



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
NÍVEL MESTRADO**

ANA MARIA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO
FOSSA ECOLÓGICA TEVAP - TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.**

SÃO CRISTÓVÃO

2025

ANA MARIA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO
FOSSA ECOLÓGICA TEVAP - TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.**

Defesa de Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gregorio Guirado Faccioli

COORIENTADOR: Dr. Igor Pinheiro da Rocha

SÃO CRISTÓVÃO

2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237a Santos, Ana Maria dos.
Análise da eficiência do tratamento de esgoto utilizando fossa ecológica TEVAP – tanque de evapotranspiração / Ana Maria dos Santos; orientador Gregório Guirado Faccioli. – São Cristóvão, SE, 2024.
103 f.; il.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)
– Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Meio Ambiente. 2. Saneamento. 3. Saúde ambiental. 4. Tanques.
5. Esgotos. 6. Água – Qualidade. 7. Agricultura sustentável. I. Faccioli,
Gregório Guirado, orient. II. Título.

CDU 502.171:628

ANA MARIA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO
FOSSA ECOLÓGICA TEVAP - TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.**

Defesa de Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Aprovado em _____ 2025.

Prof. Dr. Gregorio Guirado Faccioli - Universidade Federal de Sergipe
Presidente - Orientador

Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza - Universidade Federal de Sergipe
Examinador Interno (PRODEMA-UFS)

Dr. Maria Fernanda Oliveira Torres
Examinador Externo

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Prof. Dr.Gregorio Guirado Faccioli - Orientador
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)
Universidade Federal de Sergipe- UFS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe(UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar ou vender tais cópias.

Ana Maria dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)

Universidade Federal de Sergipe - UFS

Prof. Dr.Gregorio Guirado Faccioli - Orientador

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)

Universidade Federal de Sergipe - UFS

RESUMO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência humana e para possibilitar o desenvolvimento sustentável das atividades econômicas. A ausência de saneamento básico acessível e adequado pode desencadear o lançamento de esgoto doméstico em corpos d'água, implicando na redução da qualidade deste bem que seria destinado ao abastecimento das comunidades. Métodos alternativos que visem possibilitar o acesso ao tratamento de efluentes com baixo custo de implantação são um avanço para o saneamento básico, estando desse modo em harmonia com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, diretamente com o sexto objetivo que se refere à água potável e saneamento e indiretamente aos demais 16 objetivos. O presente estudo avaliou a eficiência do tanque de evapotranspiração (TEvap) como alternativa sustentável para o tratamento de esgoto doméstico em uma unidade familiar localizada em Aracaju/SE. O sistema, também conhecido como fossa ecológica, é uma tecnologia social baseada na filtragem e evaporação do efluente pelo metabolismo de plantas, especialmente bananeiras (*Musa spp.*). A metodologia envolveu visitas de campo, coletas e análises laboratoriais de amostras de efluente e solo, considerando parâmetros físico-químicos e microbiológicos conforme as diretrizes da Resolução CONAMA 357/2005. Os resultados indicaram que o sistema promoveu significativa redução de carga microbiológica e remoção parcial de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. A análise do solo demonstrou benefícios limitados na fertilidade, sugerindo a necessidade de ajustes na adubação complementar para otimizar o desenvolvimento das bananeiras. Conclui-se que o TEvap é uma alternativa viável para o saneamento descentralizado, contribuindo para a mitigação da poluição hídrica e promovendo um ciclo sustentável de reaproveitamento de nutrientes.

Palavras-chave: Tanque de evapotranspiração, saneamento ecológico, tratamento de esgoto, qualidade da água, agricultura sustentável.

ABSTRACT

Water is an essential resource for human survival and for enabling the sustainable development of economic activities. The lack of accessible and adequate basic sanitation can trigger the discharge of domestic sewage into water bodies, implying a reduction in the quality of this resource that would be intended to supply communities. Alternative methods that aim to enable access to effluent treatment with low implementation costs are an advance for basic sanitation, thus being in harmony with the Sustainable Development Goals of the UN 2030 Agenda, directly with the sixth goal that refers to drinking water and sanitation and indirectly with the other 16 goals. The present study evaluated the efficiency of the evapotranspiration tank (TEvap) as a sustainable alternative for the treatment of domestic sewage in a family unit located in Aracaju/SE. The system, also known as an ecological septic tank, is a social technology based on the filtration and evaporation of effluent by the metabolism of plants, especially banana trees (*Musa spp.*). The methodology involved field visits, collections and laboratory analyses of effluent and soil samples, considering physical-chemical and microbiological parameters according to the guidelines of CONAMA Resolution 357/2005. The results indicated that the system promoted a significant reduction in microbiological load and partial removal of nutrients, especially nitrogen and phosphorus. Soil analysis showed limited benefits in fertility, suggesting the need for adjustments in complementary fertilization to optimize the development of banana plants. It is concluded that TEvap is a viable alternative for decentralized sanitation, contributing to the mitigation of water pollution and promoting a sustainable cycle of nutrient reuse.

Keywords: Evapotranspiration tank, ecological sanitation, sewage treatment, water quality, sustainable agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Domicílios com rede geral ou fossa ligada à rede geral (%).....	13
Figura 2. Evapotranspiração diária do TEvap em Aracaju (Litros por dia), de acordo com a população de bananeiras implantada	29
Figura 3. Local de implantação do projeto piloto.....	30
Figura 4. Construção do Tevap	31
Figura 5. Construção do Tevap	31
Figura 6. Impermeabilização do sistema e preenchimento	32
Figura 7. Impermeabilização do sistema e preenchimento	32
Figura 8. Camada de solo fértil	33
Figura 9. Camada de solo fértil	33
Figura 10. Plantio bananeiras (<i>Musa spp.</i>)	34
Figura 11. Espaçamento entre plantas (<i>Musa spp.</i>).....	34
Figura 12. Local de coleta dos efluentes analisados.....	35
Figura 13. Recipientes de coleta dos efluentes analisados	36
Figura 14. os principais trabalhos que estudaram a eficiência de tratamento utilizando o sistema TEVAP	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	16
Quadro 2. Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica no Brasil	17
Quadro 3. Classificação de corpos d'água para abastecimento segundo CONAMA n°357/2005	19
Quadro 4. Grau de tratamento para uso múltiplo de esgoto tratado, segundo NBR 13969/97	20
Quadro 5. Evapotranspiração de referência Aracaju – 2004.....	21
Quadro 6. Coeficiente de cultivo e demanda de evapotranspiração diária e mensal da cultura da bananeira, com espaçamento 3x3m, para o município de Aracaju/SE.....	28
Quadro 7. Consumo hídrico da TEvap com 6 (seis) bananeiras (<i>Musa spp.</i>) durante o ciclo da cultura.....	29
Quadro 8. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 1.....	38
Quadro 9. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 2.....	38
Quadro 10. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 3.....	39
Quadro 11. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 4.....	40
Quadro 12. Resultado das análises Efluente 03.....	40
Quadro 13. Resultado das análises Efluente 03.....	41
Quadro 14. Resultado da análise do solo.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTC - Capacidade de troca catiônica

DESO - Companhia de Saneamento de Sergipe

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITPS - Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ONU - Organização das Nações Unidas

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

OD - Oxigênio dissolvido

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

TEVAP - Tanque de evapotranspiração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	15
2.2 Água e Saneamento	16
2.3 Parâmetros de qualidade da água	18
2.4 Reúso de águas	19
2.5 Evapotranspiração de referência	21
2.6 Tecnologia Social	22
2.7 Tanque de evapotranspiração	22
2.8 Cultura da banana.....	23
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 Base metodológica	25
3.2 Localização da área de estudo	29
3.3 Procedimentos e técnicas.....	31
3.3.1 Registro fotográfico da etapa construtiva do sistema.....	31
3.3.2 Preparo do plantio.....	33
3.3.3 Efluentes	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 Quantificação de coliformes totais e termotolerantes	38
4.2 Análises químicas do efluente 03.....	40
4.3 Resultado análise de solo.....	44
5. CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O descarte incorreto das águas negras não tratadas contaminam os mananciais hídricos e prejudicam a saúde dos moradores da região, visto que, a utilização da água contaminada, principalmente na irrigação da lavoura, causam doenças chamadas de feco-orais (Costa; Guilhoto, 2019). Segundo Droste (2017), as águas negras são aquelas provenientes do esgoto sanitário, contendo urinas e fezes, e necessita de tratamento específico para redução de patógenos. O avanço do desenvolvimento das cidades traz consigo desafios grandiosos como, por exemplo, o descarte de lixo e o tratamento do esgoto.

A tecnologia social “fossa séptica com bananeira” pode contribuir para mudar esse cenário. Os benefícios sociais e econômicos incluem a redução das internações hospitalares causadas pela falta de saneamento básico, redução dos índices de infrequência e abandono escolares, redução da mortalidade infantil, melhoramento da qualidade de vida, entre outros resultados que também podem ser alcançados com a implementação dessa tecnologia.

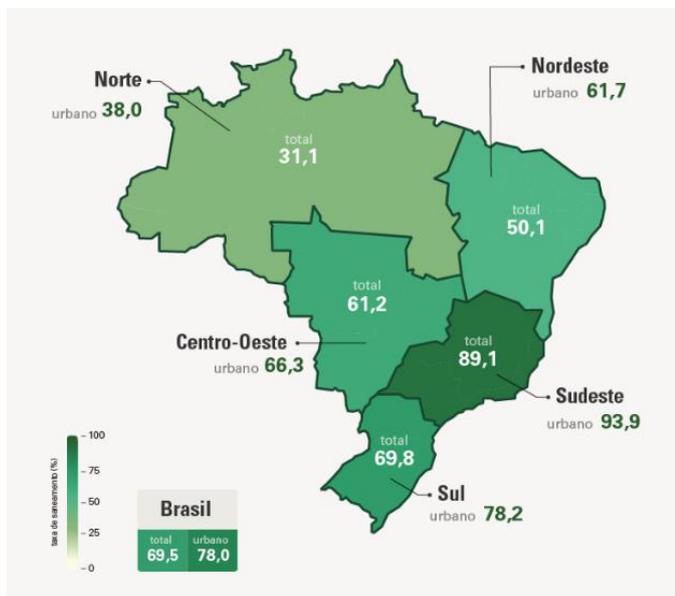
O processo a ser desenvolvido está baseado no processo de tratamento de esgoto domésticos por meio do uso de fossas sépticas (EMBRAPA, 2014 e seguindo as Normas Brasileiras vigentes). É fato que em nosso país a maioria da população não dispõe de água tratada e é ainda menor o número de domicílios que têm tratamento adequado de esgoto doméstico. De acordo com censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2017, somente 33 municípios em Sergipe possuem rede de esgoto e destes apenas 11 possuem estação de tratamento.

