



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANAISA GUEDES DOS SANTOS FRANÇA  
RUAN THIAGO DE ALBUQUERQUE CAMPOS BASTOS**

**LEVANTAMENTO DE ALTERNATIVAS NÃO CONVENCIONAIS PARA  
COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO MORRO  
CÓRREGO DA TELHA EM RECIFE - PE.**

**RECIFE**

**2024**

**ANAISA GUEDES DOS SANTOS FRANÇA  
RUAN THIAGO DE ALBUQUERQUE CAMPOS BASTOS**

**LEVANTAMENTO DE ALTERNATIVAS NÃO CONVENCIONAIS PARA  
COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO MORRO  
CÓRREGO DA TELHA EM RECIFE - PE.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientadora: Sália Gavazza Dos Santos Pessoa.

**RECIFE**

**2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

França, Anaisa Guedes dos Santos.

Levantamento de alternativas não convencionais para coleta e tratamento de esgoto doméstico no Morro Córrego da Telha em Recife - PE. / Anaisa Guedes dos Santos França, Ruan Thiago de Albuquerque Campos Bastos. - Recife, 2024. 73 p.

Orientador(a): Sávia Gavazza dos Santos Pessoa

Coorientador(a): Felipe Filgueiras de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Esgotamento Sanitário. 2. Saneamento Básico. 3. Filtro de Areia com Carvão ativado. 4. Círculo de Bananeira. 5. Jardins Filtrantes. I. Bastos, Ruan Thiago de Albuquerque Campos. II. Pessoa, Sávia Gavazza dos Santos. (Orientação). III. Almeida, Felipe Filgueiras de. (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**CURSO GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANAISA GUEDES DOS SANTOS FRANÇA**  
**RUAN THIAGO DE ALBUQUERQUE CAMPOS BASTOS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA CIVIL**

A Comissão orientadora composta pelos docentes abaixo, considera ANAISA GUEDES DOS SANTOS FRANÇA E RUAN THIAGO DE ALBUQUERQUE CAMPOS BASTOS aprovado com nota \_\_\_\_\_.

Recife, 25 de junho de 2024.

---

Sávia Gavazza Dos Santos Pessoa (Orientadora)

---

Felipe Filgueiras de Almeida (Coorientador)

---

“Não nos cansemos de fazer o bem, pois no tempo próprio colheremos se não desistirmos”.

Gálatas 6:9

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me conduzido, capacitado e por ter me ajudado a chegar até o final desta conquista e sei que continuará a me auxiliar para alcançar as demais vitórias que ainda estão por vir.

Sou grata pela minha família e entes queridos que tem me apoiado, auxiliado e me inspirado a sempre persistir em todas as circunstâncias. Agradeço aos amigos que me motivaram durante toda a caminhada e pelos colegas e companheiros de trabalho que me instruíram muito bem e me deram a oportunidade de obter um melhor desenvolvimento e desempenho profissional.

Demonstro minha gratidão aos professores da Universidade Federal que proveram uma elevada qualidade de ensino, pela orientadora Sávvia Gavazza e o coorientador Felipe Filgueiras que nos nortearam com paciência, dedicação e sabedoria. Ademais, nos direcionaram para podermos produzir o presente trabalho com excelência.

Sou agradecida pela cooperação do engenheiro Alessandro Rodrigues e demais integrantes do Projeto Morro de Vontade pela ajuda com os recursos e informações que contribuíram para a elaboração do estudo do Morro do Córrego da Telha, pela Eco-Designer Mariana Godoy, que tem compartilhado um pouco do seu conhecimento e experiências nas visitas técnicas, e pelos funcionários da empresa Phytorestore que nos apresentaram e nos orientaram sobre todo o sistema de operação do Parque do Caiara de Recife.

Por fim, também gostaria de agradecer à minha dupla de TCC, Ruan Albuquerque, pela sua colaboração, amizade, paciência e determinação que me oportunizou compartilhar todos os momentos de estudo, discussões e desafios, os quais, por meio desse vínculo, fortaleceram minhas habilidades e me induzem a ser mais competente e resiliente.

**Anaisa Guedes**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me auxiliado e me capacitado para chegar até essa realização final de um sonho.

Sou grato a meus familiares que estenderam a mão e abriram sua casa para um jovem rapaz que não tinha condições financeiras e de moradia em nossa capital. Esse agradecimento em especial vai para os meus tios Andrea Bastos e Paulo Leopoldino que me acolheram ao longo dessa jornada, sem vocês essa etapa de minha vida não seria possível.

Sou grato aos meus pais que sempre fizeram de tudo para me proporcionarem os melhores momentos e ensinamentos de vida, me mostraram muitas vezes que o mais importante da vida é sermos justos, aplicados e humildes em todas as adversidades que possam surgir ao longo da caminhada. Mãe, a senhora é representação de força de vontade e determinação para continuarmos quando tudo parece difícil, tenho certeza que meu sonho se tornou o seu e essa conquista é nossa. Pai, o senhor é a representação de força para suportarmos as adversidades que ocorrem ao longo da jornada, mesmo assim persistimos e chegamos à reta final.

Gratidão aos meus companheiros de faculdade que ao longo dos anos foram uma base para todas as horas. Sem eles, nada disso seria possível. Também agradeço aos professores da universidade pelos ensinamentos e conversas que foram de muita valia ao longo dessa jornada.

Agradeço a minha noiva, que ao longo dos anos foi uma pessoa sem igual para mim, com seu suporte, carinho, atenção e apoio incondicional quando tudo pareceu tão difícil. Essa realização também vai para você.

Demonstro minha gratidão a nossa orientadora Sávvia Gavazza e o coorientador Felipe Filgueiras que nos presentearam com suas sabedorias e dedicação.

Sou extremamente grato pela cooperação do engenheiro Alessandro Rodrigues e demais integrantes do Projeto Morro de Vontade pela ajuda e troca de informações que foram cruciais na elaboração deste trabalho, pela Eco-Designer Mariana Godoy que nos compartilhou um pouco do seu conhecimento e experiências nas visitas técnicas.

Por fim, também gostaria de agradecer a minha dupla de TCC, Anaisa Guedes, por sua amizade, determinação e apoio na elaboração desse estudo.

**Ruan Albuquerque**

## RESUMO

A ausência dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto é um problema que afeta diretamente a educação, a saúde, a produtividade, a economia, os recursos hídricos e a qualidade de vida da sociedade. Outra importante razão para tratar os esgotos é a preservação do meio ambiente evitando a contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas. A Lei nº 11.445/07 de Saneamento Básico apresenta as diretrizes e seus decretos apresentam os mecanismos, ferramentas em que o saneamento básico deve estar em conformidade. Este estudo teve como objetivo realizar o levantamento de alternativas não convencionais para coleta e tratamento de esgoto doméstico para o Morro Córrego da Telha, localizado no município do Recife – PE. Através das visitas no morro buscou-se avaliar o funcionamento de sistemas para o tratamento alternativo de esgotamento sanitário como filtro de areia com carvão ativado, círculo de bananeiras e também os jardins filtrantes. Através das análises e resultados foi possível realizar um estudo qualitativo, onde foram apresentadas as vantagens e desvantagens da aplicabilidade de cada alternativa não tradicional para a área de estudo. A partir destas informações o método que melhor se apresenta é o jardim filtrante com o sistema coletor condominial, por possuir uma fácil aplicabilidade, manutenção e operação. Para um pré-dimensionamento da alternativa escolhida, ainda serão necessários diversos estudos que contribuirão para a formação de um planejamento eficiente e adequado para a escolha ideal de tratamento para o Morro Córrego da Telha.

**Palavras-chaves:** Esgotamento Sanitário; Saneamento Básico; Filtro de Areia com Carvão ativado; Círculo de Bananeira; Jardins Filtrantes.

