades
	Maria Borges		
Marzagão	Joaquim Lima	36 UH	10 Unidades

Fonte: O autor.

Para este estudo, devido às limitações orçamentárias, tornou-se inviável analisar todos os municípios mencionados, principalmente devido à distância significativa entre a sede da AGEHAB, em Goiânia, e os três municípios, o que resultaria em um deslocamento superior a 800 km para a coleta de dados. Conforme pode ser observado pela Figura 11.

Figura 11 - Percurso entre os municípios



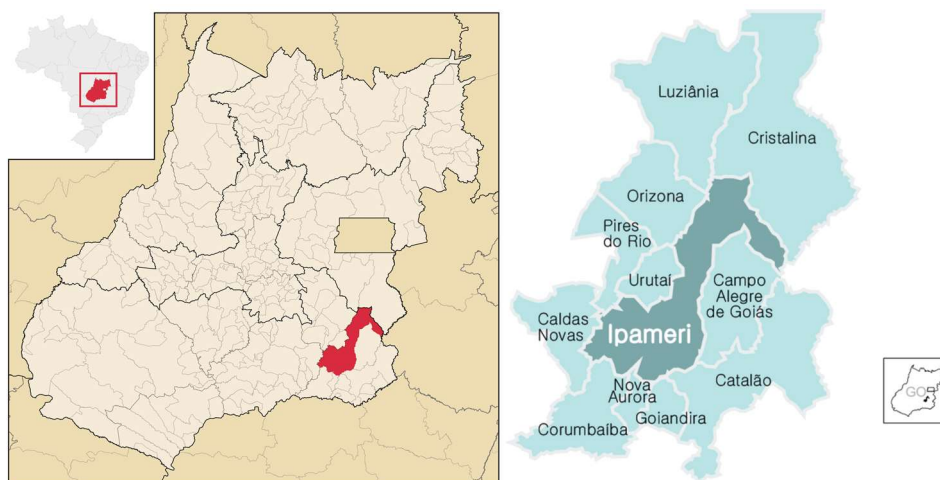
Fonte: Google Maps.

Dessa forma, optou-se por concentrar a pesquisa no município de Ipameri, que apresentou o maior número de instalações do tanque de evapotranspiração, totalizando 28 unidades, facilitando assim a avaliação de sua eficácia e viabilidade.

3.1.1 Caracterização da área de estudo proposto

O município escolhido para o desenvolvimento do trabalho, como mencionado, foi o município de Ipameri, em Goiás, conforme Figura 12. Ipameri está localizado no sudeste de Goiás, a aproximadamente 200 km de Goiânia, com coordenadas geográficas 17°43'49" S e 48°09'12" O. O município é banhado pelos rios Corumbá e São Marcos e possui uma população estimada em 27.365 habitantes (IBGE 2022). Além da sede, Ipameri conta com dois distritos: Domiciano Ribeiro, situado a cerca de 150 km do centro da Ipameri, e Cavalheiro, a aproximadamente 70 km de distância. Os municípios limítrofes de Ipameri são, ao norte, Cristalina e Luziânia; a noroeste, Orizônia e Urutaí; a oeste, Pires do Rio e Caldas Novas; ao sudoeste, Corumbá; ao sul, Goiandira e Nova Aurora; a leste, Catalão; e a nordeste, Campo Alegre de Goiás, além de parte de Cristalina e Paracatu (MG). O bioma predominante na região é o Cerrado com cerca de (96,4%) de abrangência, possuindo apenas uma parcela pequena do território com o bioma de mata atlântica (3,6%), (Ipameri, 2024).

Figura 12 - Localização de Ipameri e municípios limítrofes



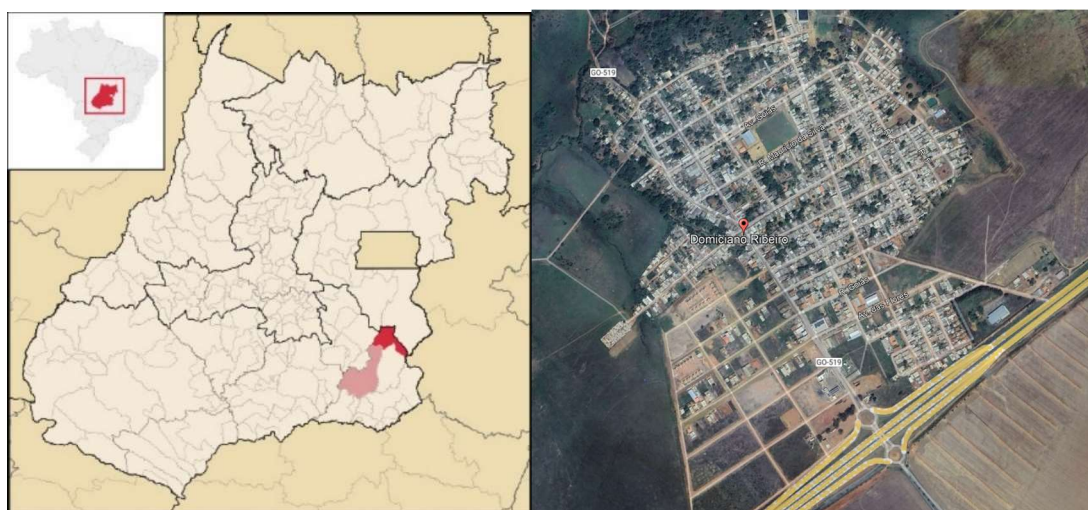
Fonte: O autor

As casas da AGEHAB foram construídas no distrito de Domiciano Ribeiro devido à disponibilidade de áreas adequadas para a construção de habitações populares, bem como à necessidade de reduzir o déficit habitacional tanto no distrito quanto no próprio município de Ipameri. O distrito de Domiciano Ribeiro foi oficialmente criado pela Lei Municipal nº 83, de 31 de dezembro de 1953, em homenagem a um garimpeiro que habitava a região durante a época do garimpo de aluvião. Atualmente, o distrito é composto pelo Setor Central, que inclui 56 quadras, e pelo Loteamento Fiúza, com 19 quadras, totalizando 1.625 imóveis. Localiza-se a aproximadamente 150 km da sede do Município de Ipameri, sendo acessível por rodovias pavimentadas e situado entre os municípios de Cristalina e Campo Alegre de Goiás (Ipameri, 2024).

O distrito de Domiciano Ribeiro é abastecido por poços profundos, com uma profundidade aproximada de 74 metros. A distribuição da água é realizada por meio de duas adutoras, uma com diâmetro de 50 mm e outra de 100 mm. A armazenagem da água é garantida por três reservatórios: dois localizados no Setor Central e um no Setor Jardim Fiúza, somando um total de 180 m³ de capacidade. A segunda revisão do plano básico de saneamento de Ipameri, aprovada em 2024, identificou a necessidade de expandir a capacidade de armazenamento para 300 m³, com a ampliação prevista para o primeiro ano de vigência do plano (Ipameri, 2024).

Em relação ao tratamento de esgoto, Ipameri atualmente não dispõe de uma rede coletora. O esgoto é tratado predominantemente por fossas sépticas, além de algumas ligações irregulares a trincheiras e o uso de fossas negras. A segunda revisão do plano básico de saneamento destaca os impactos ambientais desses sistemas, especialmente sobre o aquífero local, que pode ser contaminado devido à proximidade do lençol freático. O plano também ressalta a necessidade urgente de elaborar projetos básicos e executivos para a instalação de uma rede coletora de esgoto doméstico e para a construção de uma estação de tratamento de efluentes (ETE), com início previsto para o ano de 2024. A Figura 13 a seguir ilustra o distrito de Domiciano Ribeiro.

Figura 13 - Distrito de Domiciano Ribeiro



Fonte: O autor.

A escolha do distrito de Domiciano Ribeiro para a instalação dos tanques de evapotranspiração foi motivada pela presença de um lençol freático raso na área. Em 2021, foi realizado um ensaio de sondagem a percussão no exato local destinado à futura implantação das casas da AGEHAB, com 6 furos em pontos estratégicos, de modo a representar adequadamente toda a área. Os resultados obtidos a partir desses ensaios estão apresentados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Resumo das sondagens executadas no Distrito de Domiciano Ribeiro

SP	Data de início	Data de término	Profundidade (m)	Nível D'água (m)
SP-01	11/09/2021	11/09/2021	8,2	2,67
SP-02	11/09/2021	11/09/2021	8,08	2,51
SP-03	11/09/2021	11/09/2021	6,06	2,11
SP-04	12/09/2021	12/09/2021	10,15	2,89
SP-05	12/09/2021	12/09/2021	10,09	3,08
SP-06	12/09/2021	12/09/2021	10,12	2,91
Média		-		2,70
Desvio padrão		-		0,3491

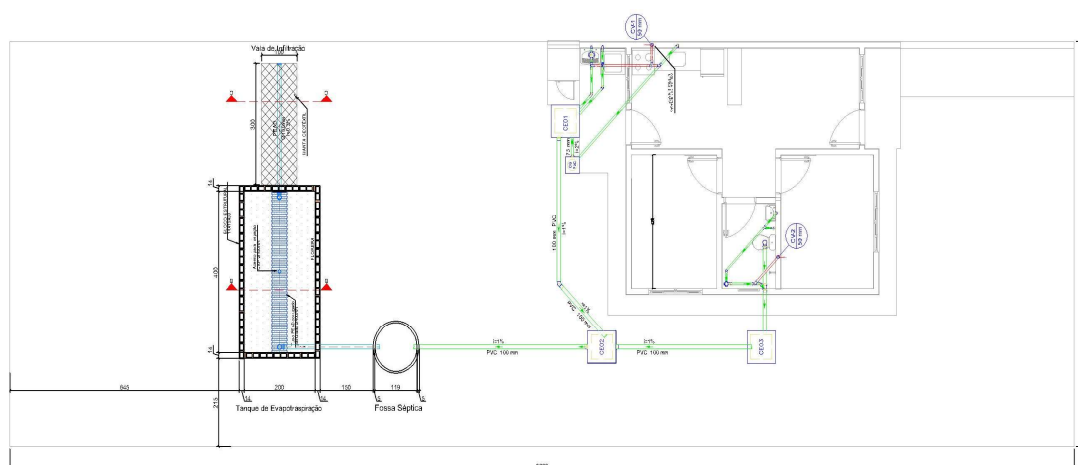
Fonte: O autor.

Observa-se que a média do nível do lençol freático na região foi de 2,70 metros. Considerando que a altura mínima de 2,00 metros é comumente adotada em projetos semelhantes para sumidouros e que o sistema deve manter uma distância mínima de 1,50 metros do lençol freático, seria necessário que o aquífero estivesse a no mínimo 3,50 metros de profundidade para que fosse viável a utilização do sumidouro como sistema de tratamento para a disposição final do efluente líquido. Como essa condição não é atendida no município de Ipameri, especificamente no distrito de Domiciano Ribeiro, optou-se pela utilização do tanque de evapotranspiração como uma alternativa sustentável para substituir o sistema de sumidouro.

3.1.2 Implantação do projeto do tanque de evapotranspiração

No município de Ipameri, no distrito de Domiciano Ribeiro, a construtora optou pela construção da casa Goiás Social. Os lotes destinados à construção possuem dimensões de 10x30m, o que facilita a implantação do sistema de tanque de evapotranspiração. A Figura 14 a seguir ilustra a disposição do sistema dentro do lote, destacando a integração entre o projeto arquitetônico da residência e a solução proposta para o tratamento de esgoto, evidenciando a viabilidade e a adequação do sistema às características do terreno e às necessidades da construção.

Figura 14 - Implantação Tanque de Evapotranspiração



Fonte: O autor.

A ortofoto a seguir apresenta uma imagem aérea, evidenciando como ficaram os lotes após a implantação do sistema proposto. A fotografia ilustra a disposição do tanque de evapotranspiração e demonstra a integração eficiente do sistema no terreno, proporcionando uma solução sustentável e adequada ao projeto habitacional.

Figura 15 - Ortofoto do sistema implantado



Fonte: AGEHAB, 2024.

3.2 Dimensionamento fossa séptica

Para o dimensionamento da fossa séptica, utilizava-se a ABNT NBR 7229/1993, que regulamentava o Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. No entanto, durante a elaboração deste trabalho essa norma foi cancelada, sendo substituída pela ABNT NBR 17076/2024 - Projeto de Sistema de Tratamento de Esgoto de Menor Porte – Requisitos, que agora está em vigor. Assim, o presente projeto seguirá as diretrizes da ABNT NBR 17076/2024, por ser a norma mais atual e apropriada para o dimensionamento de sistemas de tratamento de esgoto de menor porte, como é o caso da residência unifamiliar tratada por este trabalho, porém devido ao cancelamento da norma antiga no decorrer deste trabalho, optou-se pela permanência de alguns termos técnicos contidos na ABNT NBR 7229/1993.

Para o dimensionamento da fossa séptica, inicia-se pelo cálculo do volume útil total, dada pela equação 1 a seguir:

$$V = 1000 + N \times (q \times T + K \times Lf) \quad (1)$$

Onde

V é o volume útil, expresso em litros (L);

N é o número de pessoas ou unidades de contribuição, dada em unidades (ud);

q é a contribuição de efluente (esgoto), expressa em litros/unidade/dia (L/ud/d);

T é o período de retenção, expresso em dias (d);

K é a taxa de acumulação de lodo digerido, expressa em dias (d);

Lf é a contribuição de lodo fresco, expressa em litros/dia (L/d).

O dimensionamento levará em consideração uma fossa séptica cilíndrica, com um diâmetro interno de Ø1,20m. Para os cálculos o número de pessoas (N) para o sistema será 4 pessoas, conforme projeto da AGEHAB. A contribuição de efluente de esgoto (q), assim como a contribuição de lodo fresco pode ser obtida através da Tabela 3, os critérios para a obtenção dos dados referidos, levou-se em consideração uma residência padrão baixo, por se tratar de casas populares de interesse social. A Tabela 4 apresenta os valores estimados para o tempo de retenção do esgoto.