Com o crescimento das cidades, construções de condomínios, residências e outros tipos de moradia, aumenta-se o número de pedidos de ligação ao sistema de tratamento de esgoto sanitário local. Em Aracaju-SE a responsável pelo gerenciamento desses pedidos é a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO). É possível que em algumas localidades das cidades não haja viabilidade técnica de ligação às redes de distribuição ou de coletas existentes, necessitando assim criar ETEs, fossas sépticas e outros sistemas alternativos.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), em 2022, 69,3% dos 74,1 milhões de domicílios brasileiros contavam com esgotamento sanitário por rede coletora ou fossa ligada à rede geral – um aumento de apenas 1,3% em relação a 2019, quando a proporção era de 68,2%. O maior crescimento ocorreu nas regiões com as menores estimativas de acesso: de 27,3% para 31,1% no Norte e de 47% para 50,1% no Nordeste, região que, pela

primeira vez, tem metade dos domicílios atendidos, o cenário do percentual de domicílios com acesso a ligação à rede geral está apresentado na figura 01, dado fornecido pelo IBGE em 2022.

Figura 1. Domicílios com rede geral ou fossa ligada à rede geral (%)



Fonte: PNAD 2022, IBGE

De acordo com a figura 01, podemos verificar que os maiores percentuais de domicílios urbanos estavam no Sudeste (93,9%) e no Sul (78,2%), com Centro-Oeste (66,3%), Nordeste (61,7%) e Norte (38%). Os estados com as maiores proporções de domicílios urbanos conectados à rede coletora de esgoto São Paulo (96,4%), Distrito Federal (94,1%), Minas Gerais (92,3%) e Rio de Janeiro (90,6%), os quatro estados com cobertura acima dos 90%. Ainda de acordo com a PNAD (2022), cerca de 98% dos domicílios do país possuíam banheiro de uso exclusivo. No entanto, somente 69,5% contavam com escoamento do esgoto feito por rede geral ou fossa séptica e 14,1% recorriam à fossa rudimentar e outras formas inadequadas de lançamento de esgoto diretamente na natureza.

No ano de 2018, as Nações Unidas lançaram a Década Internacional para a Ação: Água para o Desenvolvimento Sustentável (2018-2028), com o objetivo de promover novas parcerias, melhorar a cooperação e fortalecer a capacidade de implementar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Foram elencados 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, propostos como uma bússola importante para os sistemas sociais, econômicos e ecológicos, buscando o bem-estar da humanidade (2019; ONU, 2015).

A questão referente a importância da água para o desenvolvimento sustentável gerou o Objetivo 6 dentro dos 17 ODS, esse sexto objetivo é de “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”, e suas oito metas, que vão desde o acesso à água potável e saneamento até a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis (ANA, 2019; ONU, 2015). As fossas rudimentares não funcionam como forma de evitar a contaminação das águas.

As fossas sépticas, evitam essa contaminação, porém não promovem a reciclagem dos dejetos humanos, como ocorre na fossa séptica biodigestora. Essa última também elimina a contaminação de águas subterrâneas e, diferentemente dos outros métodos, promove a reciclagem dos dejetos. O produto dessa reciclagem é um efluente inodoro e com alta carga de nutrientes que são benéficos às plantas. Assim, o uso desse efluente pode ser utilizado diretamente para adubação de plantas localizadas próximas às residências, trazendo uma economia no consumo de fertilizantes químicos.

Foi construído uma fossa ecológica tipo tanque de evapotranspiração (TEVAP), que é conhecido popularmente como “fossa de bananeiras”, caracterizado por se tratar de um sistema fechado de tratamento de águas servidas. Este sistema não gera nenhum efluente e evita a poluição do solo, das águas superficiais e do lençol freático. Em um TEVAP, os resíduos humanos são transformados em nutrientes para plantas e a água sai do sistema apenas por meio da evaporação, completamente limpa.

O tanque foi construído em alvenaria de tijolos cerâmicos com reboco impermeabilizado com espessura mínima de 2 cm e fundo em concreto com espessura mínima de 10 cm. A disposição final do efluente do tanque, o que evitará transbordamentos, se dá por evapotranspiração das plantas, o memorial de cálculo do projeto é apresentado mais adiante no item metodologia.

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a eficiência do tratamento de esgoto utilizando fossa ecológica TEVAP, implantado na cidade de Aracaju-SE.

Como objetivos específicos:

- Realizar análises físico-químicas e microbiológicas do efluente para avaliação da eficácia do sistema;
- Realizar análise química do solo e verificar o potencial de contribuição do efluente como aporte nutricional para a cultura da banana.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015, composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030. Sendo estes objetivos indivisíveis e almejam equilibrar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental. Os ODS visam o consumo e produção sustentáveis e a gestão sustentável dos recursos naturais (Vieira, 2021).

O objetivo 01 trata da erradicação da pobreza, afirmando querer “assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.” No objetivo 02 trabalha-se acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição em paralelo promovendo a agricultura sustentável.

No objetivo 03 discorre sobre saúde e bem-estar, afirmando querer “Garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. O objetivo 06 está intimamente relacionado com a temática do presente trabalho, pois refere-se aos direitos fundamentais de acesso à água e ao saneamento e foram base para a formulação do Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, o objetivo tem por meta “Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos” (Vieira, 2021).

Diante disso, pode-se afirmar que o presente trabalho é relevante no contexto atual, sendo que propõe um tratamento alternativo, economicamente viável e de simples implantação e manutenção, facilitando o acesso ao saneamento, possibilitando uma destinação adequada às águas residuais de residências na Cidade de Aracaju/SE, alinhando-se com o objetivo sexto dos ODS que visa alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos.

Para uma meta se tornar mais sensível a análise, é interessante a criação de indicadores para melhor acompanhar a evolução, no caso do objetivo 6, o Brasil estipulou que até 2030, irá melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reúso seguro localmente. De acordo com a publicação realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2019, a proporção de águas residuais tratadas de forma segura e a proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental são indicadores.

Quadro 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Ordem	Objetivo
01	Erradicação da pobreza
02	Fome zero e agricultura sustentável
03	Saúde e bem-estar
04	Educação de qualidade
05	Igualdade de gênero
06	Água limpa e saneamento
07	Energia limpa e acessível
08	Trabalho decente e crescimento econômico
09	Inovação infraestrutura
10	Redução das desigualdades
11	Cidades e comunidades sustentáveis
12	Consumo e produção responsáveis
13	Ação contra a mudança global do clima
14	Vida na água
15	Vida terrestre
16	Paz, justiça e instituições eficazes
17	Parcerias e meios de implementação

Fonte: Estrategiaods.org.br

2.2 Água e Saneamento

Sobre a distribuição da água no mundo, é sabido que apenas 3% de todos os recursos hídricos existentes no planeta são de água doce adequada para consumo, desta fração disponível a maior parte é encontrada em lençol freático e nas geleiras. No território brasileiro está a maior

reserva mundial de água potável, com aproximadamente 12% do montante total, mesmo diante deste cenário, a acessibilidade a este recurso natural tão importante é dificultada devido a concentração distinta das quantidades de água e suas respectivas localizações geográficas.

Quadro 2. Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica no Brasil

Região	Densidade demográfica (hab/km²)	Concentração dos recursos hídricos do país (%)
Sul	48,58	6,5
Sudeste	86,92	6
Centro-Oeste	8,75	15,7
Nordeste	34,15	3,3
Norte	4,12	68,5

Fonte: Adaptado de IBGE/ANA (2010)

A maneira que ocorre a distribuição de água potável para a população pode ser utilizada como medida básica de saúde pública, e um dos grandes desafios são as falhas que podem ter no tratamento deste recurso ou a ausência do mesmo. A falta de tratamento de efluentes adequado faz com que poluentes sejam jogados diretamente na água ou processados em tanques sépticos desregulados, com graves consequências para a qualidade dos recursos hídricos, bem como para o bem-estar de toda a população.

De acordo com dados conferidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no ano de 2022 a taxa de perda de água pela distribuição foi de 57,6% (SNIS 2023), o que representa um desperdício proporcional a quase metade de todo recurso hídrico tratado que chegou a ser distribuído para a população. No ano de 2021, esta taxa de desperdício foi de 48,4% (SNIS 2022).

Ao se trabalhar a temática saneamento básico, discorreremos o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, de acordo com a Lei 11.445/07. O acesso a água de qualidade é um desafio atual, de grande relevância para o desenvolvimento das cidades, e um dos grandes entraves encontrados quando se fala em saneamento básico de acordo com Gadelha *et al.*. (2021) é a falta de

comprometimento das autoridades que tem como dever gerenciar problemas de saúde pública e a carência de conhecimentos por parte significativa das pessoas quanto aos princípios básicos de higiene.

Estes fatores atuam diretamente para que doenças como leptospirose, esquistossomose, etc, já combatidas em tempos passados retornem e passem a ser um problema atual. Em 2022, segundo informações disponibilizadas pelo SNIS (2023), o consumo médio por dia equivale a 148,2 l/hab./dia. E na mesma publicação informa que o índice de atendimento total de abastecimento de água potável foi de 84,9%. Porém, quando analisados os dados referentes ao esgotamento sanitário, temos que os números são inferiores, tendo índice nacional de 56%.