## **ABSTRACT**

The absence of sewage collection and treatment systems is a problem that directly affects education, health, productivity, the economy, water resources and society's quality of life. Another important reason to treat sewage is to preserve the environment by avoiding contamination of soil, surface and groundwater. Law No. 11,445/07 on Basic Sanitation presents the guidelines and its decrees present the mechanisms, tools in which basic sanitation must comply. This study aimed to survey non-conventional alternatives for collecting and treating domestic sewage for Morro Córrego da Telha, located in the municipality of Recife – PE. Through visits to the hill, we sought to evaluate the functioning of systems for the alternative treatment of sewage, such as a sand filter with activated carbon, a circle of banana trees and also filter gardens. Through the analyzes and results, it was possible to carry out a qualitative study, where the advantages and disadvantages of the applicability of each non-traditional alternative to the study area were presented. Based on this information, the best method is the filter garden with the condominium collector system, as it is easy to apply, maintain and operate. To pre-dimension the chosen alternative, several studies will still be necessary that will contribute to the formation of efficient and appropriate planning for the ideal choice of treatment for Morro Córrego da Telha.

**Keywords:** Sanitary Sewage; Basic sanitation; Sand Filter with Activated Carbon; Banana Tree Circle; Filter Gardens.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação reuso de Água.....	19
Figura 2 - Etapas Tratamento de Esgoto Sanitário.....	22
Figura 3 - Fossa Séptica Biodigestora.....	23
Figura 4 - Construção de caixa de Coletor Simplificado.....	25
Figura 5 - Esquemas de ramais tipo convencional e condominial.....	26
Figura 6 - Sistema de reuso de águas cinzas com filtro.....	27
Figura 7 - Fluxograma do sistema de filtros de seixo, areia e carvão ativado.....	28
Figura 8 - Filtro composto por seixos, areia e carvão ativado.....	29
Figura 9 - Soluções Sustentáveis de Saneamento, Círculo das Bananeiras.....	30
Figura 10 - Desenhos esquemáticos do sistema de tratamento de águas cinzas do Círculo das Bananeiras.....	31
Figura 11 - Círculo das Bananeiras.....	32
Figura 12 - Esquematização do Jardim Filtrante.....	35
Figura 13 - Exemplo do Jardim Filtrante – Parque do Caiara - Recife.....	35
Figura 14 - Parque do Caiara – Plantas Macrófitas.....	37
Figura 15 - Parque do Caiara – Filtro Vertical (aeróbico).....	37
Figura 16 - Parque do Caiara – Filtro Horizontal (anaeróbico).....	38
Figura 17 - Parque do Caiara – Lagoa Plantada.....	38
Figura 18 - Parque do Caiara – Emissário final.....	39
Figura 19 - Parque do Caiara – Rio Capibaribe.....	39
Figura 20 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	41
Figura 21 - Morro Córrego da Telha – BR 101.....	43
Figura 22 - Rua Alto da Telha – Bairro Passarinho.....	44
Figura 23 - Rua Alto da Telha – Bairro Passarinho.....	44
Figura 24 - Área de projeto.....	45
Figura 25 - Área onde poderá ser estabelecido o Jardim Filtrante – Bairro Passarinho.....	49

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tubulações e Conexões utilizadas na ETE-piloto para uma residência. ....	52
Tabela 2 - Custo de implantação da ETE-piloto para uma residência.....	53
Tabela 3 - Materiais necessários para implantação de um jardim filtrante. ....	56
Tabela 4 - Custo de Implantação de Jardim Filtrante para uma residência. ....	56
Tabela 5 - Indicadores dos 20 melhores municípios. ....	72
Tabela 6 - Indicadores dos 20 piores municípios. ....	73

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Indicadores dos municípios (SNIS) .....	17
--	----

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1 Justificativa e motivação</b>	15
<b>1.2 Objetivos gerais e específicos</b>	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	16
<b>2.1 Panorama do Saneamento Básico</b>	16
<b>2.2 Legislação brasileira e águas de reuso</b>	18
<b>2.3 Métodos Convencionais de Tratamento de Efluentes</b>	20
2.3.1 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	20
2.3.2 Fossa Séptica Biodigestor	22
<b>2.4 Métodos Não Convencionais</b>	23
2.4.1 Sistemas de Coletas Alternativas	24
2.4.1.1 Coletores Simplificados	24
2.4.1.2 Sistema ou Ramal Condominial	25
2.4.2 Tratamentos Alternativos	26
2.4.2.1 Filtros de Areia e Carvão ativado	26
2.4.2.2 Círculo da Bananeira	30
2.4.2.3 Jardins Filtrantes	32
2.4.2.3.1 Modelo exemplar do jardim filtrante no parque do caiara em Recife – PE.	36
<b>2.5 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)</b>	39
2.5.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável que a partir da utilização de Métodos não convencionais são impactadas.	41
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	43
<b>3.1 Descrição área de estudo</b>	43
<b>3.2 Delimitação da bacia de esgotamento sanitário</b>	44

<b>3.3 Impeditivo para a aplicação de soluções tradicionais.</b>	45
<b>4 ANÁLISE E RESULTADOS</b>	46
<b>4.1 Avaliação das tecnologias com aplicabilidade no morro Córrego da Telha.</b>	46
46	
4.1.1 Tecnologia utilizando Filtros de Areia e Carvão Ativado.	46
4.1.2 Tecnologia utilizando o Círculo das Bananeiras.	47
4.1.3 Tecnologia com a utilização dos Jardins Filtrantes.	48
<b>4.2 Resultados das análises de cada tecnologia aplicada no morro Córrego da Telha</b>	50
4.2.1 Filtros de Areia e Carvão Ativado.	50
4.2.2 Círculo das Bananeiras.	53
4.2.3 Jardins Filtrantes.	55
<b>5 CONCLUSÃO</b>	58
<b>5.1 Aprimoramento (Pontos de melhoria para futuras pesquisas na Área de estudo)</b>	59
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	61
<b>ANEXOS</b>	72

## 1 INTRODUÇÃO

Partindo da compreensão sobre a relevância do saneamento básico tanto na perspectiva socioeconômica quanto no aspecto ambiental, observa-se a inexistência de planejamentos bem-sucedidos no que se refere à destinação de efluentes sanitários na maioria dos municípios brasileiros, principalmente nas áreas menos desenvolvidas, onde a infraestrutura urbana é mais precária.

Nesse contexto se inserem os casos de regiões como morros, os quais apresentam diversos desafios por conter áreas de grandes declividades, topografia irregular e terrenos de baixa estabilidade, dificultando a forma de planejamento e tornando os processos de instalação de sistemas de esgoto mais complexos e onerosos.

Ao se aprofundar nesse tipo de problema, realizou-se um levantamento de campo no morro Córrego da Telha, situado no bairro do Passarinho, na cidade de Recife – PE, onde foi possível diagnosticar obstáculos enfrentados pelos moradores do local.

O estudo apontou que há a ausência de uma estrutura de rede de coleta e transporte de esgoto e que a única forma de depositar esses rejeitos seria por meio de construção de sistemas individuais de tratamento, os tanques sépticos. No entanto, essa tomada de medidas não leva em consideração as possibilidades de contaminação do solo, dos córregos e no aumento da instabilidade dos taludes causada pela infiltração do efluente sobre o terreno.

Diante desse quadro deficitário, este trabalho busca elencar estratégias capazes de solucionar os impasses gerados pelo ineficaz ou ausente sistema de tratamento de efluentes, promovendo condutas ambientais que estejam em conformidade com a legislação vigente.

O plano propõe, como medida de solução a tal problema, a análise da implantação de soluções de tratamento simplificadas para os efluentes produzidos pela comunidade local. Os métodos alternativos apresentam vantagens no que diz respeito aos aspectos econômicos, sustentáveis e sociais.