Tabela 3- Contribuição diária de efluente (q) por unidade, para ocupantes permanentes

Tipo e contribuição	Unidade	Contribuição de efluente	Lodo fresco
		(q) Litro/unidade/dia	(Lf) Litro/unidade/dia
Residência padrão alto	Pessoa	160	1
Residência padrão médio	Pessoa	130	1
Residência padrão baixo	Pessoa	100	1
Hotel (exceto banheiro, lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	1
Hotel com cozinha e lavanderia, exceto banheiro	Pessoa	240	1
Hotel com cozinha lavanderia e banheiro	Pessoa	360	1
Alojamento provisório	Pessoa	80	1
Orfanato – asilo	Pessoa	120	1
Escola (internato)	Pessoa	150	1
Presídio	Pessoa	240	1
Quartel	Pessoa	120	1
Área rural	Pessoa	100	1

Fonte: ABNT NBR 17076/2024.

Tabela 4 - Período de detenção dos efluentes, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária L	Tempo de detenção	
	Dia	Horas
Até 1 500	1,00	24
Acima de 1 501 até 3 000	0,92	22
Acima de 3 001 até 4 500	0,83	20
Acima de 4 501 até 6 000	0,75	18
Acima de 6 001 até 7 500	0,67	16
Acima de 7 501 até 9 000	0,58	14
Acima de 9 001 até 12 000	0,50	12

Fonte: ABNT NBR 17076/2024.

Para se entender melhor as tabelas acima, podemos verificar a contribuição de efluente (q) se trata da vazão diária de esgoto por pessoa e o período de detenção (T) é tempo mínimo ideal de retenção e está diretamente relacionado ao volume de despejos gerados pela residência.

O último dado indispensável para o dimensionamento é a taxa de acumulação total de lodo, que é calculada com base no intervalo previsto entre as limpezas da fossa séptica, em anos, e na temperatura média do mês mais frio da região onde o sistema será instalado. As estimativas dessa taxa estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente		
	Temperatura ambiente (°C)		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT NBR 17076/2024.

Com todos os dados necessários para o cálculo, dado a Equação 1, podemos tabelar os seguintes valores.

Tabela 6 - Valores obtidos para o dimensionamento da fossa séptica

índices	Valores	Unidade	Referência
N	4	pessoas	Projeto
q	100	litros/unidade/dia	Tabela 3
T	1	dia	Tabela 4
K	65	dias	Tabela 5
Lf	1	litros/dia	Tabela 3
V	$1000 + N \times (q \times T + K \times Lf)$	Litros	Equação 1
Volume (V)	1 660 Litros ou 1,66m³	-	Equação 1

Fonte: O autor.

Dessa forma, o volume útil da fossa séptica para atender uma família de 4 pessoas, conforme os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 17076/2024, é de 1.660 litros, ou 1,66 m³. Com o volume necessário em mãos e o diâmetro pré-estabelecido para a fossa séptica, foi possível determinar a altura útil mínima (h) utilizando relações matemáticas para o cálculo do volume cilíndrico. A altura mínima foi calculada pela aplicação da Equação 2, apresentada a seguir:

$$h = \frac{V}{\pi r^2} \quad (2)$$

Onde

h é altura útil mínima necessária para a fossa séptica em metros (m);

V é volume útil em metros cúbicos (m³);

r é raio da base da fossa séptica em metros (m).

Através da Equação 2, obteve-se uma altura útil mínima de 1,47 metros, que será arredondada para 1,50 metros. Assim, a fossa séptica final contará com um volume de 1,66 m³, um diâmetro interno de 1,20 metros e uma altura útil de 1,50 metros, atendendo plenamente os requisitos de dimensionamento e garantindo a eficiência no tratamento dos efluentes. É importante frisar que a altura útil é a dimensão do tubo de entrada até o fundo da fossa séptica, sendo assim, a altura final do sistema deverá ser acima de 1,50m. Para este projeto, considerando a utilização de manilhas pré-moldada de concreto com altura padrão de 0,50m cada, utilizou-se a altura final de 2,00m, computando na utilização de 4 manilhas inteiras.

3.3 Dimensionamento Tanque de Evapotranspiração

Para o dimensionamento do tanque de evapotranspiração, tradicionalmente utilizavam-se critérios de cálculos empíricos desenvolvidos por autores renomados na área de saneamento. Isso ocorria devido à falta de normativas técnicas específicas para esse tipo de sistema, o que levava à adoção de métodos baseados em experiências e trabalhos anteriores bem-sucedidos. Como resultado, muitos artigos relacionados ao tema priorizavam essas abordagens empíricas para o dimensionamento do sistema.

Entretanto, durante o desenvolvimento deste trabalho, foi publicada a ABNT NBR 17076/2024, que regulamenta o tanque de evapotranspiração e define critérios técnicos para o seu dimensionamento. Diante dessa mudança, além de propor o dimensionamento do sistema, será realizada uma análise comparativa entre os critérios empíricos utilizados antes da normatização e os parâmetros estabelecidos pela nova norma. Essa análise será fundamental para compreender a evolução dos métodos de dimensionamento e para valorizar o trabalho dos autores que, por meio de tentativa e erro, contribuíram para o desenvolvimento mais preciso dessa tecnologia.

3.3.1 Métodos de cálculo empírico do tanque de evapotranspiração

O sistema de tanque de evapotranspiração segue um certo padrão de dimensionamento, conforme apontado por diversos autores da área de saneamento. Pamplona e Venturi (2004) sugerem que uma superfície de 2 m² por pessoa é suficiente para um dimensionamento adequado, com a recomendação de que apenas as águas negras provenientes dos vasos sanitários sejam direcionadas ao TeVap. Esses autores destacam que o cálculo proposto é mais eficiente em regiões quentes, onde a evapotranspiração é mais intensa. Em regiões frias, no entanto, pode ser necessário adaptar o sistema, aumentando a área de evapotranspiração ou a quantidade de plantas. Em alguns casos, ambas as medidas podem ser necessárias para garantir a eficácia do sistema.

O dimensionamento do tanque de evapotranspiração proposto por Galbiati (2009), levou em consideração inicialmente uma unidade familiar formada por dois habitantes com 4m² de área superficial. Em seu estudo, foi-se realizado uma análise bem criteriosa para estimar a capacidade do sistema, começando pela determinação da capacidade do tanque, com uma leitura diária através de um hidrômetro velocimétrico instalado na tubulação que alimenta a caixa de descarga do vaso sanitário e de um pluviômetro do tipo Hellmann, com 200 cm² de área de captação, instalado próximo ao tanque.

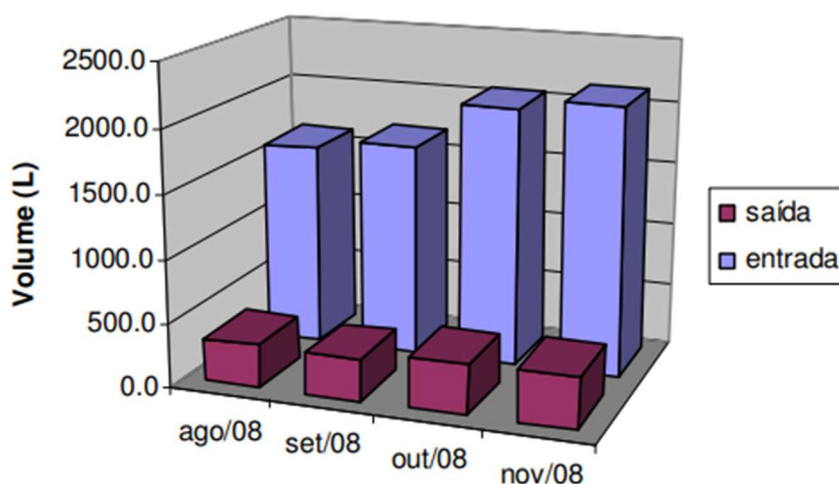
Além disso, foi-se realizado um estudo sistemático para conseguir determinar a taxa de evapotranspiração média, levando em consideração as condições climáticas

locais, que para o trabalho de Galbiati (2009), se deu na cidade de Campo Grande (MS), chegando a uma taxa média (kd) de 2,71.

Galbiati (2009) definiu um coeficiente específico para o tanque, chamado Ktevap, com base no kd médio obtido. Esse coeficiente, ao ser multiplicado pela evapotranspiração de referência diária do período analisado, permitiu estimar os valores de evapotranspiração diários. A partir desses valores, subtraindo-se o volume diário de entrada do sistema, foi possível calcular as estimativas dos volumes de extravasamento do tanque ao longo dos dias.

Conforme apresentado no gráfico da Figura 16, os resultados obtidos por Galbiati (2009) demonstram os volumes mensais de entrada no sistema, considerando esgoto e chuva, e os volumes mensais de extravasamento ou saída do efluente. Esses dados referem-se ao período entre agosto e novembro de 2008, durante a realização do estudo pela autora.

Figura 16 - Volumes mensais de entrada e de saída do TEvap instalado em Campo Grande - MS, em L (litros), no período entre agosto e novembro de 2008.



Fonte: Galbiati (2009).

Galbiati (2009) ressalta que os resultados apresentados na Figura 16 demonstram coerência, com 80% do volume total sendo removido do sistema por evapotranspiração. Considerando o funcionamento ideal do Tevap, que prevê um mínimo de extravasamento do efluente sob condições normais de uso, a autora concluiu que as dimensões inicialmente propostas de 4m² não atendem ao volume de consumo registrado para o grupo de usuários estudado. Para resolver essa questão e chegar em uma proposta de dimensionamento para o sistema, a autora levou em consideração fatores estudados como o coeficiente do tanque, a taxa de evapotranspiração e o número de usuários, relacionados com a caixa de descarga da residência, com um consumo per capita de 32 litros por dia. Com isso foi possível propor a seguinte equação para dimensionamento adequada às condições climáticas locais, conforme se mostra a seguir.

$$A = \frac{n \times Q_d}{ET_0 \times k_{tevap} - P \times k_i} \quad (3)$$

Onde:

A é área superficial do tanque, em m²;

n é número médio de usuários do sistema;

Qd é vazão diária por pessoa, em litros por dia, de acordo com o tipo de descarga e o número de utilizações por pessoa;

K tevap é coeficiente do tanque, adotado como 2,71, para as condições da realização da pesquisa;

ET₀ é evapotranspiração de referência média do local, em mm. d⁻¹;

P é pluviosidade média do local, em mm. d⁻¹;

K_i é coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

De acordo com a Equação 3, o dimensionamento do tanque de evapotranspiração requer a obtenção de dados específicos, como o coeficiente do tanque e a evaporação média do local, que devem ser estimados sempre que o tanque for instalado em diferentes regiões. Com base nesses parâmetros, Galbiati (2009) concluiu que uma área de superfície entre 12 e 16 m² é adequada para atender uma família de 4 a 5 pessoas.

No estudo de caso realizado por Machado *et. al.* (2020), usa-se alguns critérios para o dimensionamento do sistema do tanque, como por exemplo a orientação do sol, os autores também enfatizam sobre a necessidade de uma vala de infiltração para a disposição final dos efluentes possivelmente extravasados, conforme a ABNT NBR 13969/1997.

A partir da pesquisa realizado, Machado *et. al.* (2020) constataram que para cada morador seria necessário aproximadamente 2 m³ de tanque para que o sistema funcione sem extravasamento. Com isso os autores propuseram a seguinte equação para o dimensionamento do sistema:

$$V = L \times P \times C \quad (4)$$

Onde:

V é volume total do sistema metros cúbicos (m³);

L é largura do tanque de evapotranspiração em metros (m);

P é profundidade do tanque de evapotranspiração em metros (m);

C é comprimento do tanque de evapotranspiração em metro por pessoa (m.pessoa).

Com isso, de forma empírica, os autores utilizaram as medias fixas de 2 metros de largura (L), e profundidade de 1 metro (P), variando o comprimento (C) de acordo com o número total de moradores.

3.3.2 Método de cálculo conforme ABNT NBR 17076/2024

A ABNT NBR 17076/2024, em seu Anexo M, estabelece diretrizes fundamentais para o dimensionamento do tanque de evapotranspiração. A norma detalha as condições e parâmetros essenciais que devem ser considerados para garantir o dimensionamento adequado e eficiente do sistema, assegurando sua funcionalidade e sustentabilidade em diferentes contextos.

A norma estabelece que o dimensionamento do tanque de evapotranspiração deve ser feito considerando a taxa de evapotranspiração da vegetação utilizada, a qual deve possuir um elevado potencial de evaporação, com uma média anual superior a 1.500 mm. Além disso, é essencial levar em conta a pluviosidade do local

de instalação para garantir que o efluente seja totalmente evapotranspirado, assegurando a eficiência do sistema em diferentes condições climáticas.

No entanto, em algumas regiões, pode ser desafiador ou até complicado encontrar parâmetros ideais, como a taxa de evapotranspiração das plantas adequadas para o sistema. Isso se deve a fatores climáticos, ambientais ou até à disponibilidade limitada de espécies vegetais que atendam às exigências técnicas. Nessas situações, o dimensionamento do tanque de evapotranspiração pode ser realizado de forma alternativa, tomando como base o número de contribuintes e a contribuição da bacia sanitária. Esse procedimento se mostra adequado para garantir o funcionamento eficiente do sistema, desde que sejam seguidos os seguintes critérios estabelecidos pela ABNT NBR 17076/2024:

- a) Profundidade entre 1,00 m e 1,50 m e largura de 1,00m a 2,00m;
- b) Para área superficial utilizar no mínimo 2,00 m² por pessoa contribuinte;
- c) O comprimento máximo de cada tanque de evapotranspiração não deve ultrapassar 10 m;
- d) Convém que o plano de fundo da unidade tenha inclinação mínima de 1% da direção da saída.

Ao comparar o dimensionamento empírico do tanque de evapotranspiração com o método normatizado pela ABNT NBR 17076/2024, é possível identificar importantes semelhanças e diferenças. Ambos os métodos convergem ao estabelecer que uma área mínima de 2 m² por pessoa é adequada para garantir a eficiência do sistema, conforme sugerido por Pamplona e Venturi (2004) e também especificado na norma. Esse valor reflete um consenso entre os autores e a regulamentação sobre a quantidade de superfície necessária para assegurar a evapotranspiração adequada das águas negras. Além disso, tanto os métodos empíricos quanto o normatizado consideram elementos climáticos, como a taxa de evapotranspiração e a pluviosidade, fundamentais para o funcionamento do sistema.