2.3 Parâmetros de qualidade da água

O efluente que não recebe tratamento é uma das principais fontes poluidoras de corpos hídricos no território brasileiro. Afetando diretamente a qualidade da água, comprometendo o equilíbrio do meio ambiente e sendo ameaça a seres vivos que habitam o meio aquático. Explicando todo esse impacto partindo do ponto em que as bactérias que decompõem a matéria orgânica dos efluentes em ambientes naturais demandam considerável quantidade do Oxigênio Dissolvido (OD) na água. Quando há redução do oxigênio implica na mortandade de peixes e proliferação de algas devido ao quantitativo de nutrientes. Ao se trabalhar com efluentes, é indispensável analisar os padrões e condições para lançamento de efluentes em corpos receptores hídricos, determinados pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº430 de 13/05/2011.

No art. 16 da referida lei, está descrito que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) 5 dias a 20 °C: a remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Podendo assim concluir que quanto menor a DBO, melhor a condição da água. Tais condições estão relacionadas às classes de qualidade dos corpos hídricos pela presente resolução, que contempla a garantia de usos múltiplos, dentre o principal o abastecimento público.

Quadro 3. Classificação de corpos d'água para abastecimento segundo CONAMA n°357/2005

Classe Especial	Desinfecção
Classe 1	Tratamento simplificado.
Classe 2	Tratamento convencional.
Classe 3	Tratamento convencional ou avançado.
Classe 4	Não recomendada para abastecimento humano.

Fonte: CONAMA,2005.

A seção II, fala das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, devendo-se considerar o pH entre 5 a 9; temperatura: inferior a 40°C, materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff, ausência de materiais flutuantes; e DBO 5 dias a 20°C: remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

2.4 Reúso de águas

Diante da grande demanda por água para execução de atividades cotidianas e sobrevivência de todos, a busca por maneiras alternativas para aquisição deste recurso se torna indispensável. Dentro das possibilidades, o reúso das águas geradas no ambiente doméstico e comercial pode-se ser considerado e justifica-se o empenho em estudos para melhor entender como explorar bem esta alternativa.

É entendido como água residual, aquela que é proveniente do reaproveitamento direto ou indireto de águas que já foram utilizadas ao menos uma vez. De acordo com Moraes *et al.* (2015), a água de reúso é determinada pela reutilização, estas provenientes de efluentes tratados. Analisando a temática de efluentes, encontramos os oriundos das atividades domésticas que originam as águas cinzas, e os provenientes do vaso sanitário, conhecidos como águas negras, que em sua constituição apresentam atividade biológica e material fecal.

Nas atividades rotineiras, podemos citar água do banho dos moradores, da lavagem de roupa, limpeza dos pratos e utensílios de cozinha de modo geral. Em seu trabalho, Hespanhol (2008) explica a existência de águas cinzas escuras e claras, a diferença é explicada de acordo

com presença ou ausência de materiais flutuantes como gorduras e detergentes, onde as águas cinzas claras não possuem água provenientes das pias de cozinha.

Com a técnica de reúso é possível a diminuição de poluição com lançamentos de águas cinzas não tratadas, que podem contaminar o meio ambiente, bem como visa aproveitar o recurso que já está disponível, que com tratamento adequado pode suprir a demanda diária de água dentro das atividades da população, sendo um potencial solução para tratar a problemática da escassez hídrica. A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 13969/97 apresenta parâmetros que devem ser observados visando assegurar a saúde segurança e viabilidade técnica na construção de tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.

Quadro 4. Grau de tratamento para uso múltiplo de esgoto tratado, segundo NBR 13969/97

CLASSE	INDICAÇÃO DE USO	PARÂMETROS
CLASSE 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
CLASSE 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.
CLASSE 3	Reúso nas descargas dos vasos sanitários.	Turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL.
CLASSE 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: ABNT, 1997.

No ano de 2020, ocorreu a alteração da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas pluviais e de reúso das águas servidas. Foi realizada tal mudança no intuito de impor às prestadoras do serviço de abastecimento de água a adoção de medidas destinadas à redução de perdas e aumento da eficiência do sistema de distribuição de água e determina à União, no âmbito da Política Nacional de Saneamento Básico, a adoção de estímulos para uso de águas pluviais e de

reúso de águas servidas em novas edificações, atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais.

2.5 Evapotranspiração de referência

Para o entendimento do ciclo da água, o estudo da evapotranspiração é essencial, uma vez que é por meio desse processo que uma grande quantidade de água retorna para a atmosfera, afetando a umidade atmosférica, o balanço hídrico de microbacias e o desenvolvimento de culturas. O termo evapotranspiração de referência (ET_o) foi definido por Thornthwaite (1948) como a perda de água de uma extensa superfície vegetada, de porte rasteiro, em fase de desenvolvimento ativo e sem limitação hídrica. Para manejo de água e gestão de recursos a ET_o é um elemento climático de fundamental importância.

Para obtenção é feita coleta em estações que medem e registram dados de temperatura do ar, na ausência destes equipamentos Costa (1985), Cavalcanti e Silva (1994) desenvolveram equações empíricas para estimar a temperatura máxima, mínima e média do ar para toda a região Nordeste do Brasil. Nos processos fisiológicos a temperatura do ar é, dentre as variáveis meteorológicas, a que tem maior efeito direto e significativo.

No quadro abaixo temos a estimativa de evapotranspiração de referência mensal de Aracaju, apresentada no XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza - Ceará por Costa e Medeiros (2004), onde os meses de agosto e setembro apresentam os menores valores de ET_o, enquanto os meses de março e abril os maiores valores.

Quadro 5. Evapotranspiração de referência Aracaju – 2004

Meses	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANUAL
Eto	149,7	155,4	150	141,4	140,9	133,9	125,3	124,5	131,5	139,2	141,6	1672,0

Fonte: Adaptação de Medeiros; Costa (2004)

O município de Aracaju, localizado no estado de Sergipe, está inserido na mesorregião do Leste Sergipano. Caracterizado pelo clima úmido, com regime pluviométrico do tipo mediterrâneo, definindo-se um período seco de primavera-verão e um período chuvoso de outono-inverno. De acordo com (Diniz *et al.*, 2018), a temperatura média anual é de 26,3 °C, enquanto a pluviosidade média anual é de 1300,2 mm.

A energia luminosa incidente na região de Aracaju, onde está situada a residência, é considerada alta em função das elevadas medidas de radiação solar diária e do elevado fotoperíodo. A radiação é a energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética, enquanto o fotoperíodo é o intervalo de tempo entre o nascimento e o ocaso do Sol. Assim, na prática, para ambas as variáveis meteorológicas, quanto maior forem seus valores, maior será a taxa de evapotranspiração da vegetação.

2.6 Tecnologia Social

O conceito de tecnologia social pode ser entendido como uso de ferramentas tecnológicas para solucionar problemas sociais, podendo reduzir as desigualdades com o diálogo entre os saberes científicos e populares criando produtos que acabam se tornando imprescindíveis de tão adequados para uma sociedade. Estas soluções vêm da resolução de problemáticas no âmbito da educação, energia, moradia, recursos hídricos, meio ambiente, etc.

Segundo publicação da Fundação Banco do Brasil (2017), as Tecnologias Sociais aliam os saberes populares, organização social e conhecimento técnico-científico, sendo efetivas e reaplicáveis, propiciando desenvolvimento social em escala.

Tem como base a disseminação de soluções para problemas voltados a demandas de renda, trabalho, educação, conhecimento, cultura, alimentação, saúde, habitação, recursos hídricos, saneamento básico, energia, ambiente, igualdade de raça e gênero, dentre outras, importando essencialmente que sejam efetivas e reaplicáveis e promovam a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida das populações em situação de vulnerabilidade social.

2.7 Tanque de evapotranspiração

O funcionamento do tanque de evapotranspiração envolve a construção de um reservatório impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies caracterizadas por possuírem crescimento rápido e alta demanda por água. À medida que a água negra é introduzida no sistema, ela passa por processos de decomposição e filtração, enquanto as plantas absorvem a água e liberam a umidade de volta para a atmosfera através da transpiração. Esse método não só ajuda na redução do volume de efluentes, mas também contribui para a recuperação de nutrientes, promovendo um ciclo sustentável.

Cada projeto é dimensionado para uma unidade familiar, de acordo com (EPA, 2000); e (Larsson, 2003) sistemas plantados para tratamento de esgotos são comuns em diversas partes do mundo. Um fator que deve ser considerado, é que para tratamento de águas negras, contendo alta concentração de patógenos, grande carga orgânica, os sistemas que já existem necessitam possuir um pré-tratamento para a redução de matéria orgânica e sólidos, bem como possuir sistema pós-tratamento para eliminação dos possíveis excessos de nutrientes e patógenos, antes de lançar em solo ou em corpos de água.

O TEvap pode ser utilizado como sistema mais simplificado, pois funciona como uma câmara de digestão anaeróbia em sua parte inferior, e como um banhado construído de fluxo subsuperficial, nas suas camadas intermediárias e superior. Pode-se afirmar que é possível diminuir a necessidade de pós-tratamento do efluente, devido seu dimensionamento ser para que o efluente seja totalmente absorvido pelas plantas.

2.8 Cultura da banana

A bananeira (*Musa spp.*) é uma planta tropical de grande importância econômica e alimentar, de acordo com a EMBRAPA unidade de mandioca e fruticultura, é a fruta mais consumida in natura. Seu cultivo requer atenção a diversos fatores agrônômicos para garantir produtividade e qualidade dos frutos. É caracterizada por possuir alta demanda hídrica devido ao seu sistema foliar extenso e à transpiração significativa. A quantidade de água necessária varia conforme as condições climáticas, tipo de solo e estágio de desenvolvimento da planta. Em geral, estima-se que a cultura necessite de aproximadamente 1.200 a 2.200 mm de água por ano, distribuídos de forma regular.

A irrigação adequada é crucial, especialmente em regiões com distribuição irregular de chuvas, para evitar estresses hídricos que possam comprometer o desenvolvimento e a produção da planta. O nitrogênio é um nutriente essencial para seu crescimento, sendo absorvido principalmente na forma de nitrato (NO_3^-). A adubação nitrogenada deve ser equilibrada, pois tanto a deficiência quanto o excesso podem ser prejudiciais.