Contudo, objetiva-se analisar a viabilidade técnica desse modelo de solução, demonstrando a sua real eficiência ao ser aplicada para as situações em que existem pessoas com baixo acesso ao saneamento básico habitando em locais geograficamente desfavoráveis.

## **1.1 Justificativa e motivação**

É comum na Região Metropolitana do Recife o estabelecimento de moradias, por parte da população financeiramente carente, em terrenos íngremes, geograficamente desfavoráveis e de alta vulnerabilidade. Segundo o instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE), para o ano de 2022 o total da população exposta ao risco é de 206.761 mil habitantes, representando 13,89 % da população total do estado. Esses impasses dificultam o processo de instalações de sistemas de coleta e transporte de esgoto e, conseqüentemente, exigem custosos mecanismos avançados de solução. Tais adversidades permitem que a comunidade seja privada de um direito social que lhes pertencem: o acesso ao saneamento básico.

Diante desse panorama, nasce o anseio em averiguar novas alternativas de soluções de menor custo, de fácil acesso, operação e manutenção. Em meio a tantos caminhos, foram considerados os métodos não convencionais por oferecerem um baixo impacto nas áreas de risco elevado.

## **1.2 Objetivos gerais e específicos**

O objetivo geral deste trabalho é determinar a viabilidade do uso de um sistema não convencional no tratamento de águas cinzas, em maior proporção, e negras, em menor proporção, oriundas do Morro Córrego da Telha, firmando assim uma maneira de saneamento básico para a localidade.

Entre os objetivos específicos estão:

- realizar o estudo a partir das soluções alternativas do filtro de areia e carvão ativado; círculo de bananeiras e jardins filtrantes, buscando obter opções de métodos com uma fácil operação e manutenção;
- analisar a aplicabilidade de métodos não convencionais: filtro de areia e carvão ativado; círculo da bananeira e jardins filtrantes, que consigam atender a população da região de estudo; e
- levantar as vantagens e desvantagens da implementação dos métodos alternativos para à área de estudo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Panorama do Saneamento Básico**

Nos últimos anos, foram notórias as buscas pelo desenvolvimento do saneamento básico no Brasil, principalmente, quando foram estabelecidas as diretrizes do Novo Marco Legal do Saneamento Básico (FERREIRA; GOMES; DANTAS, 2021). Desde então, a grande corrida contra o tempo para atingir a meta do desempenho e universalização dos serviços de saneamento tem se intensificado. Ainda assim, as dificuldades encontradas por meio da atuação do Governo Federal demonstram que existe um longo percurso a se seguir, para que o cenário ideal seja alcançado.

Conforme diagnóstico realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2023, foi feita uma pesquisa sobre a prestação de serviços de saneamento básico que foram concretizadas no Brasil, no ano de 2022. O estudo abrangeu cerca de 5150 municípios, que representam 97,5% da população total. Dessa amostra, identificou-se que existem 379,3 mil quilômetros de redes públicas de esgotamento sanitário, que tiveram uma expansão de 14,3 mil quilômetros em relação ao ano de 2021.

Nesse mesmo ano em que se realizou a pesquisa, o órgão constatou que dos 6,1 bilhões de m<sup>3</sup> de esgoto coletado, apenas 5,0 bilhões de m<sup>3</sup> tornaram-se esgoto tratado e que as redes de esgoto atendem 56,0% da população total do Brasil (112,8 milhões de habitantes). O maior valor do índice de atendimento total, fator que está relacionado aos serviços que utilizam redes públicas, pertence a macrorregião Sudeste (80,9%) e o menor valor se remete à macrorregião Norte (14,7%). Conjuntamente, dois índices também foram estimados: tratamento em relação ao volume total gerado e tratamento em relação ao volume coletado. O primeiro resultou num valor de 52,2%, enquanto o segundo apontou um valor percentual de 81,6% (SNIS, 2023).

No ano posterior, o Instituto Trata Brasil, em parceria com GO Associados, publicou um relatório da 15ª edição do Ranking do Saneamento com ênfase nos 100 maiores municípios do Brasil (GO ASSOCIADOS, 2023). O intuito foi demonstrar o quadro da performance e do desenvolvimento dos serviços de saneamento básico que estão sendo executados no decorrer dos últimos anos. Tal estudo também utilizou informações fornecidas pelo SNIS.

As diferenças entre os percentuais das 20 melhores e as 20 piores cidades são marcantes quando se trata de acesso a serviços básicos. Nas 20 melhores cidades, quase toda a população tem acesso à água potável (99,75%) e quase todos têm acesso ao esgoto (97,96%), enquanto nas 20 piores cidades, esses números são significativamente menores (79,59% com acesso a rede de água potável e 29,25% da população é que usufrui dos serviços de coleta de esgoto). A discrepância é ainda mais evidente no tratamento de esgoto, com os melhores municípios superando os piores em 340%. Enquanto as melhores cidades têm uma média de 80,06% de cobertura de tratamento de esgoto, as piores oferecem apenas 18,21% de cobertura. A seguir, será apresentado o quadro do detalhamento dos indicadores dos municípios analisados.

Quadro 1 - Indicadores dos municípios (SNIS)

<b>INDICADOR</b>	<b>20 MELHORES</b>	<b>20 PIORES</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>
População total (IBGE)	24.777.182	13.939.972	10.837.210	78%
Investimento total de 2017 a 2021 (R\$ MM)	20.630,01	3.865,77	16.764,24	434%
Investimento médio per capita (R\$/hab)	166,52	55,46	111,06	200%
Indicador de atendimento total de água (%)	99,75	79,59	20,16 p. p.	25%
Indicador de atendimento urbano de água (%)	99,85	81,37	18,48 p. p.	23%
Indicador de atendimento total de esgoto (%)	97,96	29,25	68,71 p. p.	235%
Indicador de atendimento urbano de esgoto (%)	98,56	29,91	68,65 p. p.	230%
Indicador de tratamento total de esgoto (%)	80,06	18,21	61,85 p. p.	340%
Indicador de perdas no faturamento (%)	24,73	57,60	-32,87 p. p.	-57%
Indicador de perdas na distribuição (%)	29,94	51,30	-21,36 p. p.	-42%
Indicador de perdas volumétricas (L/lig./dia)	274	842	-569 L/lig./dia	-68%

Fonte: Organizada pelos autores a partir de dados da GO ASSOCIADOS E INSTITUTO TRATA BRASIL (2023).

Dos 20 melhores municípios do último ranking, São Paulo lidera com oito, seguido pelo Paraná com seis, e os demais estados com apenas um representante cada. Um destaque notável foi São José do Rio Preto (SP), que alcançou a pontuação máxima em todas as áreas avaliadas, uma conquista inédita no histórico do ranking. Por outro lado, entre os 20 piores municípios, o Pará e o Rio de Janeiro têm quatro cada, enquanto o Rio Grande do Sul contribui com dois. Os demais estão distribuídos em outras regiões do país, quatro pertencem à região Norte, quatro situam-se no Nordeste, um no Centro-Oeste, e outro na região Sudeste.

Para o estado de Pernambuco, conforme reportagens do G1, no ano de 2023, um estudo realizado pelo Tribunal de Contas do Estado (TCE) constatou que apenas 21,6% das cidades possuem plano municipal de saneamento. Tal documento é uma exigência legal para que, por meio desta, a população possa usufruir dos seus direitos de obter o acesso aos recursos federais para investimento de serviços de saneamento.

O plano municipal de saneamento delineia ações para universalizar o saneamento básico nos municípios, com mecanismos de acompanhamento e revisão a cada 10 anos. O "Painel de Saneamento" do TCE, baseado nos dados do SNIS, oferece um panorama do fornecimento de água e saneamento em Pernambuco. De acordo com o painel, quase metade da água distribuída é desperdiçada (46%), 16% da população não tem abastecimento e menos de um terço da população de Pernambuco (30,8%) têm acesso à coleta de esgoto. Quando considerado apenas o perímetro urbano do Estado, o percentual sobe para 35,77%, mas ainda fica abaixo da média nacional de 55,81% (2021).