Entretanto, existem distinções importantes. Enquanto o dimensionamento empírico, como proposto por Pamplona e Venturi (2004) e Galbiati (2009), se baseia em estudos práticos e adaptações locais, a ABNT NBR 17076/2024 padroniza

critérios, trazendo diretrizes claras e específicas, como profundidade e largura mínima e máxima do tanque. Machado *et al.* (2020) também complementam essa discussão ao destacar a necessidade de uma vala de infiltração para a disposição final dos efluentes extravasados, o que também é abordado pela norma, onde solicita-se uma tubulação no final do sistema, para assegurar a destinação de possível saturação.

Em síntese, embora o método empírico ofereça flexibilidade, permitindo adaptações regionais e soluções baseadas em tentativa e erro, o normatizado pela ABNT NBR 17076/2024 busca padronizar essas práticas, garantindo uma maior segurança e previsibilidade no desempenho do sistema.

Neste estudo, foi utilizado o método normatizado pela ABNT NBR 17076/2024 para o dimensionamento do sistema de tanque de evapotranspiração, considerando especificamente as casas desenvolvidas pela Agência Goiana de Habitação (AGEHAB). Essas residências, que possuem dois quartos e foram projetadas para acomodar quatro pessoas, terão sua área superficial calculada com base na recomendação de 2 m² por pessoa, conforme estipulado pela norma. Além disso, todas as diretrizes e parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 17076/2024 foram seguidos rigorosamente para assegurar a conformidade e eficiência do sistema.

3.4 Dimensionamento sumidouro

Para fins de comparação orçamentária, se faz necessário também o dimensionamento do sumidouro, que se dará utilizando a ABNT NBR 17076/2024, que regulamenta o projeto de sistemas de tratamento de esgoto de menor porte e substitui a antiga ABNT NBR 13969/1997. É importante observar que as construções das casas desenvolvidas pela AGEHAB no distrito de Domiciano Ribeiro, no município de Ipameri-GO, foram iniciadas antes da publicação da nova norma. No entanto, para assegurar a conformidade com as diretrizes mais recentes, o dimensionamento do sumidouro foi conduzido com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 17076/2024. Este procedimento garantiu que a comparação entre o sistema de sumidouro e o tanque de evapotranspiração seja mais precisa e atualizada, uma vez que o dimensionamento do tanque também será baseado na norma mais recente.

Dessa forma, a avaliação orçamentária foi mais fiel à realidade, considerando o mesmo parâmetro para ambos os sistemas estudados.

O dimensionamento do sumidouro envolve a determinação da área necessária para a infiltração do solo, levando em conta tanto a área do fundo quanto a das paredes laterais do sistema. Segundo a ABNT NBR 17076/2024, é fundamental considerar os testes de percolação do solo, conforme especificado no ANEXO N da norma, cujos resultados são expressos em min/m. Esses resultados foram utilizados para calcular a taxa máxima de aplicação, expressa em m³.m².d. Para calcular a área necessária para a absorção do líquido no solo, utiliza-se a Equação 5 a seguir:

$$A = \frac{Q_{projeto}}{T_{x.inf}} \quad (5)$$

Onde:

A é a área para absorção do líquido, expressa em metros quadrados (m²)

$Q_{projeto}$ é a vazão de dimensionamento

$T_{x.inf}$ é a taxa de infiltração conforme ensaio de percolação, expressa em metros cúbicos/metros/metros quadrados/dia (m³.m².d)

O primeiro passo para calcular a área necessária para a absorção do líquido foi a determinação da vazão de dimensionamento ($Q_{projeto}$). De acordo com a ABNT NBR 17076/2024, se fez necessário adotar a contribuição unitária em litros por pessoa por dia ou em litros por unidade por dia, conforme fornecido pela prestadora de serviços de saneamento ou pelo contratante. Alternativamente, a norma permite que a contribuição unitária seja obtida por meio de dados de campo, considerando 80% do consumo médio histórico de água. Esse cálculo deve incluir também a água que infiltra na rede de interligação, no caso de um sistema coletivo de abastecimento. Dessa forma, foi possível determinar a vazão com precisão, assegurando o dimensionamento adequado da área de absorção do líquido.

Em 10 de setembro de 2024, durante a 39ª sessão ordinária da 4ª sessão legislativa da 19ª legislatura do município de Ipameri-GO, foi aprovado o Projeto de Lei Nº 101/2024, de 05 de setembro de 2024, que revisa o Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipameri. Esse plano abrange os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de drenagem de águas pluviais.

No âmbito da Lei Nº 101/2024, foi realizado um estudo detalhado sobre o abastecimento de água no distrito de Domiciano Ribeiro, que permitiu determinar a vazão dos poços de abastecimento e calcular o consumo *per capita*, considerando as perdas ao longo das tubulações. De acordo com o levantamento, o sistema de abastecimento conta com 1.382 ligações hidrometradas para atender a população local. No entanto, conforme informações da subprefeitura, durante as épocas de plantio e colheita, a população flutuante do distrito pode ultrapassar os 5.000 usuários, o que acarreta uma perda hídrica acima da média local em comparação com outros distritos. A Tabela 7 apresenta os dados obtidos na revisão do Plano de Saneamento Básico de 2024 do distrito de Domiciano Ribeiro.

Tabela 7 - Consumo *per capita* de Domiciano Ribeiro

Descrição	Quantitativo
Vazão dos poços	55,00 m³/h
Operação do sistema	13 h/dia
Produção diária	715,00 m³/dia
População – Domiciano Ribeiro	3.767 Habitantes
Consumo <i>Per capita</i> com perdas	189,90 L/habitante/dia

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipameri, 2024.

Com os dados de consumo apresentados na Tabela 7, tornou-se possível calcular a vazão total por domicílio. Para isso, foi necessário utilizar o consumo *per capita* com perdas, extraído da tabela, e a quantidade total de moradores da residência. A partir dessas informações, foi possível dimensionar a vazão de forma precisa.

A equação proposta para realizar esse cálculo é apresentada a seguir, conforme mostrado na Equação 6:

$$Q_{projeto} = C_{per\ capita} \times N_{habitantes} \quad (6)$$

Onde

$C_{per\ capita}$ = é o consumo *per capita* com perdas, conforme Tabela 7

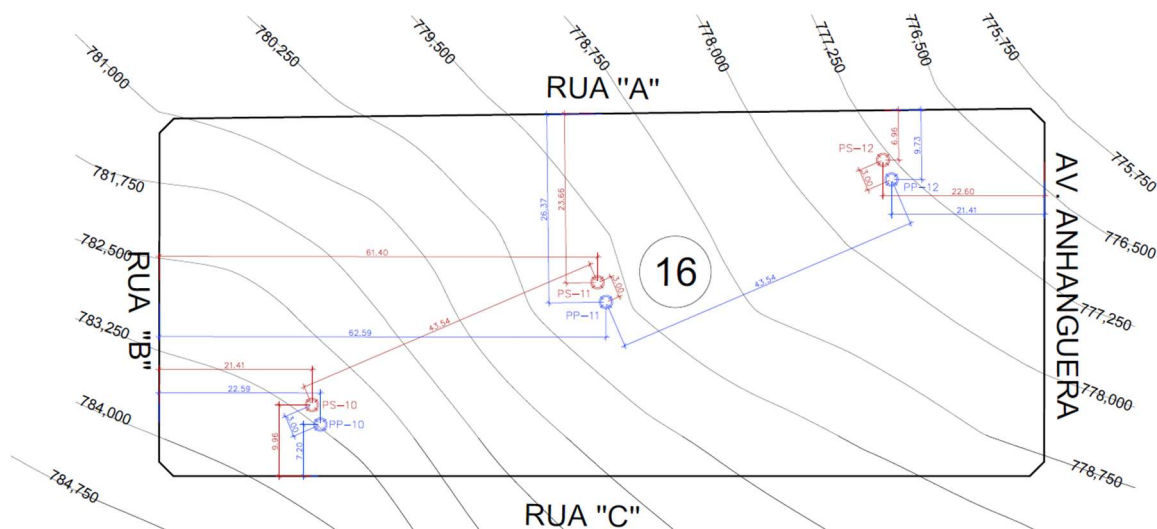
$N_{habitantes}$ = é o número total de habitantes da residência. Considerado 4 habitantes para as residências da AGEHAB.

Assim, foi possível chegar à vazão de 759,60 L/habitante/dia, ou 0,759 m³/habitante/dia. Como esses dados obtidos não possuem a informação sobre o consumo médio histórico de água, não foi considerado 80% da vazão encontrada, e sim 100%.

O próximo passo para o dimensionamento do sumidouro consistiu na determinação da taxa de infiltração do solo ($T_{x.inf}$), obtida por meio de ensaios de sondagem e testes de percolação. Para este estudo, foram utilizados os dados do relatório técnico de teste de percolação realizado no distrito de Domiciano Ribeiro, fornecido por uma empresa especializada. Esse relatório integra o acervo da documentação inicial da obra, sendo uma das exigências técnicas iniciais estabelecidas pela AGEHAB, esse acervo, constituído de vários outros documentos técnicos de diversas disciplinas torna-se imprescindível para a aprovação e execução de qualquer construção no estado de Goiás através da AGEHAB, garantindo assim que as condições de solo atendam aos requisitos normativos.

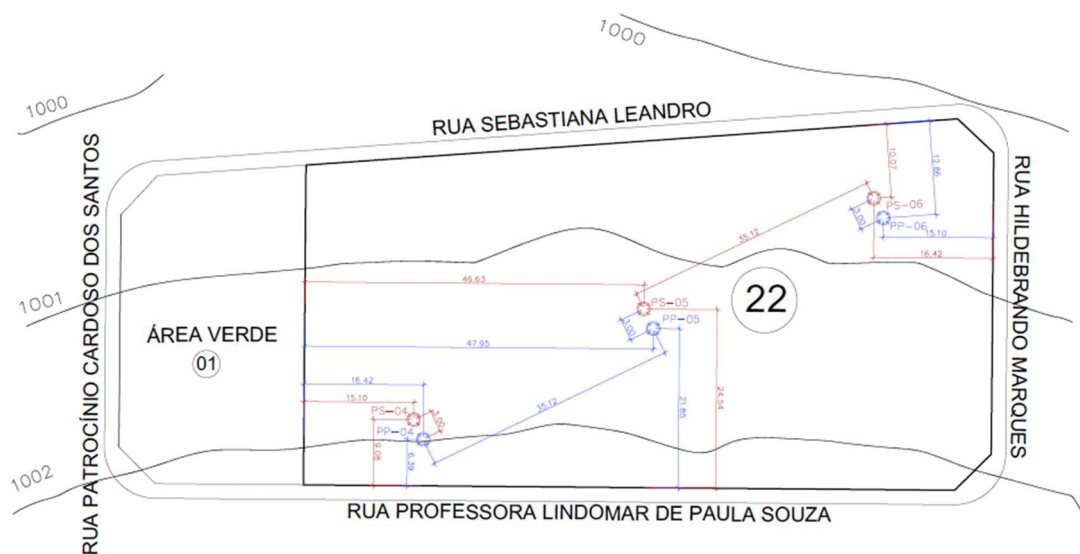
Para o dimensionamento da taxa de infiltração do solo, foram realizadas três leituras em três pontos distintos na Quadra 16 e o mesmo procedimento foi adotado para a Quadra 22, esses pontos foram escolhidos de forma estratégica para abranger o máximo de área possível conforme Figura 17 e 18 a seguir.

Figura 17 - Pontos de percolação Quadra 16



Fonte: AGEHAB, 2021.

Figura 18 - Pontos de percolação Quadra 22



Fonte: AGEHAB, 2021.

Em conformidade com a norma vigente à época do ensaio, foi definido um período de 30 minutos para a infiltração da água em cada ponto. Esses dados foram então registrados e analisados para determinar a taxa de infiltração do solo para

ambas as quadras. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a Quadra 16, enquanto a Tabela 9 detalha os resultados para a Quadra 22.

Tabela 8 - Valores do ensaio de percolação para Quadra 16

Leituras	Data	Média da Cota de abaixamento da água – Lâmina D'água infiltrada (m)	Média do tempo de infiltração total da água (minutos)	Média de percolação (min/m)
1º Ponto	11/09/2021	0,145	30	207,4567
2º Ponto	11/09/2021	0,134	29,93	224,0167
3º Ponto	11/09/2021	0,139	30	215,9467
Média	-	0,139	29,98	215,807
Desvio Padrão	-	0,006	0,04	8,281

Fonte: O autor.

Tabela 9 - Valores do ensaio de percolação para Quadra 22

Leituras	Data	Média da Cota de abaixamento da água – Lâmina D'água infiltrada (m)	Média do tempo de infiltração total da água (minutos)	Média de percolação (min/m)
1º Ponto	12/09/2021	0,136	30	220,75
2º Ponto	12/09/2021	0,126	29,93	238,68
3º Ponto	12/09/2021	0,133	30	225,69
Média	-	0,132	29,98	228,37
Desvio Padrão	-	0,005	0,04	9,26

Fonte: O autor.

Com isso é possível verificar que para a quadra 16 obteve-se uma média de 215,81 min/m de percolação, enquanto a quadra 22 teve uma média de 228,37 min/m de percolação. Por se tratar de amostras calculou-se também o desvio padrão destas, podendo ver que não teve distorção significativa dos dados, mostrando assim a precisão dos resultados obtidos.

A data de realização do teste de percolação, 11 de setembro de 2021, deve ser considerada na análise dos resultados, pois as condições climáticas influenciam diretamente a infiltração do solo. De acordo com o Projeto de Lei nº 101/2024, de 05 de setembro de 2024, que revisa o Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipameri, a estação quente no município ocorre entre 28 de agosto e 24 de outubro, período em

que as temperaturas são mais elevadas. O mesmo documento aponta que o dia 11 de setembro é, em média, o mais quente do ano, com temperatura máxima de 32 °C e mínima de 19 °C (Ipameri, 2024).

Considerando que o teste foi realizado durante essa estação quente e seca, é possível inferir que os valores obtidos refletem um solo com menor saturação hídrica, o que pode resultar em uma taxa de percolação maior. Em contrapartida, em períodos chuvosos, a umidade do solo tende a aumentar, reduzindo sua capacidade de absorção de água e alterando a taxa de infiltração. Portanto, a interpretação dos resultados deve levar em conta essa variação sazonal, garantindo que o dimensionamento do sumidouro contemple possíveis oscilações no comportamento do solo ao longo do ano.