O acúmulo excessivo de nitrato no solo pode levar à lixiviação, contaminando lençóis freáticos e representando riscos ambientais. Além disso, em condições anaeróbicas, o nitrato pode ser convertido em nitrito (NO_2^-), que é tóxico para as plantas e pode interferir na absorção de outros nutrientes. Portanto, é fundamental monitorar os níveis de nitrato e nitrito no solo e ajustar as práticas de adubação conforme necessário.

A cultura da bananeira (*Musa spp.*) é sensível a alguns elementos que, em concentrações elevadas, podem causar toxicidade. Por exemplo, o excesso de cloro (Cl^-) pode levar a sintomas de queima nas bordas das folhas e redução no crescimento. É importante realizar análises regulares do solo e da água de irrigação para identificar e mitigar possíveis problemas de toxicidade.

Em relação a realização de análises de solo, é importante solicitar a realização de análises químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, MO, e os cálculos de soma de bases - SB e capacidade de troca catiônica - CTC) e físicas (granulometria, capacidade de campo e ponto de murchamento permanente). O potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais absorvidos e os que mais participam de funções essenciais ao crescimento e à produção da planta.

Segundo a Embrapa, a precipitação ideal para o cultivo da banana é de 1.900 mm anuais, distribuídos de forma regular ao longo do ano, com valores mensais entre 100 e 180 mm. A deficiência hídrica pode levar ao amarelecimento das folhas, formação de cachos menores e frutos de qualidade inferior.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) reforça a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis, incluindo o manejo adequado da irrigação e da fertilização, para garantir a produtividade e a qualidade dos frutos, além de minimizar impactos ambientais. Implementando práticas de monitoramento ambiental para avaliar a qualidade do solo e da água, pode-se garantir que os níveis de nutrientes e possíveis contaminantes fiquem dentro dos padrões recomendados.

3. METODOLOGIA

3.1 Base metodológica

Trata-se de uma pesquisa de natureza básica que visa gerar novos conhecimentos úteis para o progresso científico, é dedicada à geração de conhecimento para solução de problemas específicos. A pesquisa é descritiva, exploratória e explicativa, com abordagem quantitativa.

O presente trabalho baseia-se em uma abordagem empírica caracterizada por visitas de campo, coletas e monitoramento de um tanque de evapotranspiração implantado em uma unidade familiar localizada em um condomínio fechado na cidade de Aracaju/SE. O estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do sistema no tratamento de efluentes domésticos, considerando parâmetros físico-químicos e microbiológicos, conforme diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/2005.

O modelo a ser desenvolvido está baseado no tratamento de esgoto domésticos por meio do uso de fossas sépticas (EMBRAPA, 2014 e seguindo as Normas Brasileiras vigentes). Diante do déficit sanitário, as soluções alternativas para o tratamento do esgoto, baseadas em sistemas simplificados, encontram grande aplicabilidade e têm apresentado vantagens sobre os sistemas convencionais. Na literatura é possível analisar diversas opções de fossas sépticas, como por exemplo o sistema da fossa séptica biodigestora, que funciona sobre um processo de biodigestão anaeróbia.

Para que isso ocorra, as caixas são vedadas, não havendo assim problemas com insetos e animais, é esperado que não possua odor. Assim, conclui-se que a fossa séptica biodigestora é um sistema de tratamento ambientalmente favorável. Como inconveniente, um sistema de tratamento auxiliar para tratamento do restante do esgoto doméstico deve ser realizado. Um sistema auxiliar, que contempla esse tratamento, foi desenvolvido com a denominação de “jardim filtrante” (Leonel; Martelli; Da Silva, 2013).

Esse sistema tem como objetivo dar destino adequado à chamada “água cinza”, proveniente de pias, tanques e chuveiros. O que para o local onde se pretende instalar o projeto piloto se torna interessante, uma vez que possui considerável criação de águas cinzas e precisa de uma destinação adequada. Diante da carência de serviços de saneamento básico para a população e viabilização do reúso de esgotos domésticos, a Embrapa Instrumentação desenvolveu um sistema de tratamento denominado “Fossa Séptica Biodigestora” com o objetivo de substituir, a um custo acessível, o uso de fossas rudimentares e utilizar o efluente produzido como adubo orgânico (Novaes *et al.*, 2002).

O tanque de evapotranspiração avaliado foi projetado para atender a demanda de 1 casa, sendo esta casa utilizada por 2 pessoas em caráter permanente e 14 pessoas por 02 dias na semana. Seguindo as seguintes etapas em sua construção:

- Câmara Anaeróbia

A chegada do efluente sanitário se dá na câmara anaeróbia, onde inicia o processo de separação dos sólidos através de decantação, além de, iniciar o processo de decomposição da matéria orgânica e quebra do sólido, devido à proliferação de bactérias.

- 1° Camada - Cascalho ou Brita n° 4

Nesta fase, o efluente sofre a ação das bactérias anaeróbias, quebrando os sólidos e transformando-o em macronutrientes. O processo de fermentação realizado pelas bactérias neste ponto é semelhante ao processo de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

- 2° camada - Brita 3/4

Ainda acontece nesse estágio, porém com menor incidência, a fermentação do efluente, servindo também essa camada como filtro, acendendo até a manta geotêxtil para que após esta venha entrar em contato com a areia.

- 3° Camada - Areia

Nesse ponto, além de servir como material filtrante mais fino, o efluente tratado é elevado por percolação até a camada superior onde estão concentradas em maior intensidade as raízes das plantas, que farão a captação desse efluente tratado e dispersam na atmosfera por evapotranspiração.

- 4° Camada – Solo fértil

Esta tem a função de servir como suprimento e fornecedor de nutrientes para as plantas até que estas os obtenham do efluente quando da elevação do seu nível.

A comparação entre as diferentes camadas do sistema permite avaliar o desempenho do tanque na retenção e transformação dos poluentes. Além disso, os resultados obtidos são comparados com dados de literatura e recomendações da Resolução CONAMA 357/2005. No dimensionamento, após estudos, usou-se o que foi recomendado em práticas para evitar o seu transbordamento e permitir a proliferação e ação das bactérias no sistema.

Adotou-se 2m³ por pessoa que reside em caráter fixo no imóvel, ou seja, presente durante 7 dias da semana. Para aqueles ocupantes temporários, que não frequentam regularmente o imóvel e fazem uso de suas instalações apenas em dias específicos, dividiu-se cada ocupante pelo número de

dias em uma semana, multiplicando pela quantidade de dias que estes fazem uso, aplicando para este resultado o fator multiplicador de 2m^3 citado anteriormente.

A população para este dimensionamento foi obtida através de informação do usuário, atendendo assim suas reais necessidades para que obtivesse e mantivesse os princípios de economicidade e de segurança, não desprezando nenhum desses fatores. Todo o projeto construtivo foi realizado pela empresa Íandere engenharia sustentável. Os cálculos foram realizados pelo engenheiro civil Júlio César Santos Melo.

Memorial de Cálculo

N (número de ocupantes fixos) – 2 pessoas

Nt (número de ocupantes temporários) – 14 pessoas

t – Tempo que os ocupantes temporários permanecem no imóvel durante o período de 1 semana (dias) – 2 dias

$$V_{\text{CALCULADO}} = (N + (Nt \div 7 \times t)) \times 2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CALCULADO}} = (2 + (14 \div 7 \times 3)) \times 2 \text{ m}^3 = 16,00 \text{ m}^3$$

Memorial de evapotranspiração

Elaborado para definir a quantidade de indivíduos da população de bananeiras, conforme sua demanda hídrica, tendo como objetivo fornecer subsídios para calcular a capacidade evapotranspirométrica da fossa ecológica TEvap. Todo o memorial de cálculo relacionado a (ETo) foi realizado pela empresa Íandere engenharia sustentável, em sua fase de implantação, sob responsabilidade do Eng. Civ. Júlio César Melo e Eng. Ftal, Dr. Igor Pinheiro da Rocha.

Memória de Cálculo

- Evapotranspiração de Referência (ETo)

A evapotranspiração de referência (ETo) para o município de Aracaju (Tabela 01) foi determinada pela equação de Penman-Monteith-FAO (Equação 1), com dados disponibilizados pelo INPE/CPTEC.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (\text{Equação 1})$$

- Evapotranspiração da Cultura e Coeficiente de cultivo

O coeficiente de cultura (Kc) é determinado para o espaçamento padrão de 3 x 3 m entre indivíduos, ou seja, cada indivíduo ocupando área igual 9 m², e varia de acordo com as fases fenológicas e seus valores para a banana (*Musa spp.*) são 0,4, 0,7, 1,0, 0,9 e 0,75 nas fases inicial, de desenvolvimento, intermediária, final do ciclo e colheita, respectivamente (Doorenbos; Kassan, 1994) (Quadro 06).

Quadro 6. Coeficiente de cultivo e demanda de evapotranspiração diária e mensal da cultura da bananeira, com espaçamento 3x3m, para o município de Aracaju/SE

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KC(1 e 2 ANO)	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	1,1	1,1	0,9	0,80
Demanda(l/m ² /mês)	59,88	62,16	67,5	70,7	84,48	93,73	106,51	124,5	144,65	152,02	125,64	113,28
Demanda(l/m ² /dia)	2,0	2,01	2,25	2,28	2,73	3,35	3,44	4,15	4,67	5,07	4,05	3,65
KC (3 ANO)	0,85	0,90	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,90	0,85	0,80	0,75	0,80
Demanda(l/m ² /mês)	127,25	139,86	165	155,54	154,88	147,29	137,83	112,05	111,78	110,56	104,7	113,28
Demanda(l/m ² /dia)	4,24	4,51	5,5	5,02	5	5,26	4,45	3,74	3,61	3,69	3,38	3,65

Fonte: Adaptação (Doorenbos; Kassan,1994)

- Cálculo da capacidade evapotranspirométrica da fossa.