Para a cidade do Recife, segundo dados do SNIS 2021, constatou-se que 55,01% da população não é atendida com sistemas de esgotamento sanitário, existe o atendimento pleno da população para a coleta de resíduos domiciliares e possui coleta seletiva de resíduos sólidos.

## **2.2 Legislação brasileira e águas de reuso**

Pela Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH se estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água define em seu artigo 2º:

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - reuso de água: utilização de água residuária;

III - água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

A separação de águas residuárias permite soluções especializadas para o gerenciamento dos efluentes, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (OTTERPOHL, 2001). A diferenciação dos tipos de cores das águas ocorre da seguinte forma:

- **águas marrons:** água residuária contendo material fecal e papel higiênico, proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina;

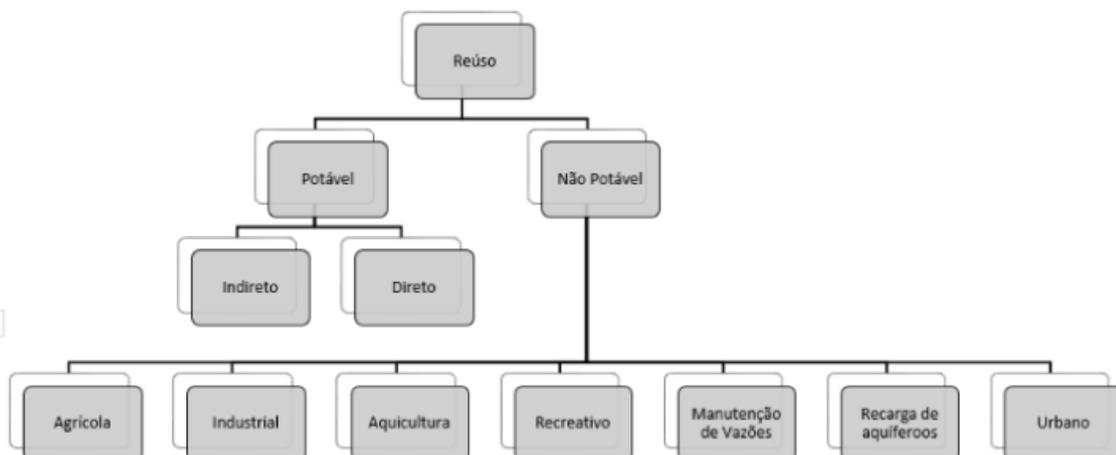
- **águas amarelas:** água residuária contendo principalmente urina também proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina;

- **águas negras:** água residuária provenientes dos vasos sanitários; contém fezes e urina e pode conter papel higiênico e água residuária de cozinhas;

- **águas cinzas:** água residuária produzida em banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, tanques, podendo ou não incluir pias de cozinha.

O reuso de água pode ser classificado em potável e não potável. O primeiro é dividido em: direto e indireto. O direto é reintroduzido diretamente no sistema de reutilização, o indireto é disposto em águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável. As subcategorias do reuso não-potável são divididas de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para usos agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, em manutenções de vazões, na aquicultura e na recarga de aquíferos subterrâneos (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Figura 1 - Classificação reuso de Água.



Fonte: REZENDE (2016).

A legislação sobre o reuso de águas residuárias possuem dois caminhos específicos, de modo a estabelecer limites para qualidade da água a ser reutilizada e regulamentar a sua aplicação da prática (GONÇALVES, 2006). Atualmente, o Brasil enfrenta grandes dificuldades em relação a essas frentes, não havendo legislação federal específicas sobre o reuso, as ações neste contexto são guiadas a partir da Norma Técnica NBR 13.969/97, da Resolução n° 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, através da Lei N°14.546 de 04 de abril de 2023 foi realizado uma alteração pertinente a Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007 no Art 49-A, a partir desta atualização haverá um estímulo da União na execução das diretrizes nacionais da política federal de saneamento básico, na medida em que as águas cinzas apresentam notável potencial de reaproveitamento, seu manejo adequado mostra-se capaz de reduzir a demanda no que tange à coleta e tratamento de esgotos. Para seu adequado manejo e reutilização.

## **2.3 Métodos Convencionais de Tratamento de Efluentes**

Métodos convencionais de tratamento de efluentes são as formas de tratamento de esgoto doméstico de modo coletivo com a utilização das Estações de Tratamento de Esgoto, como também, de modo individual através da utilização de fossas sépticas, padronizadas de acordo com a NBR 13969, a norma brasileira que estabelece os requisitos mínimos para a elaboração de projetos, implantação e dá operação dos sistemas individuais de tratamento de esgoto. A norma aborda os seguintes pontos para análise: definição dos requisitos técnicos, tipos de sistemas, controle de qualidade, critérios de projetos, manutenção e responsabilidade.

### **2.3.1 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)**

Com o grande consumo de água e conseqüente geração de esgoto em grandes proporções, o efluente produzido não pode ser descartado no meio ambiente devido à contaminação dos lençóis freáticos, dos corpos hídricos, dos solos e também para o aspecto de saúde da população, sendo necessário ter um local apropriado para o descarte dos resíduos, de modo a serem depositados em ETE, que seguem algumas etapas de tratamento:

1 – Tratamento preliminar, onde ocorre a retirada de sólidos grosseiros e areia, através de processos de gradeamento e desarenador, para que não ocorra danos para as próximas etapas de tratamento ou até mesmo para que seja mais fácil o transporte do efluente;

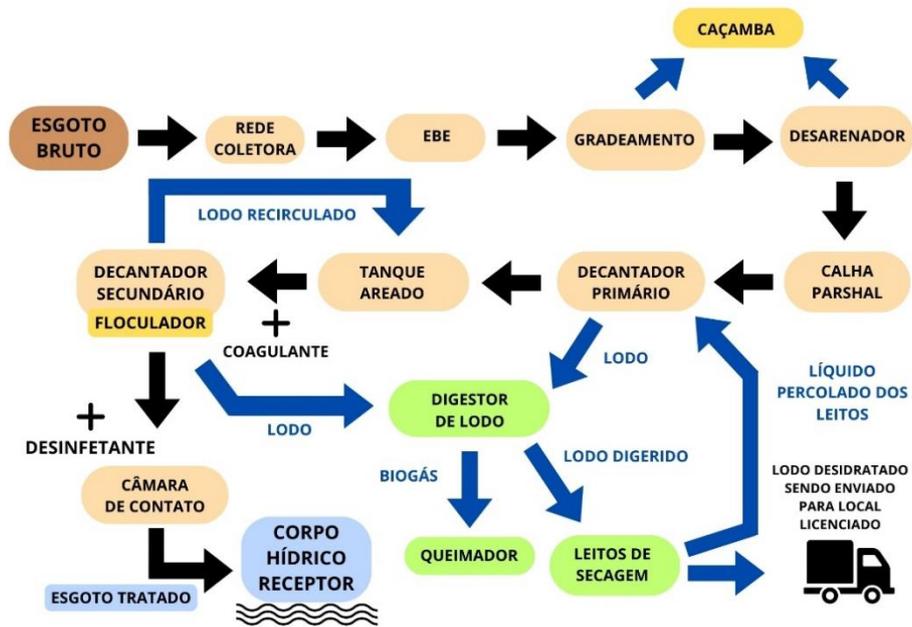
2 – Tratamento primário, sendo realizada a remoção de sólidos sedimentáveis em suspensão, através da utilização de um decantador primário;

3 – Tratamento secundário, com o objetivo da remoção da matéria orgânica através dos processos biológicos, onde se realiza a decomposição da matéria orgânica e a remoção parcial dos nutrientes. Geralmente nessa etapa, se utilizam os processos de lodos ativados, reatores aeróbios, reatores anaeróbios, lagoas de estabilização, entre outros. Geralmente nesta etapa, se utiliza um decantador secundário para separação do lodo biológico;

4 – Tratamento terciário, com a finalidade da remoção de contaminantes específicos, a partir dos processos físico-químicos que ocorrem no decantador secundário ou em um processo individual. Além disso, pode ocorrer a desinfecção através de vasta quantidades de processos, inclusive a de adição de produtos químicos a base de cloro e uma câmara de contato;

5 – Tratamento do lodo, que é um subproduto gerado em alto volume nos processos. Esse material, pode ser descartado em aterros sanitários ou pode ser utilizado como fertilizante.