Com os valores tabelados, é necessário converter a taxa de percolação em taxa de aplicação. A Tabela 10, um extrato do Anexo N da ABNT NBR 17076/2024, fornece essa conversão por intervalos de taxa de percolação. Através de interpolação, é possível determinar o valor exato da taxa de aplicação, que é o último dado necessário para o dimensionamento preciso do sumidouro.

Tabela 10 - Conversão dos valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial

Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m³/m².d)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m³/m².d)
40 ou menos	0,20	400	0,065
80	0,14	600	0,053
120	1,12	1200	0,037
160	0,10	1400	0,032
200	0,09	2400	0,024

Fonte: ABNT NBR 17076/2024, ADAPTADO.

Para determinar a taxa máxima de aplicação diária, é necessário realizar a interpolação dos valores para obter o valor exato. Este processo de interpolação será

realizado com o auxílio do software Excel. Os resultados obtidos por meio dessa interpolação estão detalhados na Tabela 11.

Tabela 11 - Interpolação dos valores conforme ABNT NBR 17076/2024

Referência	Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m³/m².d)
ABNT NBR 17076/2024	200	0,09
Ensaio percolação (Quadra 16)	220,75	0,087
Ensaio percolação (Quadra 22)	228,37	0,086
ABNT NBR 17076/2024	400	0,065

Fonte: O autor.

Como os valores da taxa máxima de aplicação diária apresentaram resultados bastante próximos, será adotado o menor valor como referência para o dimensionamento. Com todos os valores determinados, utilizaremos a Equação 5 para calcular a área necessária para a infiltração do efluente líquido no solo. O cálculo resultou em uma necessidade de 8,83 m² de área para infiltração.

Para concluir o dimensionamento, foi determinada a altura do sumidouro. Para tal, se considerado um sumidouro de forma cilíndrica com diâmetro de 1,20m. Para o cálculo da altura útil do sumidouro utilizaremos a Equação 7 a seguir:

$$h = \frac{A - \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right)}{(2 \times \pi \times r)} \quad (7)$$

Onde

h é altura útil para o sumidouro

A é área para absorção do líquido, expressa em metros quadrados (m²)

d é diâmetro do sumidouro em metros (m)

r é raio do sumidouro em metros (m)

Com todos os dados disponíveis, determinou-se a altura útil do sumidouro em 2,04 metros. A altura útil é medida da base inferior do tubo de alimentação até o fundo do sumidouro. Além disso, é fundamental observar a necessidade de alternância no uso do sistema, conforme estipulado pela ABNT NBR 17076/2024, que estabelece que o número mínimo de sumidouros deve ser dois, com cada um atendendo a 100% da capacidade total necessária. Dessa forma, serão necessários dois sumidouros, cada um com uma altura útil mínima de 2,04 metros.

4 RESULTADOS

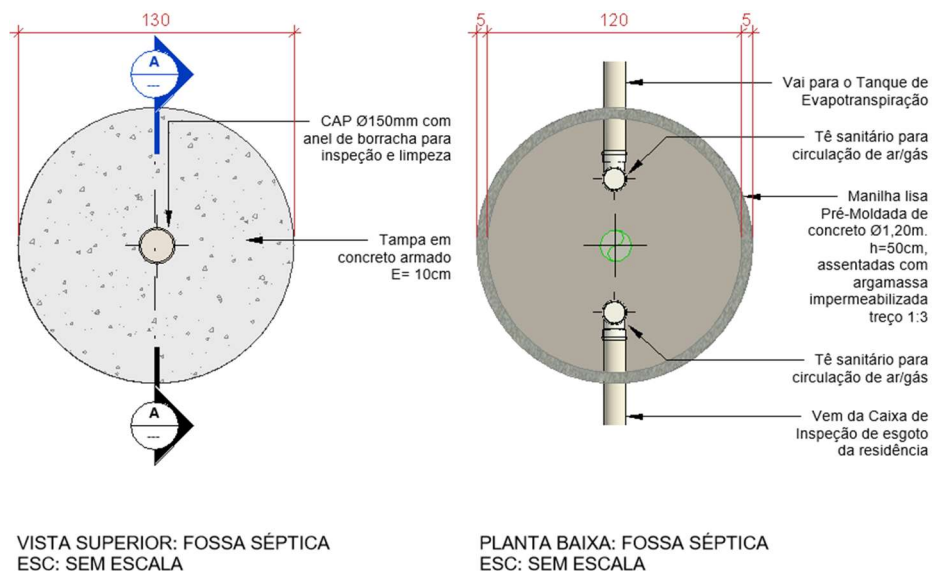
Neste tópico, serão apresentados os resultados desta pesquisa, abordando desde o resultado dos projetos de cada sistema, até a orçamentação e comparação de valores entre o sistema tanque de evapotranspiração *versus* sumidouro.

4.1 Projeto fossa séptica

O projeto da fossa séptica foi elaborado conforme o dimensionamento descrito no tópico 3.2, com uma altura útil de 1,50 metros e diâmetro de 1,20 metros. O desenvolvimento do projeto foi realizado no software Autodesk Revit 2024, utilizando famílias *BIM* de tubos e conexões fornecidas por empresas de referência no Brasil, que oferecem modelagens parametrizadas, facilitando a extração de dados para o orçamento. Itens mais específicos como as manilhas pré-moldadas de concreto, tampa superior e laje de fundo da fossa e outros materiais foram modeladas diretamente no projeto, utilizando também modelagem paramétrica

Optou-se pelo sistema construtivo em manilhas pré-moldadas de concreto com espessura de 5 cm devido à sua disponibilidade e facilidade de aquisição, mesmo em áreas rurais do estado, além da opção de moldagem *in loco*, se necessário. Este material é amplamente utilizado por sua durabilidade e adaptabilidade, estando em plena conformidade com as diretrizes estabelecidas no Anexo A da ABNT NBR 17076/2024, que orienta sobre os requisitos para a construção de fossas sépticas. A planta baixa do sistema proposto pode ser visualizada na Figura 19.

Figura 19 - Vista superior e planta baixa: Fossa séptica proposta

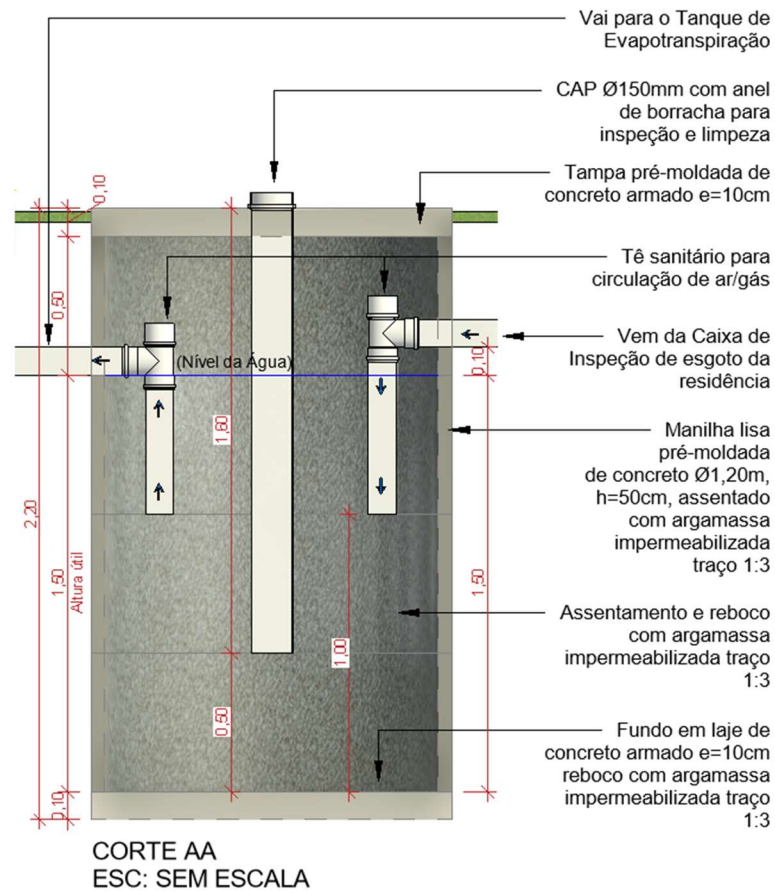


Fonte: O autor.

Para garantir a segurança e a integridade estrutural do sistema, a tampa superior e a laje de fundo da fossa séptica serão confeccionadas em concreto armado, proporcionando resistência adicional e proteção ao sistema. A escolha do concreto armado para essas partes é fundamentada na necessidade de suportar cargas e resistir a impactos, além de contribuir para a vedação adequada da fossa, e considerando que a implantação se dará em residências unifamiliares existe a possibilidade das tampas terem que suportar o peso de um carro por exemplo, com isso, prezando pela segurança optou-se pela confecção em concreto armado. O projeto de dimensionamento das tampas e do fundo do sumidouro foi realizado com o auxílio do software Eberick da empresa AltoQi, esse software é especializado na análise e detalhamento de estruturas de concreto armado, e é hoje um dos softwares de cálculo estrutural mais utilizado do Brasil, isso se dá pela capacidade que o software tem de calcular desde sistema simples até os mais complexos, quando se trata de cálculo estrutural, além de integralizar o *BIM*, gerando arquivos de compatibilização e extração automática de quantitativos.

A Figura 20 ilustra o corte esquemático da fossa séptica, detalhando sua configuração e auxiliando na compreensão das especificações do projeto.

Figura 20 – Corte esquemático AA: Fossa séptica proposta



Fonte: O autor.

O projeto proposto para a fossa séptica cumpre todos os requisitos das normas vigentes, conforme a ABNT NBR 17076/2024. Atende a critérios essenciais, como o volume mínimo necessário para uma residência com quatro moradores e a altura útil mínima, que se enquadra dentro do limite máximo permitido de 2,00 metros. O projeto também garante a estanquidade do sistema, utilizando argamassa impermeabilizada tanto no assentamento quanto no reboco interno. As tubulações seguem as especificações normativas, com diâmetro mínimo de Ø150 mm para o tubo de limpeza e Ø100 mm para os tubos de entrada e saída. O tubo de saída está posicionado 10 cm abaixo da base inferior do tubo de entrada, e ambas as tubulações utilizam um tê sanitário, garantindo a circulação de ar e gases. O comprimento do tubo de limpeza, assim como os tubos de entrada e saída dentro do tanque, também seguem rigorosamente as orientações da ABNT NBR 17076/2024.

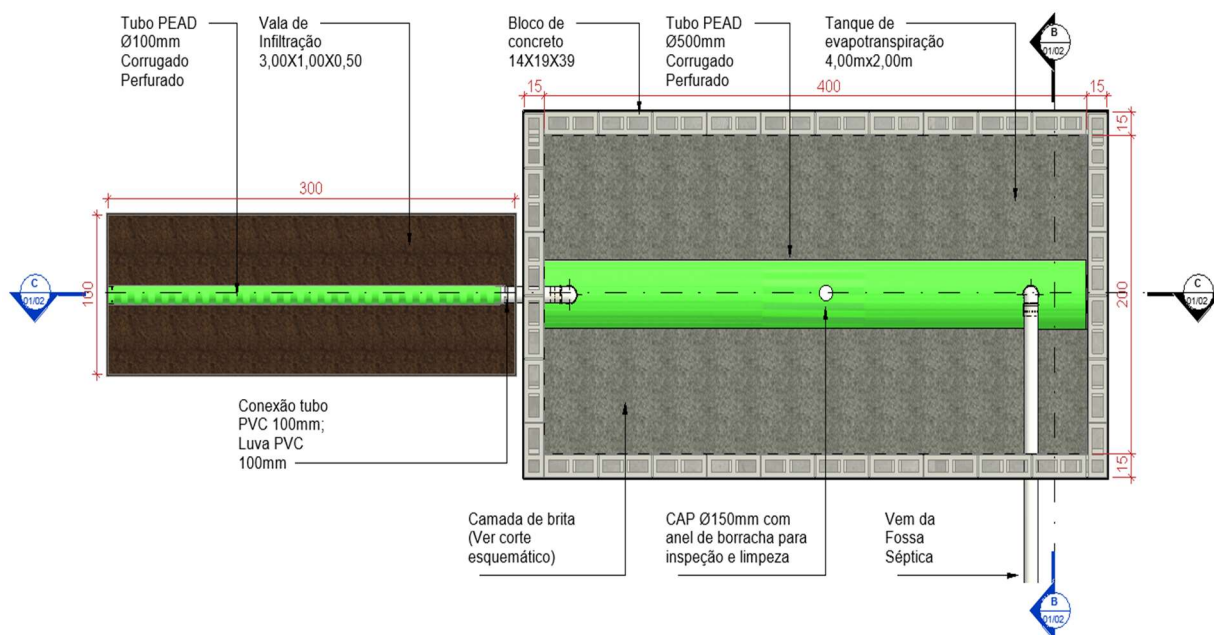
4.2 Projeto tanque de evapotranspiração

Para o desenvolvimento do projeto do tanque de evapotranspiração, foi utilizado o software Autodesk Revit 2024, observado na Figura 21 onde toda a modelagem foi realizada de forma paramétrica, permitindo a extração precisa dos dados para orçamento. O dimensionamento do tanque seguiu as diretrizes apresentadas no item 3.3 deste trabalho, em conformidade com o Anexo M da ABNT NBR 17076/2024, que exige, no mínimo, 2 m² por pessoa. Com base nessa exigência, para uma família de quatro pessoas, foram adotadas as dimensões de 2 metros de largura por 4 metros de comprimento, totalizando 8 m², em conformidade com a norma. O tanque tem uma profundidade de 1,75 metros e uma elevação de 45 centímetros acima do solo, somando uma altura total de 2,20 metros, garantindo a proteção contra extravasamento devido à água da chuva.

O sistema construtivo selecionado para o tanque de evapotranspiração utiliza blocos de concreto com dimensões de 14x19x39 cm. Esta escolha foi feita devido à facilidade de aquisição desse material, mesmo em áreas rurais do interior do estado. O projeto foi planejado com foco na eficiência e na minimização de desperdícios. A disposição dos blocos foi paginada de forma a utilizar apenas peças inteiras e, quando necessário, meias peças nos cantos do tanque, ambas já disponíveis prontas de fábrica. Esta abordagem reduz a quantidade de resíduos gerados durante a obra, evitando o desperdício associado a quebras desnecessárias dos blocos.