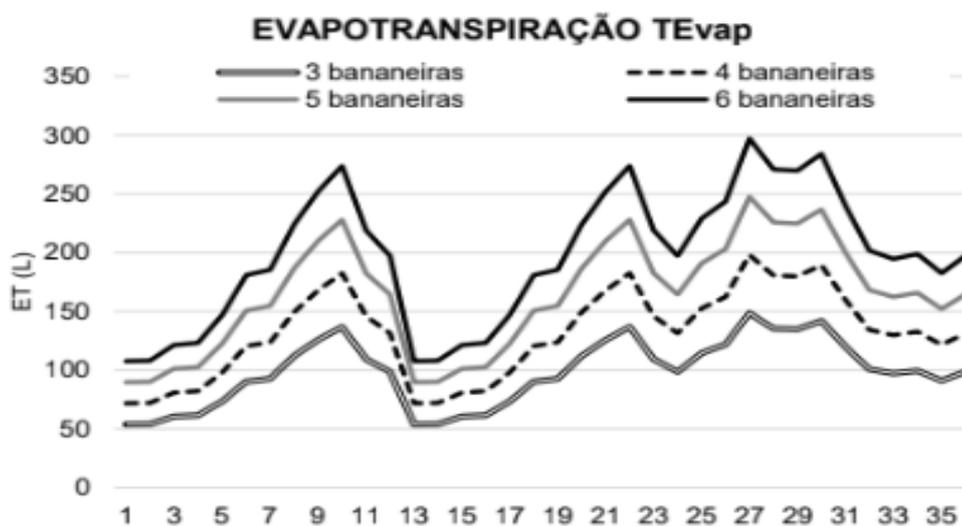
Considerando que os valores calculados na tabela 02, foram estabelecidos para a situação de 1 (uma) bananeira ocupando 9 m², multiplica-se o valor encontrado como demanda por 9 para conhecer a capacidade evapotranspirométrica de um indivíduo da espécie. Assim, multiplicando este último valor pelo número de indivíduos a serem recomendados para a fossa, tem-se a capacidade evapotranspirométrica da fossa, conforme o ciclo da cultura, Quadro 07 e figura 02.

Quadro 7. Consumo hídrico da TEvap com 6 (seis) bananeiras (*Musa spp.*) durante o ciclo da cultura

Mês de desenvolvimento	1 e 13	2 e 14	3 e 15	4 e 16	5 e 17	6 e 18	7 e 19	8 e 20	9 e 21	10 e 22	11 e 23	12 e 24
Consumo (1 a 2 ANO)(L)	107,78	108,28	121,5	123,15	147,16	180,77	185,52	224,1	251,97	273,64	218,86	197,33
Mês de desenvolvimento	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Consumo (3 ANO)(L)	229,04	243,63	297	270,94	269,79	284,06	240,09	201,69	194,7	199,01	182,38	197,33

*Considerando o mês de setembro como o mês de plantio

Figura 2. Evapotranspiração diária do TEvap em Aracaju (Litros por dia), de acordo com a população de bananeiras implantada



Ciclo de *Musa spp.* (meses)

3.2 Localização da área de estudo

O local onde está instalado o projeto piloto encontra-se em um condomínio residencial, situado na Rodovia dos Náufragos, Zona de Expansão da cidade de Aracaju - SE. O sistema foi projetado para operar a partir do ano de 2028, simultaneamente foram construídas 75 unidades no estado de Sergipe. A respeito da cultura da banana, durante a condução do experimento observou-se a inexistência de frutos, impossibilitando a análise microbiológica dos mesmos.

Figura 3. Local de implantação do projeto piloto



Fonte: Foto da autora, 2024.

No ano de 2022, a população da cidade de Aracaju era de 602.757 habitantes e a densidade demográfica era de 3.308,89 habitantes por quilômetro quadrado, de acordo com o Censo do IBGE (2022). Apresenta 87,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 56,6% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 55,4% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio).

A classe de solo que apresenta maior abrangência geográfica no município de Aracaju é a do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Eutrófico, antes conhecida como Podzol Vermelho-Amarelo, com ocorrências secundárias dos Neossolos Quartzarênicos e Flúvio Eutrófico, e o Gleissolos Sálícos (Araújo, 2006).

3.3 Procedimentos e técnicas

3.3.1 Registro fotográfico da etapa construtiva do sistema

Figura 4. Construção do Tevap



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

Figura 5. Construção do Tevap



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

Figura 6. Impermeabilização do sistema e preenchimento



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

Figura 7. Impermeabilização do sistema e preenchimento



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

3.3.2 Preparo do plantio

Figura 8. Camada de solo fértil



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

Figura 9. Camada de solo fértil



Fonte: Âandére Engenharia Sustentável

Figura 10. Plantio bananeiras (*Musa spp.*)



Fonte: Îandére Engenharia Sustentável

Figura 11. Espaçamento entre plantas (*Musa spp.*)



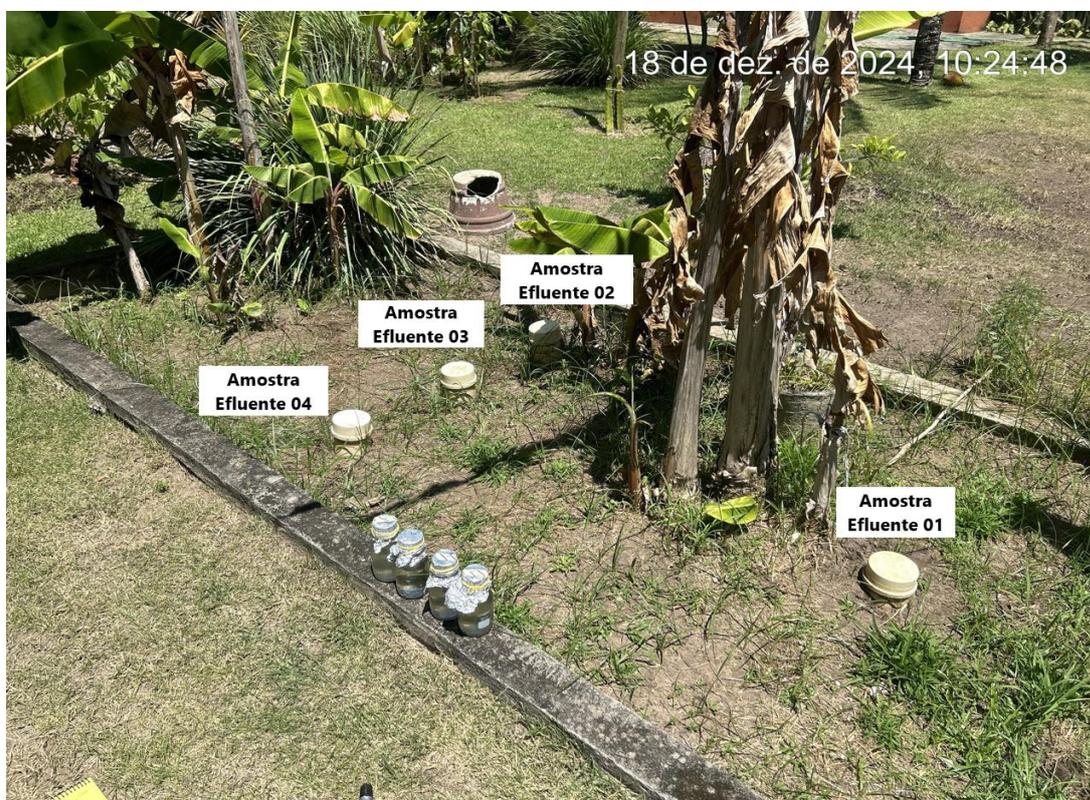
Fonte: Îandére Engenharia Sustentável

3.3.3 Efluentes

O presente sistema é composto por 4 camadas como descrito anteriormente, sendo a amostra 01 o efluente bruto; amostra 02 tubo para coleta nível camada cascalho, amostra 03 efluente em contato com camada em nível de área, e a amostra 04 efluente em contato com a camada de brita $\frac{3}{4}$. No dia 18 de dezembro de 2024 foi coletada uma amostra de cada efluente para realização de análise. Importante salientar que os resultados obtidos nessa pesquisa retratam o cenário de verão que é caracterizado por período seco.

Observa-se pela figura 12, a inexistência de um cercamento do sistema TEVAP. A proteção física seria fundamental para evitar possíveis interferências de animais e seres humanos.

Figura 12. Local de coleta dos efluentes analisados



Fonte: Imagens Ana Santos, 2024.

Foram utilizados 4 recipientes esterilizados, fornecidos pelo Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), onde foram coletados os efluentes por meios dos tubos de coleta de amostras, enchendo o recipiente coletor até transbordar. O procedimento de curetagem das amostras iniciou-se às 10:24h e logo após levou-se o material para o laboratório do ITPS, respeitando o tempo estimado de vida dos microrganismos objetos da análise.

Figura 13. Recipientes de coleta dos efluentes analisados



Fonte: Imagens Ana Santos 2024.

Relatório 4971/24, amostra dos efluentes 01 e 02, contendo cada recipiente de vidro aproximadamente 300 ml de efluente, com descrição de preservação acetato de Zinco, hidróxido de sódio e refrigeração, onde foi solicitado ensaio microbiológico para quantificação de Coliformes Termotolerantes, NMP/100ml, Escherichia Coli. E relatório 5190/2024, amostra dos efluentes 03 e 04 contendo cada recipiente de vidro aproximadamente 300ml de efluente, com descrição de preservação acetato de Zinco, hidróxido de sódio e refrigeração, onde foi solicitado ensaio microbiológico para quantificação de Coliformes Termotolerantes, NMP/100ml, Escherichia Coli.

Pelo projeto, amostra número 03 do efluente em contato com camada em nível de área, onde o efluente está mais próximo da camada de solo fértil que serve de sustentação para as bananeiras, logo foi coletado amostra do efluente 03 para realização de análise química, realizando ensaio Fosfato Reativo Solúvel (RBLE), pelo método SMEWW, 2023, 4500-P E, realizado no dia 24 de janeiro de 2025.