Figura 2 - Etapas Tratamento de Esgoto Sanitário.



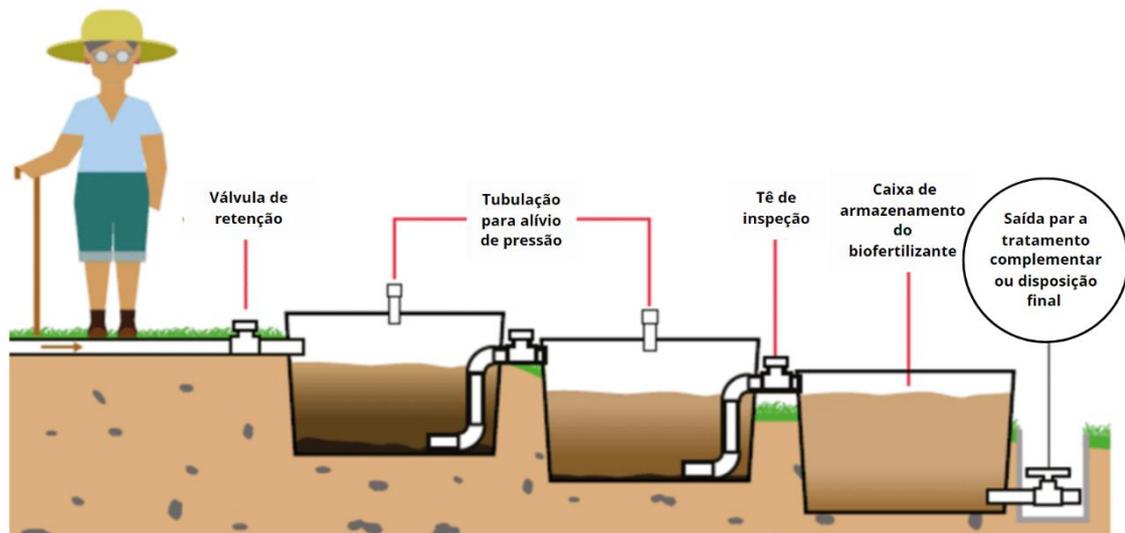
Fonte: ÁGUAS & EFLUENTES (2020). Adaptado pelos autores.

### 2.3.2 Fossa Séptica Biodigestor

A utilização dessa construção ocorre mais em zonas rurais ou em locais onde não existe uma rede de coleta de esgoto, sendo assim cada residência direciona seu esgoto para esses fossos ou tanques sépticos.

Muito utilizada no meio rural, é composta por três caixas de fibra de vidro ou fibrocimento, enterradas no chão. O processo de enterramento das caixas é necessário para que se mantenha a temperatura ideal de decomposição do esgoto.

Figura 3 - Fossa Séptica Biodigestora



Fonte: TONETTI ET AL, 2018. Adaptado pelos autores.

## 2.4 Métodos Não Convencionais

Alternativas inovadoras de tratamento surgem como possibilidade de universalizar o acesso ao esgotamento sanitário no mundo. Características importantes a considerar na escolha desse tipo de sistemas são: baixo custo de implantação e operação; pouca dependência de energia, peças e equipamentos de reposição; simplicidade de operação, manutenção e controle; pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado, flexibilidade em relação a expansões futuras e ao aumento de eficiência, dentre outros (PROASB, 2001).

Na cidade de Recife, é notória a prática de ocupação de terrenos em áreas que contenham morros, visto que o aumento da taxa demográfica junto com a crescente parcela de pessoas que são desprovidas de recursos financeiros para adquirirem seus próprios lares em ambientes seguros ainda é uma problemática persistente que sempre vem sendo enfrentada pelos administradores do poder público, cerca de 206 mil habitantes vivem em áreas de risco (13,8% da população da capital) (CEMADEN, 2024).

Nesse cenário, nasce diversos impasses dos quais podem se evidenciar os de ordem social, econômica e ambiental. Partindo desse pressuposto, destaca-se a necessidade e a importância do acesso ao saneamento básico, pois é um direito básico da população em prol de melhor qualidade de vida. No entanto essa realidade está longe de ser alcançada para os moradores de morros no município de Recife.

No intuito de buscar soluções que permitam a essas comunidades obterem o acesso ao saneamento básico, foram propostas as alternativas de tratamento descentralizado de águas cinzas descritas a seguir, as quais serão detalhadas e analisadas para validação da sua viabilidade técnica no estudo de caso do morro do Córrego da Telha.

## 2.4.1 Sistemas de Coletas Alternativas

### 2.4.1.1 Coletores Simplificados

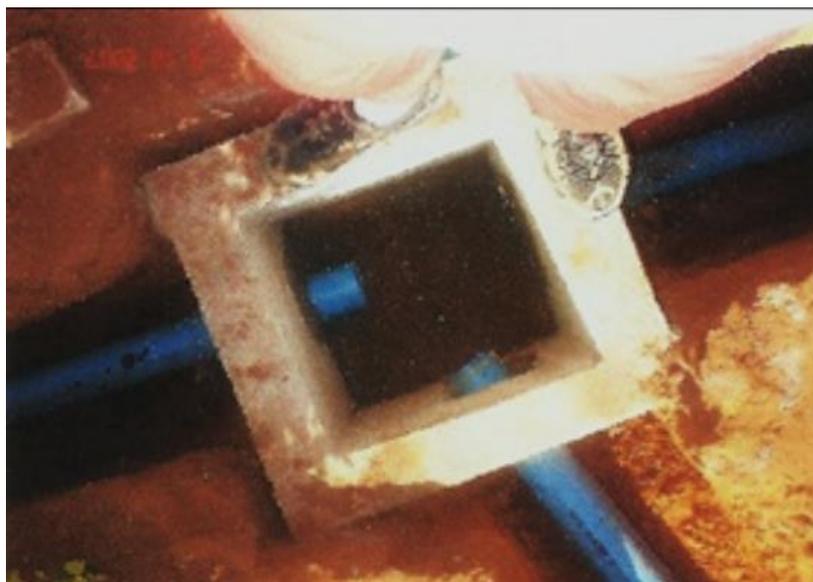
A utilização de coletores simplificados e redes simplificadas para o esgotamento vem sendo utilizada no Brasil desde o início da década de 1980, de forma que sua implantação é consideravelmente mais barata do que os coletores e sistemas convencionais (FERREIRA, 2003; LOBO, 2003).

Coletores simplificados podem ser de tubos e conexões em PVC com diâmetro de 100 mm (próprios para esgoto), para uma ou mais casas, de modo a depender do quantitativo de população que espera ser atendida e com isso a declividade da tubulação também seria ajustada com a necessidade de atendimento.

Os coletores não devem estar aparentes, sobre o solo, pois a luz solar deteriora o PVC. Eles podem ser rasos, com profundidade variando de 30 cm a 50 cm na geratriz inferior, o que faz com que as valas para o seu assentamento sejam também rasas e possam ser executadas de forma manual, utilizando ferramentas como: enxadas, pás, picaretas e outros. Entretanto, sua implantação não deve ser em locais onde passam veículos, pois o peso pode danificá-los ou mesmo rompê-los.