Como medida de segurança para situações imprevistas de saturação do sistema, mesmo que pouco prováveis, foi projetada uma vala de infiltração. Esta vala possui dimensões de 3 metros de comprimento, 1 metro de largura e 50 centímetros de profundidade. A vala de infiltração foi posicionada no final do tanque de evapotranspiração, e possui exclusivamente a função de drenar a água excedente do sistema, caso necessário. A Figura 21 ilustra a planta baixa proposta para o tanque de evapotranspiração.

Figura 21 - Planta baixa: Tanque de evapotranspiração

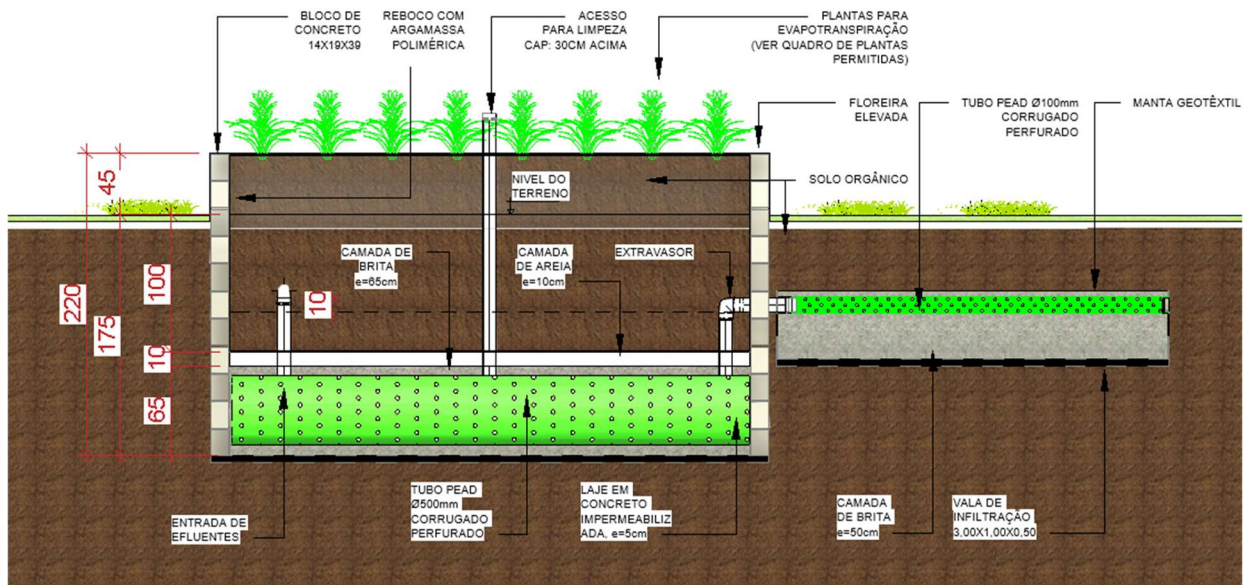


Fonte: O autor.

No projeto do tanque de evapotranspiração, as camadas e materiais adotados seguem as diretrizes da ABNT NBR 17076/2024, assegurando resistência aos esforços atuantes, às atividades biológicas e químicas do leito, e promovendo a aderência necessária para a formação do biofilme biológico. O tubo PEAD corrugado e perfurado, com diâmetro de 500 mm, foi escolhido por sua fácil aquisição, atendendo ao diâmetro mínimo recomendado pela norma. No fundo do tanque, foi aplicada uma camada de brita de 65 cm, seguida por uma camada de 10 cm de areia, e o restante do espaço foi preenchido com o solo orgânico retirado da escavação, conforme as orientações normativas. Para a vala de infiltração, foi utilizada uma camada de brita de 50 cm ao redor de um tubo PEAD corrugado e perfurado de 100 mm, garantindo a separação entre a brita e o solo com o uso de manta geotêxtil, de modo a preservar a eficiência do sistema.

A Figura 22 esquematiza as camadas e os materiais constituintes da proposta, através do corte BB do projeto.

Figura 22 - Corte BB: Tanque de evapotranspiração



CORTE BB
SEM ESCALA

Fonte: O autor.

Assim, com essas diretrizes, é possível garantir a eficiência do sistema, atendendo integralmente às exigências da ABNT NBR 17076/2024 e resultando em um projeto exequível, utilizando materiais de fácil acesso. O último passo para a conclusão do projeto do tanque de evapotranspiração consiste na escolha criteriosa das plantas a serem adotadas, tema que será abordado no próximo tópico.

4.2.1 Projeto de paisagismo para o tanque de evapotranspiração

Neste tópico será abordado a especificação e o quantitativo das espécies vegetais a ser plantadas no sistema proposto. A ABNT NBR 17076/2024 recomenda o uso de plantas com alto potencial de evapotranspiração para a composição de sistemas de evapotranspiração, visando garantir uma evaporação eficiente da água no sistema. De acordo com a norma, as plantas selecionadas devem apresentar uma média anual de evapotranspiração de cerca de 1500 mm, assegurando o adequado desempenho do sistema. No entanto, a determinação precisa da taxa de evapotranspiração de cada espécie vegetal requer equipamentos especializados, como lisímetros, estações meteorológicas automatizadas e sensores de umidade do

solo, que são utilizados para mensurar variáveis como radiação solar, temperatura, umidade e precipitação e consequentemente a evapotranspiração.

Devido à dificuldade em obter esses equipamentos e à necessidade de testes prolongados para determinar com precisão as taxas de evapotranspiração de diferentes plantas, este estudo opta por utilizar plantas sugeridas por autores empíricos que já realizaram tais estudos. Pamplona e Venturi (2004), bem como a Emater/FBB (2016), apresentam sugestões baseadas em observações práticas e experimentais, que demonstram bons resultados em sistemas de evapotranspiração. Entre as plantas recomendadas por esses autores estão espécies reconhecidas por sua alta capacidade de transpiração e crescimento rápido, adequadas para esse tipo de sistema.

Com isso, baseado em tais autores especificação e o quantitativo das espécies que serão usadas para esse projeto, pode ser consultada na Tabela 12.

Tabela 12 - Especificação e quantitativo de espécies de plantas a serem utilizadas no projeto de tanque de evapotranspiração

Nome científico	Nome popular	Quantitativo
<i>zantedeschia aethiopica</i>	Copo-de-Leite	32 Unidades
<i>impatiens walleriana</i>	Maria sem vergonha	32 Unidades
<i>hedychium coronarium</i>	Lírio do brejo	32 Unidades
<i>heliconia</i>	Heliconias	32 Unidades
<i>xanthosoma sagittifolium</i>	Taiobas	32 Unidades

Fonte: O autor.

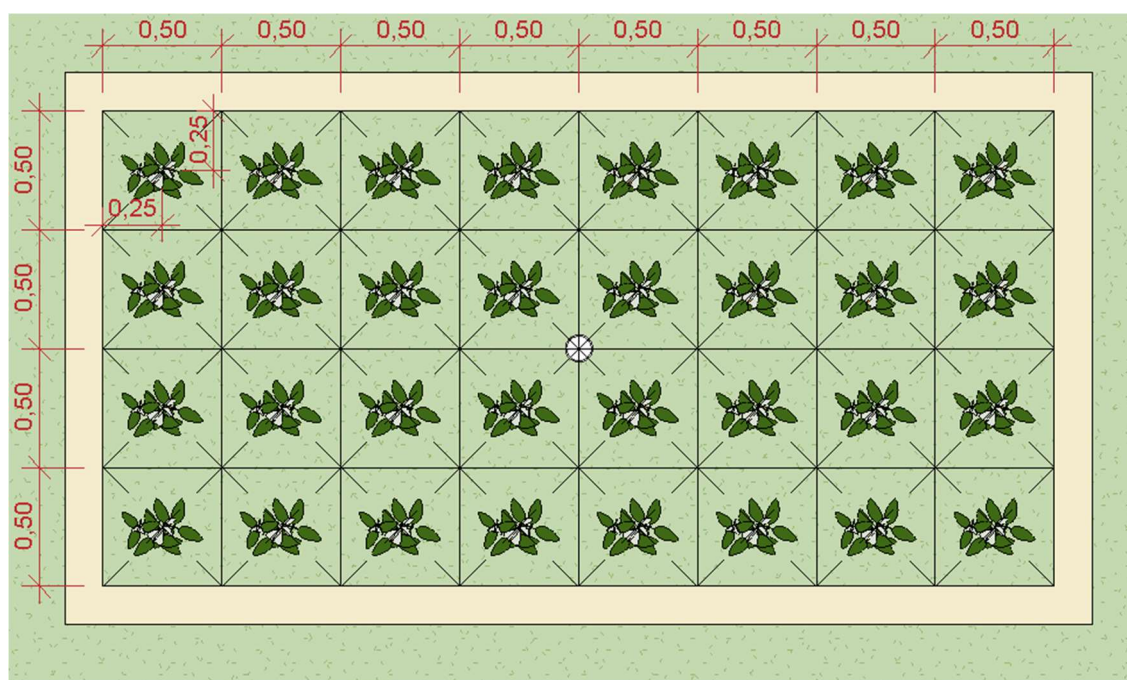
As plantas selecionadas foram escolhidas pela facilidade de aquisição e pela flexibilidade que oferecem no momento da compra. Foram apresentadas cinco opções para garantir que, mesmo que uma determinada espécie não esteja disponível no município, qualquer uma das outras possa ser utilizada sem comprometer a eficiência do sistema.

A manutenção do tanque de evapotranspiração é relativamente simples. Pamplona e Venturi (2004) destacam que, por ser um sistema vivo, é fundamental acompanhar o desenvolvimento das plantas, realizando podas regulares e removendo

espécies mortas para garantir o bom funcionamento do sistema. A manutenção no sistema também é vista por bons olhos de forma social, por integralizar o morador com o meio ambiente trazendo assim um melhor bem-estar para todos os residentes da habitação.

Para otimizar a execução do plantio, foi elaborado um projeto de paginação, detalhando a disposição correta de cada espécie no sistema, o projeto elaborado é genérico, e foi pensado para poder ser aplicado no plantio de qualquer uma das espécies escolhidas, visando assim otimizar tempo e diminuir desperdícios. A planta de paisagismo pode ser visualizada na Figura 23 a seguir:

Figura 23 - Planta de paisagismo das espécies



PLANTA DE PAISAGISMO
ESC: SEM ESCALA

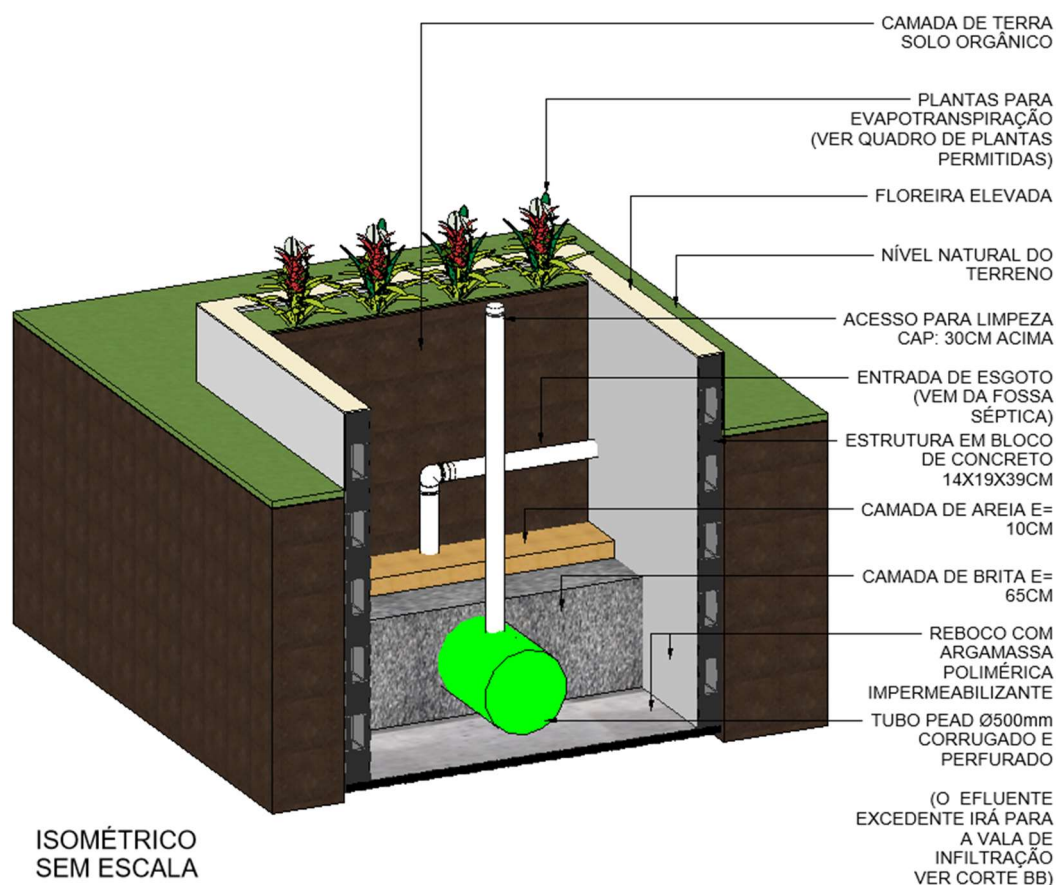
Fonte: O autor.

Dessa forma, o projeto de paisagismo foi cuidadosamente elaborado para facilitar a execução do tanque de evapotranspiração e garantir a eficiência do sistema, sempre em conformidade com a ABNT NBR 17076/2024. A seleção das espécies vegetais, fundamentada nos estudos de autores previamente mencionados, aliada ao layout proposto, busca assegurar tanto sua funcionalidade quanto a harmonia estética

do resultado final. Assim, o projeto proporciona uma solução eficiente e visualmente integrada ao ambiente.

A Figura 24 apresenta um isométrico detalhado do projeto do tanque de evapotranspiração, destacando todos os elementos essenciais para a execução do sistema. O modelo ilustra com precisão a disposição das camadas filtrantes, as paredes estruturais em blocos de concreto assim como as plantas para o processo de evapotranspiração. Esse detalhamento visual facilita a compreensão do funcionamento e da montagem do sistema proposto para esse projeto, além de evidenciar os principais componentes que garantem sua eficiência e sustentabilidade.

Figura 24 - Isométrico Tanque de Evapotranspiração proposto



Fonte: O autor.