Na mesma coleta do ensaio de número 0324/25-2 foram analisados pH pelo método SMEWW, 2023, 4500 H+ B, Salinidade pelo método SMEWW, 2023, 2520 B, Nitrogênio - Nitrato pelo método SMEWW, 2023, 4500-NO3 C, Nitrogênio - Nitrito pelo método SMEWW, 2023, 4500-NO2 B, Sólidos Sedimentáveis pelo método SMEWW, 2023, 2540 F, Nitrogênio - Amoniacal N NH3 pelo método SMEWW, 2023, 4500-NH3 F, Classificação da Salinidade

pelo método Conama 357/2005, art. 2º e DBO (Método respirométrico) pelo método SMEWW, 2023, 5210 D.

Ainda no dia 24 de janeiro de 2025, foi coletada amostra de solo indefinida da camada de solo fértil, sob número 0323/25-01 com solicitação considerando os parâmetros necessários para nutrição da cultura da banana.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Quantificação de coliformes totais e termotolerantes

As análises feitas tiveram como base a técnica de fermentação em tubos múltiplos, também chamada técnica do Número Mais Provável (NMP/100 mL) (Cetesb, 1997). A Resolução CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - Nº 20, de 18 de junho de 1986, publicada no D.O.U. de 30/07/1986, estabelece que para águas de classe 2 (utilizada para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas), a concentração de coliformes fecais não deve exceder o limite de 1000/100 mL. Sendo esta informação parâmetro para avaliar o projeto.

Quadro 8. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 1

Amostra	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE - EFLUENTE 1		Código	4971/24-	Coleta	18/12/24
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio	
Coliformes Termotolerantes	>1,6 X 10⁶	NMP/100mL	1,8	SMEWW,	18/12/24	
Escherichia Coli	>1,6 X 10⁶	NMP/100mL	1,8	SMEWW	18/12/24	

Fonte: ITPS - 2024

Quadro 9. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 2

Amostra	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE - EFLUENTE 2		Código	4971/24-	Coleta	18/12/24
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio	
Coliformes Termotolerantes	9,4 X 10⁴	NMP/100mL	1,8	SMEWW,	18/12/24	

Escherichia Coli	4,9 X 10⁴	NMP/100mL	1,8	SMEWW	18/12/24
------------------	-----------------------------	-----------	-----	-------	----------

Fonte: ITPS - 2024

Os principais parâmetros analisados foram **Coliformes Termotolerantes** e **Escherichia coli (E. coli)**, ambos indicadores da contaminação microbiológica do efluente, onde a amostra 01 (efluente bruto, antes do tratamento) e a amostra 02 (efluente da camada de cascalho, após a filtragem inicial). Os valores da Amostra 01 estão acima do limite de quantificação do método ($>1,6 \times 10^6$ NMP/100 mL), o que indica uma alta carga microbiológica inicial. A Amostra 02 mostra uma redução significativa na concentração de coliformes termotolerantes e E. coli após a passagem pela camada de cascalho, confirmando que o sistema está promovendo uma redução da carga microbiológica.

Figueiredo *et al.*. (2019) encontrou uma remoção de 81%, no ponto coletado na entrada do efluente o valor foi de $4,0 \times 10^7$ de E. coli (NMP 100 mL⁻¹) e no ponto de saída o valor foi de $7,6 \times 10^5$. Referente a eficiência de filtração, a camada de cascalho demonstrou eficiência significativa na redução da carga microbiológica. A redução de 94,12% nos coliformes termotolerantes e 96,94% na E. coli indica que o sistema está funcionando, mas ainda há uma concentração significativa de microrganismos no efluente da segunda amostra. Como o sistema depende de processos naturais e biológicos, é fundamental acompanhar sua eficiência ao longo do tempo, principalmente em períodos de alta carga orgânica.

Quadro 10. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 3

Amostra	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE - EFLUENTE 3		Código	5190/24 -01	Coleta	18/12/24
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio	
Coliformes Termotolerantes	4,6 X 10³	NMP/100mL	1,8	SMEWW, 9221E	18/12/24	
Escherichia Coli	4,6 X 10³	NMP/100mL	1,8	SMEWW 9021G	18/12/24	

Fonte: ITPS - 2024

Quadro 11. Resultado das análises Coliformes Termotolerantes - Escherichia Coli Para os efluentes 4

Amostra	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE - EFLUENTE 4			Código	Coleta	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio	
Coliformes Termotolerantes	>1,6 X 10 ⁶	NMP/100mL	1,8	SMEWW, 9221E	18/12/24	
Escherichia Coli	>1,6 X 10 ⁶	NMP/100mL	1,8	SMEWW, 9021G	18/12/24	

Fonte: ITPS - 2024

A amostra 03 é referente ao efluente em contato com a camada de areia e a amostra 04 efluente em contato com a camada de brita ³/₄, os principais parâmetros analisados foram **Coliformes Termotolerantes e Escherichia coli (E. coli)**, ambos indicadores da contaminação microbiológica do efluente, houve um aumento significativo dos teores de Coliformes Termotolerantes e Escherichia Coli da amostra 03 para a amostra 04. A Amostra 03 apresenta uma concentração menor de coliformes e E. coli, sugerindo que a camada de areia está proporcionando alguma remoção microbiológica. A Amostra 04 apresenta um aumento expressivo da carga microbiológica, indicando possível contaminação cruzada ou ineficiência do meio filtrante de brita para retenção bacteriana.

4.2 Análises químicas do efluente 03

Com base nos resultados apresentados no relatório de ensaios do Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), podemos avaliar a eficiência do tanque de evapotranspiração (fossa ecológica) em relação à qualidade do efluente tratado. Os principais parâmetros analisados foram:

Quadro 12. Resultado das análises Efluente 03

Amostra	EFLUENTE 1/ARACAJU/BANANA AREIA			Código	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	Limites não definidos	LQ	Método	Data do Ensaio
			--		SMEWW, 2023, 4500-	

Fosfato Reativo Solúvel (RBLE)	15,67	mg P-PO4/L		0,03	P E	24/01/25
--------------------------------	--------------	------------	--	------	-----	----------

Fonte: ITPS - 2024

Quadro 13. Resultado das análises Efluente 03

Amostra	EFLUENTE 1/ARACAJU/BANANA AREIA			Código	0324/25-01	Coleta em	22/01/25 11:25
Ensaio	Resultado	Unidade	Limites não definidos	LQ	Método	Data do Ensaio	
pH	7,00	--	--	4-10	SMEWW, 2023, 4500 H+B	22/01/25	
Salinidade	0,6	g/Kg, ‰	--	0,1	SMEWW, 2023, 2520 B	23/01/25	
Nitrogênio - Nitrato	0,546	mg N-NO3/L	--	0,047	SMEWW, 2023, 4500-NO3 C	24/01/25	
Nitrogênio - Nitrito	0,067	mg N-NO2/L	--	0,0082	SMEWW, 2023, 4500-NO2 B	24/01/25	
Sólidos Sedimentáveis	2,00	mL/L	--	0,10	SMEWW, 2023, 2540 F	23/01/25	
Materiais flutuantes	Presença	--	--	--	SMEWW, 2023, 2110 - Aparência (Visual)	23/01/25	
Nitrogênio - Amoniacal N NH3	34,69	mg N-NH3/L	--	0,039	SMEWW, 2023, 4500-NH3 F	28/01/25	
Classificação da Salinidade	Água Salobra	--	--	--	Conama 357/2005, art. 2º	23/01/25	
DBO (Método respirométrico)	93,0	mg O2/L	--	0,1	SMEWW, 2023, 5210 D	22/01/25	

Fonte: ITPS - 2024

1. **pH**: O valor obtido foi 7,00, indicando uma condição neutra, indica que o ambiente dentro do tanque está equilibrado para os processos biológicos e químicos que ocorrem na decomposição da matéria orgânica e na absorção de nutrientes pelas plantas. Isso é um fator positivo, pois valores extremos poderiam afetar a atividade microbiana essencial para a degradação dos compostos presentes no efluente. O valor obtido de pHo é adequado para um efluente tratado, conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

2. **Salinidade**: Foi registrado um valor de 0,6 g/Kg (‰), classificando a água como salobra, de acordo com o artigo 2º da Resolução CONAMA 357/2005. A salinidade registrada

está em um nível relativamente baixo, o que é positivo, pois concentrações elevadas de sais poderiam afetar o desenvolvimento das bananeiras que são utilizadas no sistema. O monitoramento desse parâmetro é importante para evitar o acúmulo excessivo de sais no solo ao longo do tempo.

3. **Nitrogênio Total (formas de nitrogênio):** No CAPÍTULO IV DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES da Resolução CONAMA 357/2005, o valor padrão de Nitrogênio amoniacal total é de 20,0 mg/L. O valor obtido na análise do efluente foi de 34,69 mg/L, um valor elevado, sugerindo que a conversão de amônia para nitrato pode estar limitada, o que pode ser um ponto de atenção para a eficiência do tratamento biológico.

Seguindo as orientações da Resolução CONAMA 357/2005, na TABELA IX - CLASSE 2 - ÁGUAS SALOBRAS PADRÕES PARÂMETROS INORGÂNICOS Valor máximo indicado de Nitrato é de 0,70 mg/L N Nitrito 0,20 mg/L N. Na amostra o valor encontrado de **Nitrato (N-NO₃)**: 0,546 mg/L, um valor relativamente baixo, esses valores indicam que o processo de nitrificação está ocorrendo de forma parcial, com alguma conversão de amônia para nitrato e nitrito. Como o sistema não tem descarte para corpos hídricos, a presença desses compostos não é um problema direto, mas pode influenciar a fertilidade do meio filtrante e a nutrição das plantas.

O valor de **Nitrito (N-NO₂)**: 0,067 mg/L, também em baixa concentração, sugerindo que o sistema não apresenta acúmulo significativo dessa forma intermediária de nitrogênio. A alta concentração de nitrogênio amoniacal pode indicar que o processo de conversão para nitrato está limitado. Isso pode ocorrer devido à baixa oxigenação em algumas partes do sistema ou à insuficiência de bactérias nitrificantes. Contudo, esse nitrogênio pode ser aproveitado diretamente pelas plantas, reduzindo a necessidade de fertilização externa.