A utilização de coletores simplificados, mais ainda do que a dos coletores convencionais, requer cuidados e educação sanitária por parte dos usuários, a fim de que não lancem no esgoto objetos ou resíduos que possam causar danos ou obstruções das tubulações.

Figura 4 - Construção de caixa de Coletor Simplificado.



Fonte: SANTIAGO (2008).

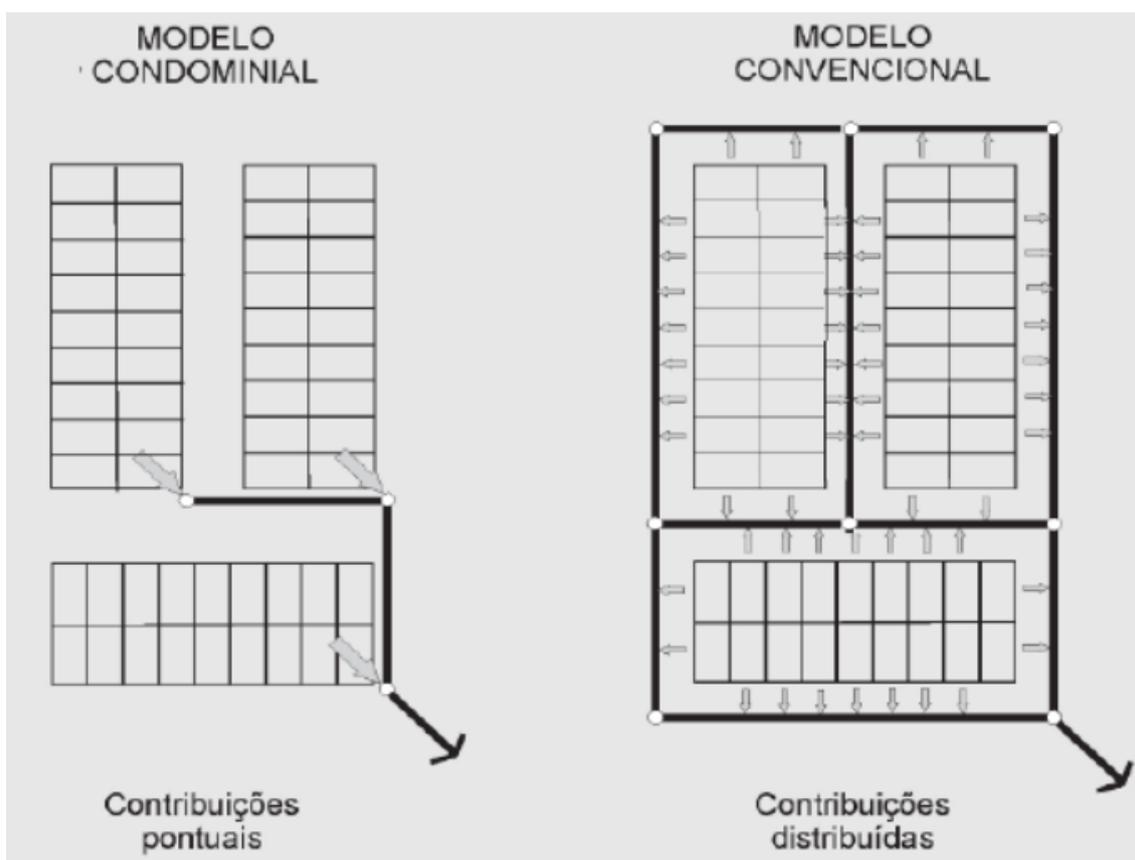
#### 2.4.1.2 Sistema ou Ramal Condominial

Os ramais condominiais são coletivos, multifamiliares, compostos por conjuntos de coletores simplificados que atendem a grupos de casas. Sua utilização foi praticamente simultânea à dos coletores simplificados, na década de 1980 (FUNASA, 2019).

No sistema condominial, ao contrário do sistema convencional, a ligação deixa de ser individual e passa a ser coletiva, ou seja, o condomínio faz uma ligação ao sistema público de coleta (rede pública). Assim, a coleta, em cada condomínio, ocorre através do chamado ramal condominial (RISSOLI, 2011).

Os condomínios são definidos buscando uma similaridade de vizinhos e com uma delimitação compatível com a solução (MELO, 1994). No sistema condominial a rede coletora passa por um único ponto da quadra coletando nesse ponto de inspeção toda a contribuição de esgoto sanitário do condomínio (contribuição pontual), diferentemente do convencional onde a rede coletora passa por todas as ruas da quadra e cada casa se liga à rede através de um ramal predial (contribuição distribuída) (MELO, 2008).

Figura 5 - Esquemas de ramais tipo convencional e condominial.



Fonte: MELO (2008).

## 2.4.2 Tratamentos Alternativos

### 2.4.2.1 Filtros de Areia e Carvão ativado

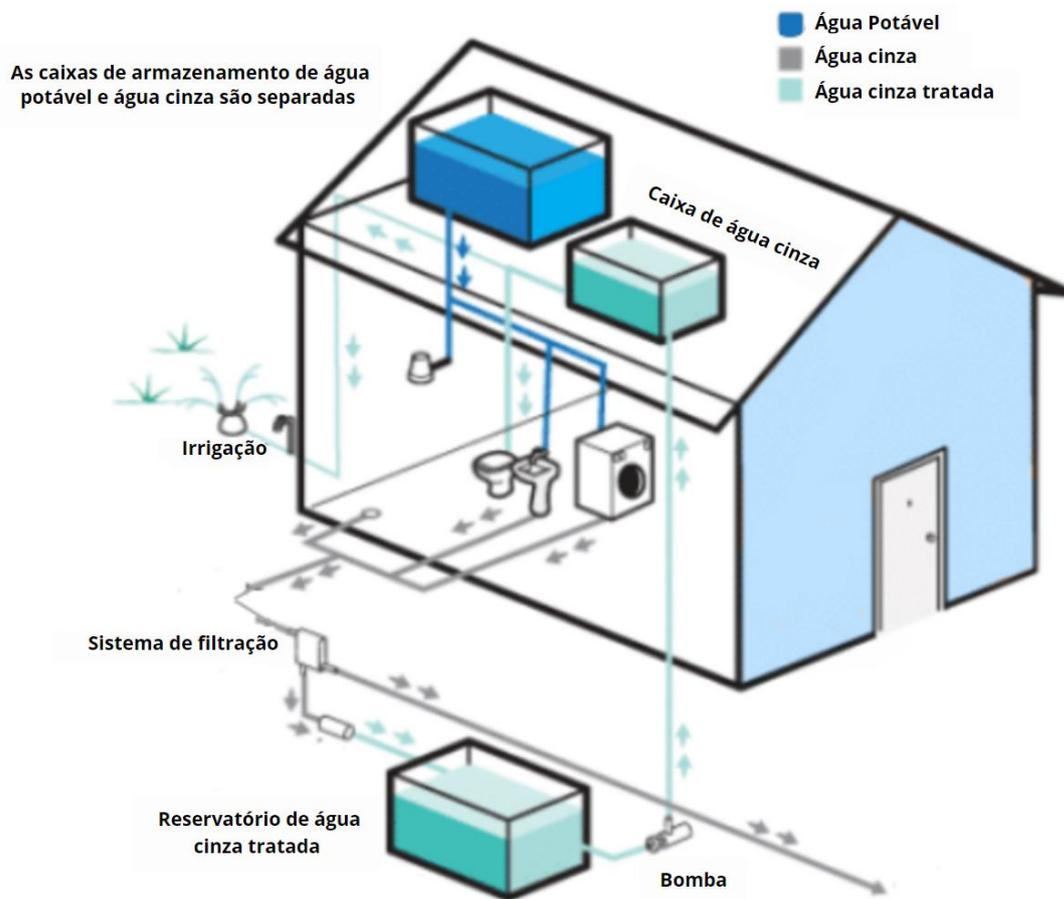
Dentre diversos sistemas de tratamento para remoção de poluentes, o uso de filtros tem sido muito utilizado pela sua acessibilidade e fácil aplicabilidade e manutenção. O meio poroso apresentado por esses componentes tem a capacidade de reter as impurezas de diversas dimensões, inclusive as que são menores que as dos poros da camada filtrante (BRANDÃO et al., 2003).