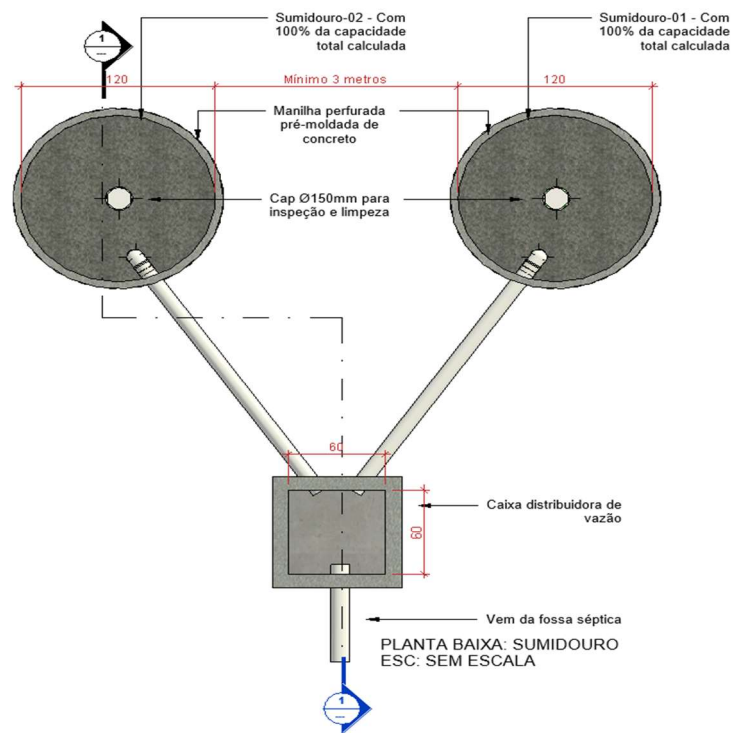
4.3 Projeto do sumidouro

Conforme mencionado anteriormente, o sumidouro não será executado, pois, devido ao lençol freático baixo na área de estudo, a proposta é utilizar o tanque de evapotranspiração. No entanto, para fins de comparação do custo final entre os sistemas por sumidouro e por tanque de evapotranspiração, será necessário elaborar o projeto do sumidouro. A elaboração do projeto será desenvolvida no software Autodesk Revit 2024, utilizando famílias paramétricas já existentes, disponibilizadas por empresas do segmento de saneamento. Para as famílias que não forem encontradas, serão modeladas no local, também de forma paramétrica. Esse processo permitirá a extração automática de quantitativos e a orçamentação do sistema, alinhando-se aos objetivos desta pesquisa, que incluem a utilização de ferramentas *BIM* tanto na elaboração de projetos quanto na estimativa de custos.

Para o sumidouro, também foi elaborado o projeto das tampas superiores em concreto armado, priorizando a segurança e garantindo uma maior capacidade de suportar grandes cargas. A escolha pelo concreto armado se deve à sua resistência e durabilidade em condições adversas. O software *BIM* utilizado para o dimensionamento das tampas foi o Eberick, da empresa AltoQI, o mesmo aplicado no projeto da fossa séptica. Este software permite, ao final do projeto, a extração automática dos quantitativos necessários para uma orçamentação completa e precisa.

A Figura 25 apresenta o projeto proposto para o sumidouro, detalhando os requisitos normativos da ABNT NBR 17076/2024. O projeto considera aspectos essenciais exigidos pela norma como o espaçamento adequado entre sumidouros de no mínimo 3,00 metros entre eles e as camadas necessárias. Além disso os materiais utilizados também satisfazem aos requeridos da ABNT NBR 17076/2024, garantindo conformidade com os critérios mínimos estabelecidos pela norma.

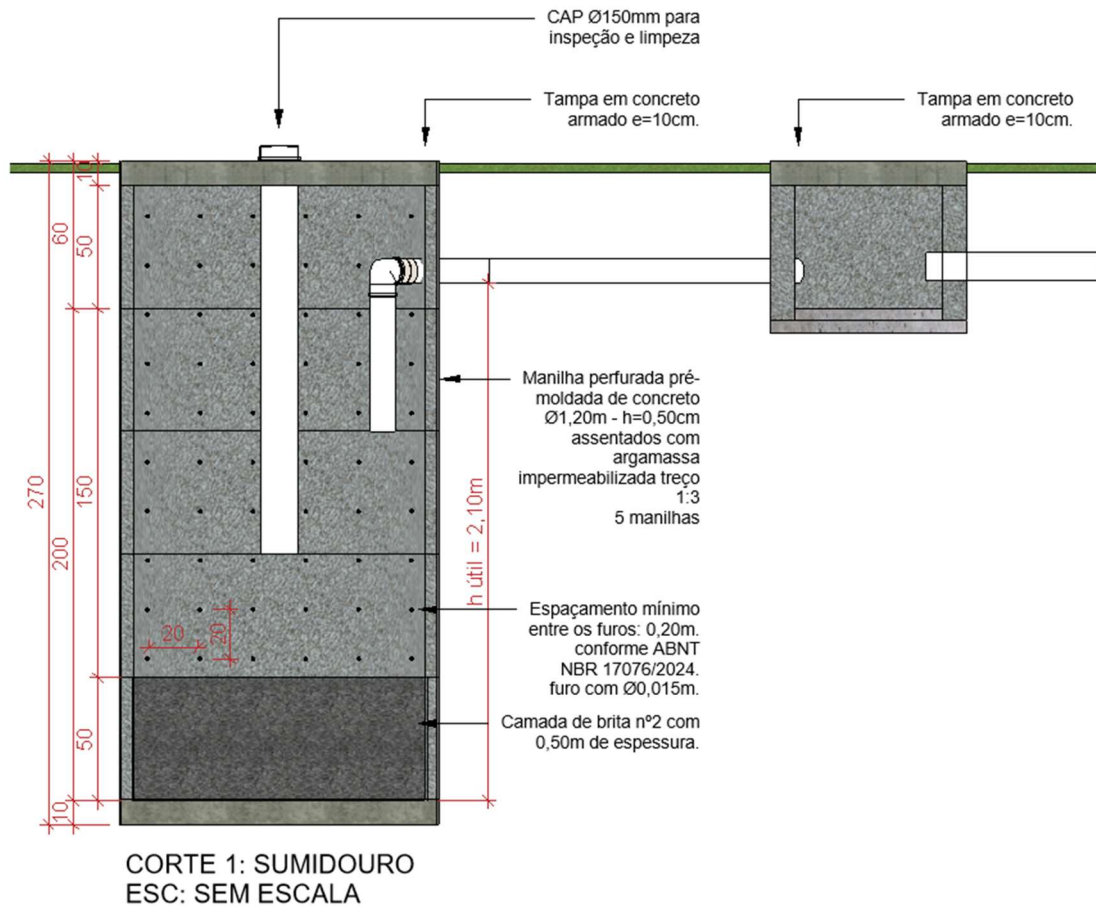
Figura 25 - Projeto: Sumidouro



Fonte: O autor.

Para facilitar o entendimento, a Figura 26 apresenta o corte 1 do projeto do sumidouro, contendo as informações necessárias para o orçamento e a execução do sistema, caso seja requerido. O sistema construtivo escolhido utiliza manilhas pré-moldadas de concreto perfuradas, destacando-se pela facilidade de aquisição desse material, além da possibilidade de moldá-las no local, se necessário. Vale ressaltar que, enquanto a ABNT NBR 13969/1997 não exigia a utilização de dois sumidouros para o uso alternado do sistema, essa inovação foi incorporada na nova ABNT NBR 17076/2024, justificando assim o uso de dois sumidouros para esse projeto.

Figura 26 - Corte 1: Sumidouro



Fonte: O autor.

Assim, o projeto de sumidouro proposto se destaca pelas inovações introduzidas pela ABNT NBR 17076/2024, aliadas à utilização de ferramentas *BIM* para sua modelagem e orçamentação. O próximo passo deste trabalho será a extração dos quantitativos e a elaboração do orçamento do sistema, visando uma futura comparação com o tanque de evapotranspiração, de modo a avaliar a viabilidade técnica e econômica de ambos os métodos.

4.4 Orçamento

Para a elaboração do orçamento dos projetos desenvolvidos, será utilizada a ferramenta Revit, que possibilita a extração automática dos quantitativos dos elementos modelados. Essa metodologia permite maior precisão e agilidade na obtenção dos insumos necessários para a execução da proposta. No entanto, para

itens que não podem ser diretamente quantificados no software, como a mão de obra, será realizada uma estimativa baseada em projetos anteriores desenvolvidos pela AGEHAB, garantindo coerência e realismo na composição dos custos.

Após a extração dos quantitativos, os dados serão organizados em planilhas no Excel e submetidos à orçamentação utilizando como referência a tabela base da GOINFRA. Para insumos ou serviços não contemplados nessa base de preços, serão utilizados valores do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Caso algum item não seja encontrado em nenhuma dessas tabelas, será realizada uma cotação de mercado para garantir um levantamento de custos o mais fiel possível à realidade da execução.

4.4.1 Fossa séptica

O primeiro item a ser orçado foi a fossa séptica, componente essencial do tratamento primário de esgoto, utilizada tanto na alternativa com tanque de evapotranspiração quanto na alternativa com sumidouro. A quantificação dos materiais e insumos foi realizada por meio do Revit, permitindo a extração precisa dos quantitativos necessários para a elaboração do orçamento detalhado.

Tabela 13 - Orçamento Fossa Séptica

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEHAB	TANQUE SÉPTICO CIRCULAR, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,20M, ALTURA INTERNA = 2,50 M (ADAPTADO PROJETO PADRÃO AGEHAB) REF.: 98052/SINAPI	un	1,0000			R\$ 1.917,12	R\$ 169,33
GOIN	SERVENTE	h	1,2228	0,00	13,56	0,00	16,58
GOIN	PEDREIRO	h	1,5562	0,00	22,30	0,00	34,70

GOIN	FORMA CHAPA DE COMPENSADO RESINADO 6 MM U=3V (PARA PLACAS/TAMPAS E DIVISÓRIAS PRÉ-MOLDADAS EM CONCRETO)	m2	1,7348	13,19	9,54	22,88	16,54
GOIN	PREPARO COM BETONEIRA E TRANSPORTE MANUAL DE CONCRETO FCK=20 MPA - (O.C.)	m3	0,2653	457,19	80,45	121,29	21,34
GOIN	LANÇAMENTO/APLICAÇÃO/ADESAMENTO DE CONCRETO EM FUNDAÇÃO- (O.C.)	m3	0,3979	0,12	40,61	0,04	16,15
GOIN	ACO CA-60 - 5,0 MM - (OBRAS CÍVIS)	Kg	7,6153	10,85	2,64	82,62	20,10
GOIN	PREPARO COM BETONEIRA E TRANSPORTE MANUAL DE CONCRETO PARA LASTRO - (O.C.)	m3	0,1326	380,47	80,45	50,45	10,66
SIN	ANEL EM CONCRETO ARMADO, LISO, PARA POCOS DE VISITA, POCOS DE INSPECAO, FOSSAS SEPTICAS E SUMIDOUROS, SEM FUNDO, DIAMETRO INTERNO DE 1,20 M E ALTURA DE 0,50 M	UN	5,0000	293,40	0,00	1.467,00	0,00
SIN	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,3545	117,63	21,64	41,69	7,67
SIN	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,7224	36,84	21,64	26,61	15,63
AGE	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA) COM ADIÇÃO DE IMPERMEABILIZANTE, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m3	0,1633	640,21	61,05	104,54	9,96
REF.: 100475/SINAPI							

Fonte: O autor.

4.4.2 Sumidouro

O segundo orçamento refere-se ao sistema de sumidouro, dimensionado conforme as diretrizes da ABNT NBR 17076/2024. Para garantir a eficiência e a durabilidade do sistema, será adotada a premissa de utilização de dois sumidouros, cada um projetado para suportar 100% da capacidade total de infiltração, permitindo a alternância no uso e favorecendo a regeneração do solo. A Tabela 14 a seguir apresenta os quantitativos extraídos e o orçamento detalhado do conjunto.

Tabela 14 - Orçamento Sumidouro

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEHAB	SUMIDOURO CIRCULAR, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,20 M, ALTURA INTERNA = 2,50 M (ADAPTADO PROJETO PADRÃO AGEHAB) REF.: 98052/SINAPI	un	1,0000			R\$ 1.537,03	R\$ 127,50
GOIN	SERVENTE	h	1,2228	0,00	13,56	0,00	16,58
GOIN	PEDREIRO	h	1,5562	0,00	22,30	0,00	34,70
GOIN	FORMA CHAPA DE COMPENSADO RESINADO 6 MM U=3V (PARA PLACAS/TAMPAS E DIVISÓRIAS PRÉ-MOLDADAS EM CONCRETO)	m2	1,7349	13,19	9,54	22,88	16,55
GOIN	PREPARO COM BETONEIRA E TRANSPORTE MANUAL DE CONCRETO FCK=20 MPA - (O.C.)	m3	0,1327	457,19	80,45	60,65	10,67
GOIN	LANÇAMENTO/APLICAÇÃO/ ADENSAMENTO DE CONCRETO EM FUNDAÇÃO- (O.C.)	m3	0,1327	0,12	40,61	0,01	5,38

GOIN	ACO CA-60 - 5,0 MM - (OBRAS CIVIS)	Kg	4,0055	10,85	2,64	43,45	10,57
GOIN	LASTRO DE BRITA (OBRAS CIVIS)	m3	0,3391	178,29	27,12	60,46	9,19
SIN	ANEL EM CONCRETO ARMADO, PERFURADO, PARA FOSSAS SEPTICAS E SUMIDOUROS, SEM FUNDO, DIAMETRO INTERNO DE 1,20 M E ALTURA DE 0,50 M	UN	5,0000	255,25	0,00	1.276,25	0,00
SIN	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,3545	117,63	21,64	41,69	7,67
SIN	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,7224	36,84	21,64	26,61	15,63
AGE	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. REF.: 88628/SINAPI	m3	0,0102	493,75	55,67	5,03	0,56

Fonte: O autor.

4.4.3 Tanque de Evapotranspiração

Para o sistema de tanque de evapotranspiração, foram quantificados todos os insumos necessários para sua execução, incluindo a mão de obra, os materiais de construção e as espécies vegetais selecionadas para o processo de evapotranspiração. O levantamento foi realizado com base na extração automatizada

de quantitativos no Revit, complementado por estimativas técnicas quando necessário. A seguir, são apresentados os quantitativos obtidos e a correspondente orçamentação do sistema.