4. **Fósforo (Fosfato Reativo Solúvel - P-PO₄)**: 15,67 mg/L, indicando uma alta concentração de fósforo, o que pode sugerir baixa remoção deste nutriente no sistema. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, na TABELA IX - CLASSE 2 - ÁGUAS SALOBRAS PADRÕES PARÂMETROS INORGÂNICOS Valor padrão de Fósforo total indicado é de 0,186 mg/L P.

5. **Sólidos sedimentáveis**: 2,00 mL/L, um parâmetro importante para avaliar a presença de partículas em suspensão que podem afetar a qualidade do efluente. A presença de sólidos sedimentáveis e materiais flutuantes sugere que o sistema pode estar recebendo uma carga de

matéria orgânica acima da capacidade de filtração do meio. Isso pode comprometer a eficiência da evapotranspiração e favorecer odores ou entupimentos em camadas superiores. A Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece padrões de qualidade para corpos d'água, em relação aos sólidos sedimentáveis, define parâmetros apenas para água doce.

No caso do efluente do nosso sistema, o tanque de evapotranspiração é um sistema fechado, no qual o efluente não é lançado diretamente em corpos hídricos, essa comparação serve apenas como um referencial técnico para avaliar a eficiência do tratamento. O valor encontrado (2,00 mL/L) está acima do limite estabelecido para águas de melhor qualidade (classe 1 e 2), indicando uma concentração relativamente alta de sólidos sedimentáveis no efluente tratado.

Em relação a qualidade da filtração o valor de 2,00 mL/L sugere que ainda há partículas suspensas no efluente, o que pode indicar uma retenção parcial pelos meios filtrantes do tanque de evapotranspiração. Dependendo da composição desses sólidos, pode haver necessidade de melhorias no meio filtrante, como ajustes na granulometria das camadas de areia e brita. Sob o aspecto no impacto na Evapotranspiração, o acúmulo de sólidos no sistema pode reduzir a eficiência do processo de infiltração e evaporação da água pelas plantas, especialmente se ocorrer obstrução dos poros nos materiais filtrantes. De maneira geral, o sistema está cumprindo sua função de filtração, mas um refinamento nos processos pode melhorar ainda mais a eficiência do tratamento.

6. Materiais Flutuantes: Foi detectada a presença de materiais flutuantes, o que pode indicar que o sistema precisa de melhorias para evitar o escape de resíduos sólidos. No **CAPÍTULO VI - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES** da Resolução CONAMA 357/2005, é orientada ausência de materiais flutuantes.

7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): A DBO mede a carga orgânica biodegradável presente no efluente. O resultado foi 93,0 mg O₂/L, o que indica uma carga orgânica ainda elevada, indicando que ainda há uma quantidade considerável de matéria orgânica disponível para decomposição biológica. Isso pode ser positivo para a nutrição das plantas e para a manutenção da microbiota do sistema, mas é necessário garantir que o meio filtrante esteja operando de maneira eficiente para evitar o acúmulo excessivo de resíduos.

Rocha (2021) compilou os principais trabalhos que estudaram a eficiência de tratamento utilizando o sistema TEVAP.

Figura 14. os principais trabalhos que estudaram a eficiência de tratamento utilizando o sistema TEVAP

Tabela 1: Resumo de resultados de pesquisas para o TEvap

Fonte	Local de Implantação	Área/hab. e prof.	Plantas	Eficiência do sistema					Principais Resultados e Conclusões
				DQO (%)	DBO (%)	SST (%)	P _{total} (%)	NTK (%)	
Galbiatti (2009)	Urbano - Campos Grande (MS)	2,0 m ² 1,0 m	(<i>Musa cavendishii</i>), (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>), (<i>Canna</i>)	40 ^{(9)*}	80 ⁽⁵⁾	90 ⁽⁹⁾		32 ⁽⁵⁾	1. ovos de helmintos e coliformes termotolerantes no efluente final. 2. coliformes totais, (1,1 x 10 ⁴), nas taiobas. 3. Amostra de solo, distante 3 metros do tanque, foi detectada a <i>Strongyloides stercoralis</i> . 4. O TEvap, tem potencial na composição paisagística.
Pires (2012)	3 ud, Rural - Visconde do Rio Branco, (MG)	2,0 m ² 1,5 m	(<i>Musa paradisiaca</i>) e (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)	95 a 98	95 a 98	97			1. Eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos. 2. Vazamento na parede por rachaduras, técnicas construtivas inadequadas. 3. Coiliformes totais nas folhas de taioba (3,0 NMP g ⁻¹).
Coelho, Reinhardt e Araújo (2018)	70 ud, Rural no semiárido brasileiro	1,5 – 2,0 m ² 1,0 m	(<i>Musa</i>), (<i>Solanum esculentum</i>), (<i>Capsicum chinense</i>) e (<i>Plectranthus amboinicus</i>)						1. folhas e frutos com qualidade sanitária para consumo. 2. Lodo pode ser aplicado como fertilizante após desidratação, frequência de manutenção de 5 anos e 3 meses. 3. TEvap se enquadra no saneamento ecológico.
Rezende (2019)	Rural- Monte Carmelo, (MG)	2,5 m ² 1,0 m	(<i>Lactuca sativa L.</i>), (<i>Eruca sativa L.</i>) e (<i>Raphanus sativus</i>)						1. Presença de coliformes termotolerantes, hortaliças inadequadas para consumo. 2. Tecnologia sustentável, preserva solo e recursos hídricos.
Paulo et al. (2019)	Urbano - Campos Grande, (MS)	2,0 m ² 1,0 m	(<i>Musa cavendishii</i>), (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>), (<i>Canna</i>)	77 ⁽⁹⁾					1. Período de retenção hidráulica de 51 dias. 2. Transbordo, com vazão de entrada maior que 50 L·dia ⁻¹ . 3. Dimensionamento da área (m ²) por morador deve considerar o volume de descarga por morador por dia clima da região.
Figueiredo et al. (2019)	Rural - Campinas, (SP)	1,5 m ² 1,3 m	(<i>Musa sp</i>) e (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)	91 ⁽¹⁷⁾	94 ⁽⁸⁾	99 ⁽¹⁶⁾	58 ⁽⁷⁾	-34 ⁽¹⁶⁾	1. Eficiência em remoção de DBO e DQO, sólidos e turbidez. 2. Satisfação dos moradores pelo sistema. 3. TEvap recicla a água e nutrientes, produz alimento e biomassa, se enquadra no contexto do saneamento ecológico.

* número de amostras, ud - unidade

Fonte: Rocha (2021)

Segundo Rocha (2021):

Os resultados apresentados são satisfatórios e promissores com relação a eficiência de tratamento do sistema. Os três trabalhos apresentaram taxas acima de 90% para remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos suspensos totais (SST), assim como resultado favorável para remoção da demanda química de oxigênio (DQO) com taxas acima de 90%, exceto Galbiati (2009), que apresentou taxa bem abaixo dos outros (40%). Esses valores, quando comparados com a resolução que rege o padrão de lançamento de efluente tratado em corpos d'água, CONAMA 430 (BRASIL, 2011). Apesar desta ser branda, e não estabelecer valores mínimos para diversos parâmetros, os resultados das pesquisas são interessantes.

O sistema analisado nesta pesquisa apresentou resultados similares, demonstrando eficiência no processo de tratamento.

4.3 Resultado análise de solo

Observou-se os efeitos da aplicação do efluente sobre a fertilidade do solo, avaliando a viabilidade de uso como adubo natural e de baixo custo. A análise de solo realizada no local onde as bananeiras estão plantadas trouxe importantes informações sobre a fertilidade do solo e a adequação do meio para o desenvolvimento da cultura, bem como foi possível avaliar se o solo onde as bananeiras estão plantadas está sendo beneficiado pelo tratamento do efluente.

O valor encontrado do pH em água de 5,67 está adequado para a cultura, onde o ideal varia na faixa de 5,5 a 6,5 indicando que o sistema de evapotranspiração não está provocando

acidificação excessiva, a quantidade de matéria orgânica apresenta valor 15,2g/dm³, teor razoável mas abaixo do ideal para a cultura da banana. Isso sugere que o efluente pode estar contribuindo com matéria orgânica, porém ainda não em quantidade suficiente para enriquecer significativamente o solo.

Os valores de Cálcio (Ca), Potássio (K) e Fósforo (P), Saturação por Bases (V%) e Magnésio (Mg) estão muito baixos, precisando realizar correção, com necessidade de adubação fosfatada e realização de calagem.

Isso sugere que, embora o TEvap contribua para o tratamento do efluente e forneça alguns nutrientes, ele pode não estar suprindo adequadamente todas as demandas nutricionais da bananeira. O quantitativo de Sódio (Na) encontra-se dentro do esperado, sem risco de salinização e a CTC (Capacidade de Troca Catiônica) com valor moderado, mas poderia ser maior.