Ademais, os filtros podem ser úteis até mesmo nas atividades que fazem o reuso das águas cinzas, tais como a irrigação de áreas verdes ou para descargas de vasos sanitários, visto que sua finalidade é de apartar sólidos em suspensão (MANCUSO & SANTOS, 2023).

Os tipos de filtros utilizados para o tratamento de águas em geral são os de areia e os de carvão ativado. Os primeiros têm a função de remover sólidos em suspensão que estão dissolvidos em água, retirar a turbidez e trazer um melhoramento nos índices de cor e sabor. Enquanto os segundos são constituídos de material carbonáceo com área superficial e porosidade bem desenvolvidas, o que possibilita a capacidade de adsorção de moléculas que se encontram no estado líquido e no estado gasoso (BORGES et al., 2003).

- Estrutura dos filtros de areia e carvão:

Figura 6 - Sistema de reuso de águas cinzas com filtro.



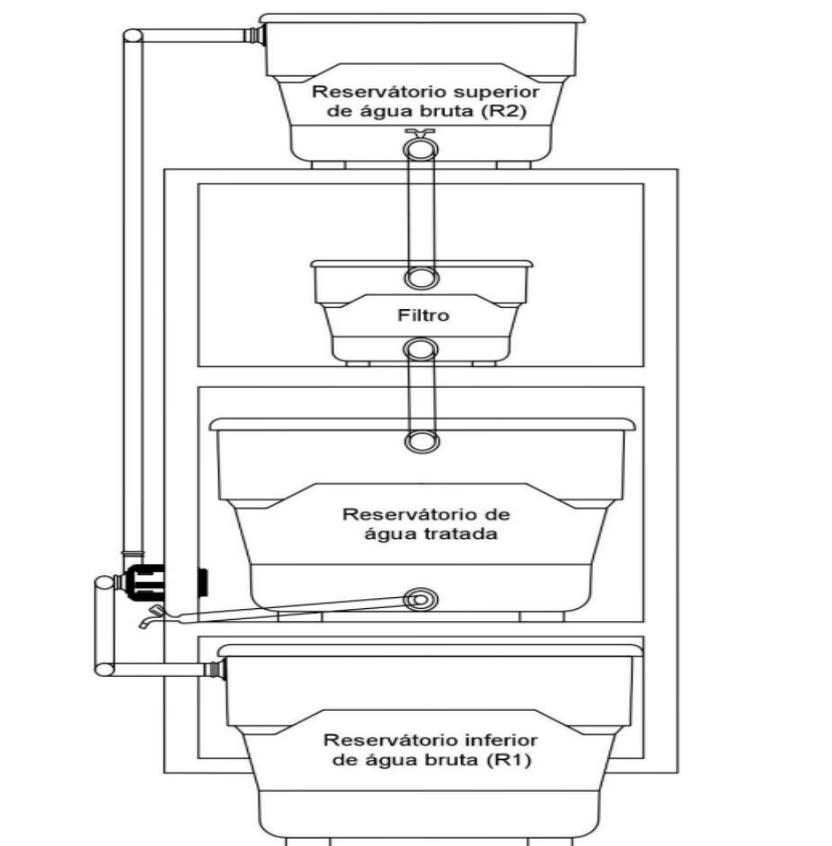
Fonte: EOSCONSULTORES (2018). Adaptado pelos autores.

Conforme estudo da pesquisa científica realizada em 2018, no Centro Universitário de Brasília (BOITRAGO, 2018), que abordava sobre um sistema alternativo de aproveitamento de águas cinzas para uso não potável, foi proposto um modelo de uma

unidade para tratamento de águas oriundas do tanque e da máquina de lavar roupas que pode ser instalado nas residências.

O modelo consiste na implantação de um reservatório de água bruta que recebe a água procedente da máquina de lavar e do tanque (águas cinzas claras), um reservatório de água bruta que recebe a água recalcada vinda do reservatório anterior, a instalação de uma bomba de água elétrica, a confecção de filtro composto por camada de seixos, areias e carvão ativado, todos com granulometria definidas de acordo com os padrões especificados por norma e tendo seus níveis separados por uma manta geotêxtil, e por fim, um reservatório de água tratada para receber o fluído tratado, posicionado em um ponto estratégico de distribuição.

Figura 7 - Fluxograma do sistema de filtros de seixo, areia e carvão ativado.



Fonte: RODRIGUES & BOITRAGO (2018).

A operação do sistema é realizada por etapas de filtração, o efluente que já passou pelos primeiros reservatórios é encaminhado para o filtro, nessa etapa o fluído percola por três fases de filtração. A primeira camada é composta somente por seixos, a segunda é formada por seixos, uma manta sintética e areia, a última é constituída por seixos, manta

sintética, areia, manta sintética e carvão ativado, obedecendo essa mesma ordem de disposição.

Figura 8 - Filtro composto por seixos, areia e carvão ativado.



Fonte: RODRIGUES & BOITRAGO (2018). Adaptado pelos autores.

A água proveniente da máquina de lavar e do tanque é coletada por uma tubulação e direcionada para o reservatório inferior. Com o auxílio de uma bomba, o fluído é recalcado para o reservatório superior e, pela ação da gravidade, é conduzido para os filtros.

A primeira camada composta por seixos possui a finalidade de retirar partículas de sujeiras, melhorar os aspectos de cor e turbidez, a segunda camada contendo areia e seixo, para reterem elementos ainda menores e obterem resultados mais satisfatórios. Para uma melhor qualidade de água tratada, na terceira camada foi adicionado carvão ativado, além do seixo e da areia.

O carvão tem por objetivo retirar as impurezas que estão dissolvidas no meio líquido, no qual pode gerar cheiros desagradáveis, mal gosto e coloração inadequada. Também é bastante eficaz na remoção de algumas substâncias químicas como o cloro, benzeno (KIELING, 2016) e certos metais como o ferro, mercúrio e o cobre quelado entre outros elementos comumente encontrados em resíduos líquidos (IDE; IDE; GONÇALVES; VAL; RIBEIRO, 2013).