Tabela 15 - Orçamento tanque de evapotranspiração

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEHAB	TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, VOLUME 8,0m³, PARA 04 CONTRIBUINTE, EM ALVENARIA ESTRUTURAL, INCLUSO PLANTAS PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, TUBO PEAD CORRUGADO PERFURADO 500MM, REBOCO IMPERMEABILIZADO (PROJETO PADRÃO AGEHAB)	un	1,0000			R\$ 5.953,93	R\$4.054,12
GOIN	AJUDANTE	h	0,7411	0,00	15,48	0,00	11,47
GOIN	JARDINEIRO	h	0,1984	0,00	14,06	0,00	2,78
GOIN	ENCANADOR	h	0,3256	0,00	22,30	0,00	7,26
GOIN	TERRA VEGETAL	m3	5,7600	26,43	0,00	152,23	0,00
GOIN	ADUBO MINERAL NPK (4/14/8)	Kg	2,4000	4,00	0,00	9,60	0,00
COTAÇÃO	PLANTAS PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO (COPO-DE-LEITE, MARIA SEM VERGONHA, LÍRIO-DO-BREJO, HELICONIAS, TAIOBAS)	un	32,0000	8,40	0,00	268,80	0,00

COTAÇÃO	TUBO, PEAD, CORRUGADO, PERFURADO, 500MM	M	4,0000	316,69	0,00	1.266,76	0,00
GOIN	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALAS PROF. 2 A 4 M	m3	27,5080	0,00	49,49	0,00	1.361,37
GOIN	APILOAMENTO	m2	9,8900	0,00	5,42	0,00	53,60
GOIN	REATERRO COM APILOAMENTO	m3	4,7610	0,00	23,05	0,00	109,74
GOIN	PREPARO COM BETONEIRA E TRANSPORTE MANUAL DE CONCRETO FCK-20 - (O.C.)	m3	0,4945	457,19	80,45	226,08	39,78
GOIN	LANÇAMENTO/APLICAÇÃO/A DENSAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURA - (O.C.)	m3	0,4945	0,12	51,89	0,05	25,65
GOIN	IMPERMEABILIZACAO VIGAS BALDRAMES E=2,0 CM	m2	36,2900	12,84	21,92	465,96	795,47
GOIN	LASTRO DE BRITA (OBRAS CIVIS)	m3	4,6155	178,29	27,12	822,89	125,17
AGE	LASTRO DE AREIA REF.: 51027/GOINFRA	m3	0,8000	192,21	27,12	153,76	21,69
GOIN	REATERRO COM APILOAMENTO (APROVEITAMENTO 80% DO SOLO ESCAVADO)	m3	7,2000	0,00	23,05	0,00	165,96
GOIN	ACO CA 50-A - 8,0 MM (5/16") - (OBRAS CIVIS)	Kg	26,6727	7,96	3,02	212,31	80,55

GOIN	ESPALHAMENTO MECANICO	m2	38,8675	0,37	0,00	14,38	0,00
GOIN	REBOCO (1 CALH:4 ARFC+100kgCI/M3)	m2	33,8760	2,91	15,21	98,57	515,25
GOIN	PINTURA LATEX ACRILICA 3 DEMAOS C/SELADOR	m2	7,4700	6,53	8,99	48,77	67,15
AGE	ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL 14X19X39 CM, (ESPESSURA 14 CM), FBK = 4,5 MPA, UTILIZANDO PALHETA REF.: 89453/SINAPI	m2	18,9200	65,93	16,91	1.247,39	319,93
AGE	ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL 14X19X39 CM, (ESPESSURA 14 CM), FBK = 4,5 MPA, UTILIZANDO PALHETA REF.: 89453/SINAPI	m2	8,8000	65,93	16,91	580,18	148,80
AGE	GRAUTEAMENTO EM ALVENARIA ESTRUTURAL REF.: 89993 - 89994 - 89995/SINAPI	m3	0,7200	536,39	281,26	386,20	202,50

Fonte: O autor.

4.4.4 Vala de infiltração

A vala de infiltração atua como um complemento essencial ao sistema de tratamento do tanque de evapotranspiração, garantindo a adequada dispersão do efluente tratado no solo. Dessa forma, sua orçamentação se torna indispensável para a análise completa da solução proposta. A seguir, são apresentados os quantitativos extraídos e o respectivo orçamento do sistema.

Tabela 16 - Orçamento vala de infiltração

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEH AB	VALA DE INFILTRAÇÃO, 3,00x1,00x0,50 m, INCLUSO TUBO CORRUGADO PEAD PARA DRENAGEM 100MM, CAP PEAD 100MM, MANTA GEOTEXTIL (PROJETO PADRÃO AGEHAB)	un	1,0000			R\$ 378,98	R\$ 310,27
GOIN	SERVENTE	h	0,0532	0,00	13,56	0,00	0,72
GOIN	PEDREIRO	h	0,0176	0,00	22,30	0,00	0,39
SIN	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER, RESITENCIA A TRACAO = 14 KN/M	M2	3,6000	8,66	0,00	31,17	0,00
GOIN	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALAS PROF. 2 A 4 M	m3	3,1500	0,00	49,49	0,00	155,89
GOIN	APILOAMENTO	m2	3,0000	0,00	5,42	0,00	16,26
GOIN	REATERRO COM APILOAMENTO	m3	1,6500	0,00	23,05	0,00	38,03
GOIN	LASTRO DE BRITA (OBRAS CIVIS)	m3	1,4764	178,29	27,12	263,22	40,03
GOIN	TUBO RÍGIDO CORRUGADO PARA DRENAGEM DIAMETRO 100 MM	m	3,0000	22,74	19,65	68,22	58,95
GOIN	ESPALHAMENTO MECANICO	m2	15,0000	0,37	0,00	5,55	0,00

SIN	TAMPAO / TERMINAL / PLUG, D = 4" , PARA DUTO CORRUGADO PEAD (CABEAMENTO SUBTERRANEO)	UN	1,0000	10,82	0,00	10,82	0,00
-----	--	----	--------	-------	------	-------	------

Fonte: O autor.

4.4.5 Orçamento conjunto dos sistemas empregados

Com os orçamentos individualizados de cada item concluídos, foram consolidados os valores totais de mão de obra e materiais para os sistemas de captação e condução em estudo. Além disso, foi elaborado o orçamento global de cada sistema, considerando todos os itens necessários para sua implantação.

Os dois sistemas analisados — fossa séptica com dois sumidouros e fossa séptica com tanque de evapotranspiração — foram orçados com base na implantação padrão da Casa Uni, considerando os quantitativos e especificações definidos anteriormente. Antes de apresentar os valores finais para a implantação dos sistemas, é importante esclarecer que este estudo tem como escopo exclusivo o sistema de esgotamento sanitário, não abrangendo as demais etapas da construção das unidades habitacionais. Por essa razão, optou-se por não incluir no orçamento o item “bota-fora”, uma vez que, nas obras executadas pela AGEHAB, essa etapa já está prevista no orçamento global da implantação das casas, contemplando todas as fases da obra. No caso específico do tanque de evapotranspiração, a totalidade do solo escavado foi reaproveitada para o reaterro do próprio sistema, eliminando a necessidade de transporte ou descarte externo. Já em relação ao sistema de sumidouro, cabe destacar que sua modelagem teve finalidade exclusivamente comparativa e orçamentária; quando esse sistema é efetivamente executado pela AGEHAB, o volume escavado também é integralmente aproveitado na própria obra. Dessa forma, considerando a baixa representatividade de solo excedente e a ausência de aplicação prática no estudo, as etapas de transporte e descarte (bota-fora) não foram incluídas na composição final dos custos apresentados.

Tabela 17 - Orçamento sistema fossa séptica com dois sumidouros

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEH AB	SOLUÇÃO INDIVIDUAL DE ESGOTO - (OPÇÃO F) FOSSA SÉPTICA/SUMIDOURO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIAM. 1,20M, COM 02 SUMIDOUROS, PROF. 2,50M (PROJETO PADRÃO AGEHAB - IMPLANTAÇÃO CASA UNI) REF.: AGE81858 - AGE81861	un	1,0000			R\$ 5.070,42	R\$ 906,66
GOIN	JOELHO 90 GRAUS DIAMETRO 100 MM (ESGOTO)	Un	2,0000	9,57	17,01	19,14	34,02
GOIN	TE SANITARIO DIAMETRO 100 X 100 MM (ESGOTO)	Un	2,0000	12,49	17,38	24,98	34,76
GOIN	TUBO SOLDABEL PARA ESGOTO DIAMETRO 100 MM	m	11,2000	16,35	19,65	183,12	220,08
GOIN	CAP DIAMETRO 100 MM ESGOTO PRIMARIO	Un	3,0000	11,43	4,54	34,29	13,62
GOIN	CAIXA DE PASSAGEM 40X40X80CM (MEDIDAS INTERNAS) SEM TAMPA	un	1,0000	118,84	189,97	118,84	189,97
GOIN	CAIXA DE INSPEÇÃO - TAMPA EM CONCRETO ARMADO 25 MPA E=5CM	m2	0,3600	74,64	18,90	26,87	6,80
AGE	TANQUE SÉPTICO CIRCULAR, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,20M, ALTURA INTERNA = 2,00M (ADAPTADO PROJETO PADRÃO AGEHAB) REF.: 98052/SINAPI	un	1,0000	1.589,12	152,41	1.589,12	152,41

AGE	SUMIDOURO CIRCULAR, EM CONCRETO PRÉ- MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,20 M, ALTURA INTERNA = 2,50 M (ADAPTADO PROJETO PADRÃO AGEHAB) REF.: 98052/SINAPI	un	2,0000	1.537,03	127,50	3.074,06	255,00
-----	---	----	--------	----------	--------	----------	--------

Fonte: O autor.

A tabela a seguir apresentou os valores e os itens necessários para a implantação do sistema de fossa séptica com tanque de evapotranspiração.

Tabela 18 - Orçamento sistema fossa séptica com tanque de evapotranspiração

BASE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	CONSUMO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL MATERIAL SEM DESONERAÇÃO	CUSTO TOTAL MÃO DE OBRA SEM DESONERAÇÃO
AGEH AB	SOLUÇÃO INDIVIDUAL DE ESGOTO - (OPÇÃO G) FOSSA SÉPTICA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIAM. 1,20M, PROF. 2,00M, COM TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E VALA DE INFILTRAÇÃO (PROJETO PADRÃO AGEHAB - IMPLANTAÇÃO CASA UNI) REF.: AGE81865 - AGE81866 - AGE81857	un	1,0000			R\$ 8.118,42	R\$ 4.755,70
AGE	TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, VOLUME 8,0m³, PARA 04 CONTRIBUINTES, EM ALVENARIA ESTRUTURAL, INCLUSO PLANTAS PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, TUBO PEAD CORRUGADO PERFURADO 500MM, REBOCO IMPERMEABILIZADO (PROJETO PADRÃO AGEHAB)	un	1,0000	5.953,93	4.054,12	5.953,93	4.054,12
AGE	VALA DE INFILTRAÇÃO, 3,00x1,00x0,50 m, INCLUSO TUBO CORRUGADO PEAD PARA DRENAGEM 100MM, CAP PEAD 100MM, MANTA GEOTEXTIL (PROJETO PADRÃO AGEHAB)	un	1,0000	378,98	310,27	378,98	310,27
AGE	TANQUE SÉPTICO CIRCULAR, EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 1,20M, ALTURA INTERNA = 2,00M (ADAPTADO PROJETO	un	1,0000	1.589,12	152,41	1.589,12	152,41

GOIN	JOELHO 90 GRAUS DIAMETRO 100 MM (ESGOTO)	Un	3,0000	9,57	17,01	28,71	51,03
GOIN	TE SANITARIO DIAMETRO 100 X 100 MM (ESGOTO)	Un	2,0000	12,49	17,38	24,98	34,76
GOIN	CAP DIAMETRO 100 MM ESGOTO PRIMARIO	Un	2,0000	11,43	4,54	22,86	9,08
GOIN	TUBO SOLDAVEL PARA ESGOTO DIAMETRO 100 MM	m	7,3300	16,35	19,65	119,84	144,03

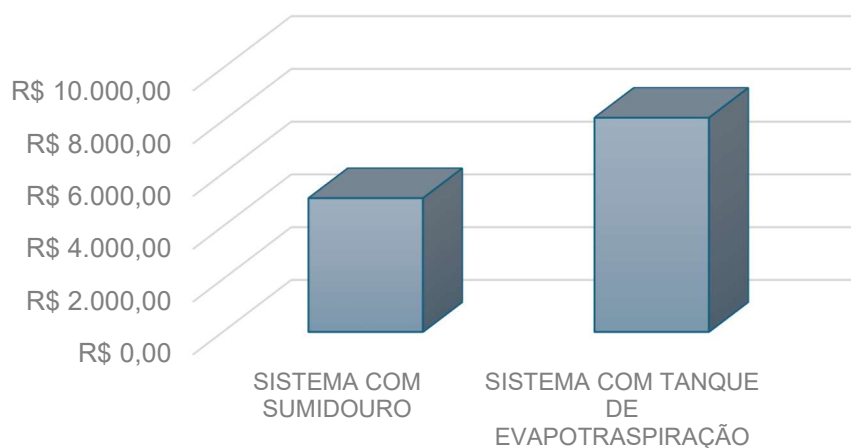
Fonte: O autor.

4.5 Análise dos Resultados

A análise comparativa entre os sistemas de fossa séptica com sumidouro e fossa séptica com tanque de evapotranspiração demonstrou que, apesar do custo inicial mais elevado, o tanque de evapotranspiração se destaca como uma alternativa mais sustentável e eficiente a longo prazo.

Os custos de materiais (Gráfico 1) para o sistema de sumidouro totalizaram R\$ 5.070,42, enquanto o sistema com tanque de evapotranspiração atingiu R\$ 8.118,42. A diferença de custos ocorre devido à necessidade de materiais específicos no tanque, como paredes de bloco de concreto, substrato filtrante e plantas de evapotranspiração, que garantem sua funcionalidade e promovem um tratamento mais eficiente dos efluentes. Além disso, a vedação do fundo impede a contaminação do solo e do lençol freático, um risco inerente ao sistema de sumidouro, especialmente em áreas de lençol freático raso.