Quadro 14. Resultado da análise do solo

Amostra	ARACAJU-SE/BANANEIRA primeiro ano		Código	0323/25-01	Coleta	22/01/25
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio	
pH em Água	5,67	--	--	H2O	28/01/25	
Matéria Orgânica	15,2	g/dm ³	0,09	WB (colorimétrico)	28/01/25	
Cálcio + Magnésio	2,28	cmolc/dm ³	0,23	MAQS- Embrapa 2009, KCl	28/01/25	
Cálcio	1,52	cmolc/dm ³	0,09	MAQS- Embrapa 2009, KCl	28/01/25	
Magnésio	0,76	cmolc/dm ³	0,21	MAQS- Embrapa 2009, KCl	28/01/25	
Alumínio	<0,08	cmolc/dm ³	0,08	MAQS- Embrapa 2009, KCl	28/01/25	
Sódio	0,335	cmolc/dm ³	--	MAQS-Embrapa 2009, Mehlich-1	03/02/25	
Potássio	0,08	cmolc/dm ³	--	MAQS-Embrapa 2009, Mehlich-1	03/02/25	
Hidrogênio + Alumínio	3,53	cmolc/dm ³	--	SMP	28/01/25	
Sódio	77,0	mg/dm ³	0,38	MAQS-Embrapa 2009, Mehlich-1	28/01/25	

Potássio	32,0	mg/dm ³	1,0	MAQS-Embrapa 2009, Mehlich-	28/01/25
Fósforo	2,7	mg/dm ³	0,8	MAQS-Embrapa 2009, Mehlich-1	28/01/25
pH em SMP	5,9	--	--	MAQS-Embrapa	28/01/25
SB-Soma de Bases Trocáveis	2,70	cmolc/dm ³	--	--	03/02/25
CTC	6,23	cmolc/dm ³	--	--	03/02/25
CTC Efetiva	2,70	cmolc/dm ³	--	Cálculo	03/02/25
PST	5,38	%	--	--	03/02/25
V - Índice de Saturação de Bases	43,3	%	--	--	03/02/25
Saturação por Al (m)	ND	%	--	--	03/02/25
Saturação por Cálcio	24,4	%	--	Cálculo	03/02/25
Saturação por Magnésio	12,2	%	--	Cálculo	03/02/25
Saturação por Potássio	1,28	%	--	Cálculo	03/02/25
Saturação por Hidrogênio	56,7	%	--	Cálculo	03/02/25
Saturação por Sódio	5,38	%	--	Cálculo	03/02/25
Relação Ca/Mg	2,00		--	Cálculo	03/02/25
Relação Mg/K	9,50		--	Cálculo	03/02/25
Relação Ca/K	19,0		--	Cálculo	03/02/25
--Fim de grupo--					
-Recomendação de adubação por cultura-					
Recomendação de Adubação e Calagem por cultura	Banana (argiloso) – Geral	--	--		03/02/25
Calcáreo	1200	Kg/ha	--		03/02/25
Adubação Básica - N – Nitrogênio	280	Kg/ha			03/02/25
Adubação Básica - P ₂ O ₅ – Fósforo	110	Kg/ha			03/02/25
Adubação Básica - K ₂ O – Potássio	350	Kg/ha			03/02/25
Adubação de Cobertura - N - Nitrogênio	-	Kg/ha			03/02/25
Adubação de Cobertura - K ₂ O - Potássio	-	Kg/ha			03/02/25

Fonte: ITPS - 2024

O TEvap é uma solução sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, nesse processo, os nutrientes presentes no esgoto são absorvidos pelas plantas, incorporando-se à biomassa vegetal, enquanto a água é eliminada por evapotranspiração. No entanto, a eficiência do sistema em enriquecer o solo com nutrientes depende de diversos fatores, como a composição do efluente, a taxa de absorção pelas plantas e o tempo de operação do sistema.

O tanque de evapotranspiração demonstra estar contribuindo para manter um pH adequado e evitar a salinização do solo, o que já é um benefício importante. No entanto, o sistema ainda não está fornecendo matéria orgânica e nutrientes em quantidades significativas para melhorar a fertilidade do solo de forma ideal para a cultura da banana. Para potencializar os benefícios do Efluente ao Solo pode-se:

- **Aprimorar a Adubação Orgânica:** Para aumentar o teor de matéria orgânica e melhorar a retenção de nutrientes, recomenda-se o uso de adubação orgânica complementar, como esterco bovino, torta de mamona ou composto orgânico.
- **Monitorar a Evolução da Fertilidade do Solo:** Como o sistema pode levar mais tempo para impactar positivamente a fertilidade, é importante realizar novas análises de solo periodicamente para verificar se os níveis de nutrientes estão melhorando ao longo do tempo.
- **Reforçar a Adubação de Cálcio, Magnésio e Potássio:** A aplicação de calcário e fertilizantes ricos em Ca, Mg e K pode corrigir essas deficiências, tornando o solo mais produtivo para as bananeiras.

Implementando essas medidas, acredita-se que seja possível otimizar o desempenho do sistema de evapotranspiração, promovendo uma melhoria na fertilidade do solo e atendendo às exigências nutricionais da cultura da banana.

Importante a manutenção do monitoramento das variáveis químicas do solo ao longo do tempo, para verificar o momento adequado de renovação do solo propiciando uma maior eficiência na absorção de nutrientes pela cultura.

5. CONCLUSÕES

O solo analisado ainda não apresenta uma fertilidade ideal para a cultura da banana, apesar de alguns benefícios potenciais proporcionados pelo efluente do tanque de evapotranspiração. O sistema parece estar ajudando a manter um pH adequado e evitar a salinização, mas não está enriquecendo o solo de forma significativa em matéria orgânica e nutrientes essenciais. Portanto, o solo pode precisar de suplementação adicional para suprir as deficiências de cálcio, magnésio, potássio e fósforo. Com o tempo, o efeito do efluente tratado pode se tornar mais evidente, especialmente se houver um ajuste no manejo do sistema e na adubação complementar.

O valor de 2,00 mL/L de sólidos sedimentáveis indica que o sistema ainda mantém partículas em suspensão após o tratamento, o que pode influenciar a eficiência do processo de evapotranspiração. Embora não haja lançamento em corpos hídricos, o controle desse parâmetro é importante para garantir o bom funcionamento do tanque e evitar obstruções no meio filtrante. Recomenda-se um monitoramento contínuo para verificar se o acúmulo de sólidos sedimentáveis varia ao longo do tempo e se há necessidade de intervenções no meio filtrante.

O pH e a salinidade estão em níveis adequados para o funcionamento do sistema e para a sobrevivência das plantas, o fósforo em concentração elevada pode favorecer o crescimento das bananeiras, mas um monitoramento contínuo é necessário para evitar acúmulo no substrato. A presença de sólidos sedimentáveis e materiais flutuantes pode indicar a necessidade de um pré-tratamento ou ajuste na entrada do sistema para evitar acúmulos e entupimentos. A carga orgânica medida pela DBO sugere que o sistema ainda tem matéria biodegradável disponível, o que pode ser positivo para o funcionamento do tratamento, desde que seja equilibrado e não gere sobrecarga no meio filtrante.

A abordagem adotada possibilita uma avaliação detalhada da eficiência do tanque de evapotranspiração como alternativa sustentável para o tratamento de efluentes domésticos. Os resultados obtidos podem contribuir para recomendações técnicas sobre o uso desse sistema em unidades familiares, especialmente em áreas com restrições ao lançamento de esgoto em corpos hídricos. O acompanhamento contínuo do desempenho do tanque de evapotranspiração permitirá ajustes necessários para garantir sua eficiência a longo prazo, promovendo um tratamento sustentável e integrado ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional das Águas. Brasil tem cerca de 12% das reservas mundiais de água doce. 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/brasil-tem-cerca-de-12-das-reservas-mundiais-de-a.2019-03-15.1088913117>. Acesso em: 25 jul. 2022
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computation crop water requirements, Rome: FAO, 1998.
- BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A.H.C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; RAMOS, C.M.C.; TARGINO,
- CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em 20 de agosto de 2022.
- COSTA, Cinthia Cabral da; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 51-60, 2014.
- CETESB-COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO. AMBIENTAL. 1997. **Relatório Anual de Qualidade do Ar: Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo**, 1997.
- DANIEL, Omar; COUTO, Laércio; SILVA, Elias; GARCIA, Ramos; JUCKSCH, Ivo; PASSOS, Carlos Alberto Moraes. Alternativa a um método para determinação de um índice de sustentabilidade. Sociedade de Investigações Florestais. **R. Ávore**, Viçosa-MG, v.25, n.4, p. 455-462, 2001.
- DA SILVA, W. T. L.; MARMO, Carlos Renato; LEONEL, L. F. Memorial descritivo: Montagem e operação da fossa séptica biodigestora. 2017.
- DROSTE, R. L. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment . Wiley & Sons. Hoboken, 3ª Ed. 1997. 800 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).

E.L.; MAIA, J.L.T.; FERREIRA, M.N.L. Consumo de água e coeficiente de cultura em bananeira irrigada por microaspersão. Comunicado Técnico 108. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001.

FIGUEIREDO, I. C. S. *et al.*. Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p.115–127, 2019.

FREITAS, Gilson Araújo de *et al.*: Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Natal, 2015.

FRATONI, M. M. J.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; ALMEIDA, L. H. C.; PEREIRA, J. C. R. *Effect of nitrogen and potassium fertilization on banana plants cultivated in the humid tropical amazon*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, p. 1-21, 2017.

GALBIATI, A.F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GODOY, L. J. G. de; NOMURA, E. S.; MORAES, W. da S. *Banana: nutrição e adubação da cultura da banana*. *Informações Agrônomicas*, nº 116, dezembro/2006.

HESPANHOL, Ivanildo. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos avançados**, v. 22, p. 131-158, 2008.

IBGE, 2010. Sinopse do censo demográfico. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=28> Acesso em 20 de agosto de 2020.

IBGE, 2017: Censo Agropecuário. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em 19 de agosto de 2022

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEONEL, Letícia F.; MARTELLI, LF de A.; DA SILVA, Wilson Tadeu Lopes. Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante. In: **III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management**. São Pedro, São Paulo. 2013.

LEI COMPLEMENTAR Nº 175, DE 23 DE SETEMBRO DE 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp175.htm Acesso em: 25 fevereiro 2024.

SOUZA, Claudinei Fonseca *et al.*. Efficiency of domestic wastewater treatment plant for agricultural reuse. **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, p. 587-597, 2015.

ONU. *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 25 jul. 2022.

PAULO, L.P.; BERNARDES, F.S. Estudo de tanque de evapotranspiração para o tratamento domiciliar de águas negras. Belo Horizonte: UFMG, 2004. 10

ROCHA, Gabriel. Tanque de evapotranspiração para tratamentos de efluentes domésticos em zonas rurais. 2020.

RODRIGUES, Raquel dos Santos. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Selma Cristina da; BERNARDES, Ricardo Silveira e RAMOR Maria Lucrécia Gerosa: Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00533.pdf> Acesso em: 18/08/2022

SALATI, Eneida; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico, São Paulo**, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SOBRAL, Ivana Silva.; ALMEIDA, José Antônio Pacheco; GOMES, Laura Jane. **Indicadores de sustentabilidade e ecologia da paisagem:** Planejamento e gestão ambiental em assentamentos de reforma agrária. Novas edições acadêmicas, 2012.

TORRES, D. M.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, J. F.; FREIRE, J.O. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. **HOLOS: Rio Grande do Norte**, v.8, 2019.