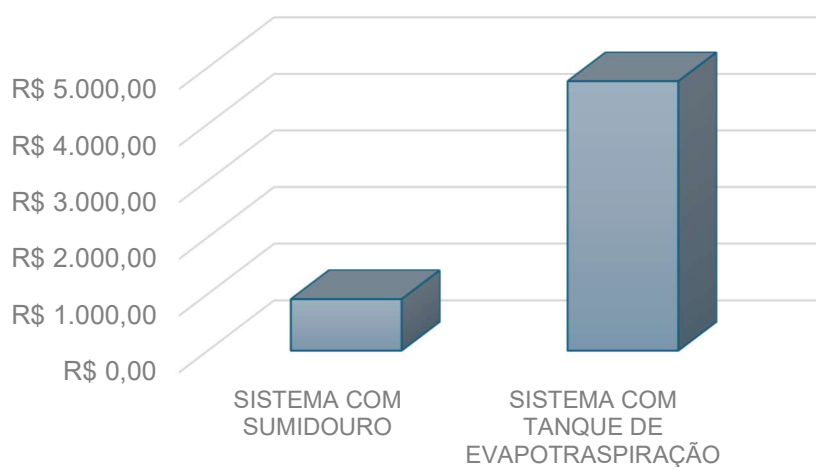
Gráfico 1 - Comparativo de preço de materiais dos sistemas



Fonte: O autor.

Em relação à mão de obra (Gráfico 2), o custo para implantação do sistema de sumidouro foi de R\$ 906,66, enquanto o do tanque de evapotranspiração atingiu R\$ 4.755,70. Essa diferença se deve à complexidade construtiva do tanque, que demanda técnicas mais especializadas para sua execução. No entanto, esse investimento adicional se justifica pelos benefícios ambientais e pela baixa necessidade de manutenção ao longo do tempo, visto que o tanque não requer limpezas periódicas como os sumidouros, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais.

Gráfico 2 - Comparativo de preços de mão de obra dos sistemas



Fonte: O autor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a proposição de uma solução sustentável para o tratamento de efluentes em habitações populares da AGEHAB localizadas em áreas com lençol freático raso, substituindo o tradicional sistema de sumidouro pelo tanque de evapotranspiração. Durante a execução do projeto, foram realizados diversos estudos e análises técnicas, incluindo o desenvolvimento completo do projeto do tanque de evapotranspiração utilizando a metodologia BIM (Building Information Modeling), que permitiu a modelagem paramétrica e a extração precisa dos quantitativos necessários para a orçamentação dos sistemas. Através desta ferramenta, foi possível criar um orçamento detalhado, comparando as opções de sumidouro e tanque de evapotranspiração, o que evidenciou as vantagens da implementação do sistema mais sustentável, mesmo com um custo inicial mais elevado.

A implantação do sistema de tanque de evapotranspiração no município de Ipameri, especificamente no distrito de Domiciano Ribeiro, demonstrou a viabilidade técnica da solução, atendendo à necessidade de um sistema de tratamento de efluentes eficiente e adequado às condições locais, como o lençol freático raso. A execução do projeto foi realizada dentro das normativas vigentes, considerando as diretrizes da ABNT NBR 17076/2024 e os estudos empíricos existentes, garantindo a conformidade e segurança do sistema implantado. Além disso, a análise econômica comparativa demonstrou que o investimento inicial do tanque de evapotranspiração foi superior ao do sumidouro, com o custo dos materiais apresentando uma diferença de 60% a mais, devido à necessidade de insumos estruturais, como blocos de concreto, aço e grauteamento, além de elementos específicos como as plantas de evapotranspiração. Já o custo da mão de obra apresentou uma discrepância ainda maior, devido à complexidade construtiva do tanque, que exige impermeabilização completa, argamassa especial e técnicas específicas para garantir sua eficiência e durabilidade.

Apesar do maior custo inicial, essa diferença se justifica pela necessidade de um sistema impermeável, uma vez que o tanque de evapotranspiração não pode permitir a infiltração no solo, ao contrário do sumidouro, cuja função é justamente

essa. Além disso, o fato de o tanque ser um projeto voltado para habitações populares financiadas pelo estado exigiu a quantificação e orçamentação de todos os insumos de maneira detalhada, incluindo o tubo PEAD corrugado, a terra para reaterro e as espécies vegetais específicas para evapotranspiração, o que elevou o custo final. Entretanto, para aplicações em residências comuns, esse custo pode ser significativamente reduzido ao se utilizar materiais alternativos e recicláveis, como pneus no lugar do tubo PEAD, reaproveitamento da terra da própria escavação para reaterro ou até mesmo entulhos, além da substituição por espécies vegetais de fácil obtenção local como a bananeira, desde que respeitada a taxa mínima de evapotranspiração.

Embora a análise dos custos tenha mostrado que o sistema de tanque de evapotranspiração apresentou valores mais elevados em comparação ao sistema de sumidouro, seus benefícios ambientais e sua durabilidade tornam essa solução mais apropriada a longo prazo. O tanque elimina o risco de contaminação do lençol freático, atende às normativas de saneamento e proporciona um sistema de tratamento sustentável e eficiente. No entanto, não foi possível realizar uma avaliação da aceitação do sistema por parte dos moradores ou dos desafios enfrentados durante sua operação, o que fica como sugestão para trabalhos futuros, visando analisar a eficácia prática do tanque de evapotranspiração no cotidiano das famílias beneficiadas.

Dessa forma, o presente estudo atingiu plenamente seus objetivos, desde o desenvolvimento e modelagem do tanque de evapotranspiração até a análise de sua viabilidade técnica e econômica, permitindo uma comparação detalhada com o sistema tradicional de sumidouro. Além disso, a pesquisa conseguiu oferecer uma solução eficaz para o problema identificado no município de Ipameri, especialmente no distrito de Domiciano Ribeiro, onde a alta do lençol freático inviabilizava a implantação de sumidouros. A implementação do tanque de evapotranspiração se mostrou uma alternativa viável e alinhada às normativas vigentes, garantindo um tratamento de efluentes seguro e sustentável para a região, reforçando seu potencial como solução para áreas com características similares.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13969: **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes – Projetos, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17076: **Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte: requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ÁVILA, Renata Oliveira de. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. 166 f. Tese (Mestrado em ciências em engenharia civil) - Curso de mestrado em Engenharia Civil. UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BODENS, Felipe; OLIVEIRA, Bernardo. **Fossa ecológica – tanque de evapotranspiração**. In: Blog Mundo GEPEC. 13 jul. 2009. Disponível em: https://mundogepec.blogspot.com/2009/07/fossa-ecologica-tanque-de_13.html. Acesso em: 14 mar. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 14 mar. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2020/L14026.htm. Acesso em: 17 mar. 2025.

BUENO, Daniel Augusto Camargo. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: Desempenho em operação crítica**. 2017. 466 f. Dissertação.

COSTA, Pablo Soares de Alvarenga. **Desenvolvimento de uma opção de saneamento rural para pequenos agricultores de Minas Gerais (Itabira)**. 2014. Projeto Final (Engenharia Agrícola e Ambiental) – Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

Emater/FBB. 2016. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Fundação Banco do Brasil. Tecnologia social: **Fossa Ecológica/Tevap**. 14 p.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FREIRE, Ádria Pamplona Miranda. **Sistemas descentralizados para tratamento de esgoto em área rural: estudo de casos**. 2022. Programa de Pós-Graduação Lato Sensu Residência em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2022.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Manual Fossa Ecológica-TEvap**. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/fossa-ecologica-tevap>. Acesso em: 25 ago. 2024.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Repositório UFMS, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1163>. Acesso em: 15 dez. 2024.

GOIÁS. Lei nº 14.939, de 15 de setembro de 2004. **Institui o Marco Regulatório da Prestação de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, cria o Conselho Estadual de Saneamento (CESAM) e dá outras providências**. Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiânia, GO, 23 set. 2004. Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/80874/lei-14939. Acesso em: 17 mar. 2025.

GOIÁS. **Projeto de Lei nº 101**. Ipameri, 05 de Setembro de 2024. Disponível em: https://sapl.ipameri.go.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2024/4483/pl_101-2024_e_anexo.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. **Agência Goiana de Habitação (AGEHAB)**. [Goiânia]: AGEHAB, [2024]. Disponível em: <https://goias.gov.br/agehab/institucional/>. Acesso em: 18 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados populacionais da cidade de Ipameri**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/ipameri/panorama>. Acesso em: 09 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativa da População**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/sinteseindic sociais2007/indic_sociais2007.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

INSTITUTO DE PERMACULTURA DA BAHIA (IPB). **Fossa ecológica: tanque de evapotranspiração**. Blog do IPB, 13 jul. 2009. Disponível em: https://mundogepec.blogspot.com/2009/07/fossa-ecologica-tanque-de_13.html. Acesso em: 14 dez. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Brasil teve cerca de 130 mil internações por doenças associadas à falta de saneamento em 2021**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/brasil-teve-cerca-de-130-mil-internacoes-por-doencas-associadas-a-falta-de-saneamento-em-2021/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas sobre esgoto**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

IPAMERI. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Segunda Revisão. Projeto de Lei nº 101/2024**. Disponível em: https://sapl.ipameri.go.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2024/4483/pl_101-2024_e_anexo.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1995.

LEITE, Carlos Henrique Pereira; MOITA NETO, José Machado; BEZERRA, Ana Keuly Luz. **Novo marco legal do saneamento básico: alterações e perspectivas**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Teresina, v. 27, n. 5, p. 1041-1047, set./out. 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/c9q3cL4bMT4L4KP7zCMxzCP/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 25 nov. 2024.

MACHADO, Heitor Soares; SALGADO, Saulo Paulino; DELATORRE, Andréia Boechat; BECKER, Beatriz Rohden; AGUIAR, Cristiane de Jesus. **Estudo sobre o uso de bacia de evapotranspiração como alternativa para tratamento de efluentes**. In: 3º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Gramado/RS, 09 a 11 de setembro de 2020. Anais... Gramado: IBEAS, 2020. p. 1-10. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/XII-008.pdf>.

Acesso em: 5 dez. 2024.

NOHARA, Irene Patrícia; POSTAL JÚNIOR, Jeferson. **Perspectivas da gestão do saneamento básico no Brasil: prestação indireta e deficiências setoriais**. Revista de Direito Econômico e Socioambiental, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 380-398, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/rev.dir.econ.soc.v9i1.21305>.

Acesso em: 1 dez. 2024.

OLIVEIRA, Janine Patrícia Melo; OLIVEIRA, Jaline Melo; BARRETO, Eloana de Sousa; SILVA, Saulo Soares da; SILVA, Sabrina Soares da; MARACAJÁ, Patrício Borges. **Saúde/doença: as consequências da falta de saneamento básico**. Informativo Técnico do Semiárido, Pombal-PB, v. 9, n. 2, p. 23-29, jun./dez. 2015. Disponível em:

<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/INTESA/article/view/3592/3239>. Acesso em: 14 dez. 2024.

ONU - UN General Assembly. 2010. **The human right to water and sanitation. UN Resolution 64/292**. New York: United Nations. 2010.

ONU BRASIL. ONU (OMS): **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso à água potável**. Nações Unidas Brasil, [S. l.], 18 mar. 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83447-onu-1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-n%C3%A3o-tem-acesso-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel>. Acesso em: 28 dez. 2024.

PAES, W. M. **Técnicas de permacultura como tecnologias socioambientais para a melhoria na qualidade da vida em comunidades da Paraíba**. 2014. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

PAMPLONA S.; VENTURI M. **Esgoto à flor da terra. Permacultura Brasil**. Soluções ecológicas. v16, 2004.

PAULO, P. L.; BERNARDES, F. S.; **Estudo de Tanque de Evapotranspiração para o Tratamento Domiciliar de Águas Negras**. 2008. Coordenadoria de Pesquisa – PROPP Campo Grande (MS).

PRÜSS-ÜSTÜN, A. et al. **Safer water, better health**. World Health Organization, p.53, 2008.

Sacho, S. D., & Hora, K. E. (2017). **Panorama do Saneamento Básico na Região Metropolitana de Goiânia**. Desenvolvimento Em Questão, 15(41), 498–522. Disponível em: <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2017.41.498-522>. Acesso em: 18 ago. 2024.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (Saneago). **Apresentação de Resultados 3T24**. 2024. Disponível em: <https://ri.saneago.com.br/Download.aspx?Arquivo=kNXXppNvlowvK78qViYV/A==&linguagem=pt>. Acesso em: 25 out. 2024.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (Saneago). **Memória Saneago**. Disponível em: <http://www.saneago.com.br/site/?id=historico&tit=historico>. Acesso em: 25 out. 2024.

SILVA, Josefa Camila Araújo da. **Tratamento de esgoto doméstico através de círculo de bananeiras e tanque de evapotranspiração**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2017.

SILVA, Pedro Hiago Gomes Bras; SANTOS, Eduardo Leão dos; CRUZ, Neemias Nascimento da; SANTOS, Heni Mirna Cruz. **Estudo da viabilidade técnico-econômica da utilização do tanque de evapotranspiração na comunidade Fazenda Rato**, zona rural de Irapá-BA, como meio de tratamento para o esgoto doméstico. *Facere Scientia, Revista Científica Multidisciplinas da UNEF*, v. 01, ed. 02, jul. 2022.

SUBTIL, Eduardo Lucas et al. **Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reuso de água**. In: SUBTIL, Eduardo Lucas et al. Ciência e Tecnologia Ambiental: Conceitos e Perspectivas. Santo André: Ufabc, 2016. Cap. 9. p. 201-2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309429650_Sistemas_descentralizados_de_tratamento_de_esgoto_e_reuso_de_agua. Acesso em: 10 set. 2024.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018. ISBN 978-85-85783-94-5.

TONETTI, A. L.; DUARTE, N. C.; FIGUEIREDO, I. C. S. **Alternativas para o gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais**. In: Labor & Engenho, Campinas [SP] Brasil, v. 12, n. 1, p. 145-152, jan./mar. 2018.

TONETTI, Adriano Luiz; Coraucci Filho, Bruno; Stefanutti, Ronaldo. **Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo**. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 07-12, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). [DOI].

TUROLLA, Frederico A. **Política de Saneamento Básico: Avanços Recentes e Opções Futuras de Políticas Públicas**. Brasília dez. 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO; UNICEF., United Nations Children's Fund. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities**. Geneva: UN-Water. 2019.