Porém, é válido ressaltar que o uso desse material deve ser precedido de um outro tratamento que visa reduzir a carga orgânica e os teores de sólido em suspensão. Isso justifica a escolha de utilizar o seixo e a areia nas camadas anteriores, visto que esses componentes possuem a função de formar uma colônia de bactérias para a degradação de matéria orgânica, que está presente nas águas cinzas, por meio do seu alto índice de

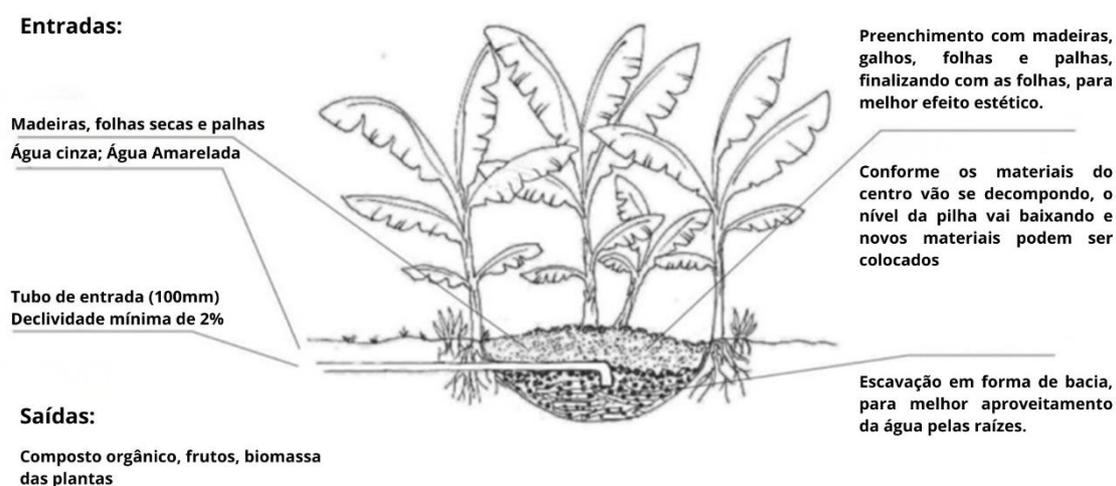
vazios, além de permitir altas taxas de permeabilidade e infiltração (NIRENBERG & REIS, 2010). Esse fenômeno que ocorre em superfícies biológicas e não biológicas (DAVEY; O'TOOLE, 2000), é conhecido como biofilmes, que são comunidade de microrganismos envoltos por uma matriz de polímeros extracelulares (BRUGNERA; OLIVEIRA; PICCOLI, 2009) com alta capacidade de fixação e adesão (SANTOS et al., 2018) e muito eficazes na remoção de poluentes emergentes (MANSOUR et al., 2012; LEVY et al., 2017; SHABBIR et al., 2017a; SHABBIR et al., 2017b; SHABBIR et al., 2018).

#### 2.4.2.2 Círculo da Bananeira

O círculo de bananeiras é uma tecnologia de tratamento usada para tratamento de águas cinzas ou pré-tratado (TONETTI et al., 2018). É constituído de um sistema composto por um agrupamento de plantas que tenham boa capacidade para consumir e evaporar alta quantidade de águas e se adaptem bem em ambientes de solos úmidos. É uma alternativa simples, com baixo custo de implantação, operação e manutenção.

- Estrutura do círculo das bananeiras:

Figura 9 - Soluções Sustentáveis de Saneamento, Círculo das Bananeiras.



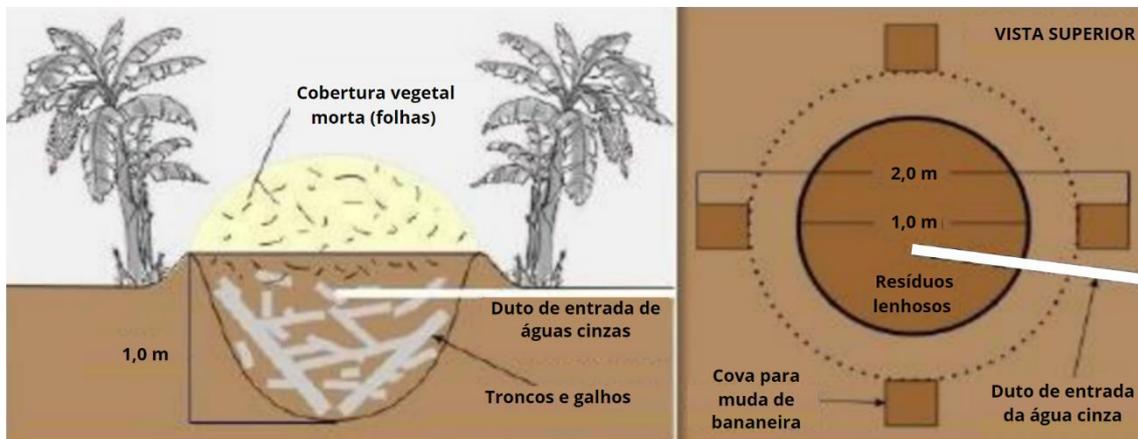
Fonte: SUSTENTARQUI (2019). Adaptado pelos autores

A técnica consiste na escavação de uma vala circular com profundidades variando entre 0,60 m e 1,00 m e largura com medidas de 1,00 m a 2,00 m. Essa vala é preenchida

com troncos de madeira, galhos, palha, cascas de coco, folhas de outras plantas, visto que são elementos naturais que se decompõem lentamente. A entrada de efluentes da residência na fossa deve se dar por uma tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro (TONETTI et al., 2018).

A uma distância de 60 cm da borda da vala, são plantadas as mudas de plantas com folhas largas como as bananeiras, mamoeiros e taiobas. Também pode-se preencher os espaços do canteiro com outros tipos de espécie vegetais (PAES, 2014). Essas plantas terão a finalidade de absorver a parte líquida do efluente e, por meio da transpiração realizada pelas suas folhas, devolverá a água pura para a atmosfera em forma de vapor.

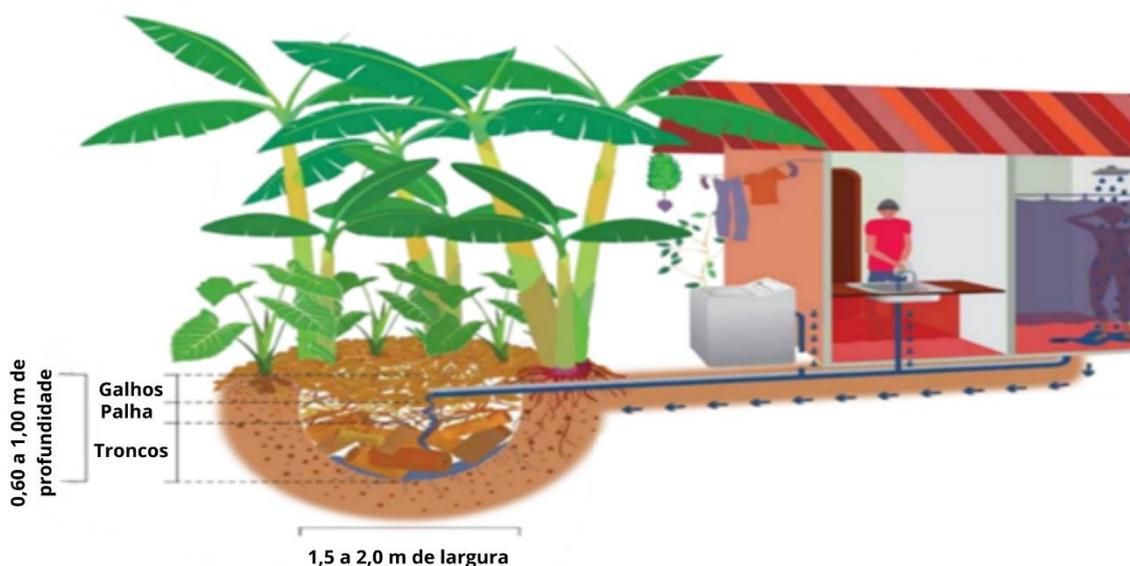
Figura 10 - Desenhos esquemáticos do sistema de tratamento de águas cinzas do Círculo das Bananeiras.



Fonte: PAES (2014). Adaptado pelos autores.

Após a escavação e a instalação do tubo, finas camadas de materiais orgânicos são adicionadas no fundo da vala circular, de forma que sejam alternados os tipos de elementos selecionados: uma camada de folhas secas, outra de galhos de árvore, outra de palha, por exemplo. No entanto, é importante frisar que o círculo das bananeiras não pode ser impermeabilizado e nem compactado, visto que pode ocorrer extravasamento em períodos de chuvas longas. Outra medida que previne o transbordo é a construção de barreiras feitas com a própria terra escavada, com 30 cm de altura, ou o uso de garrafas de vidro como contenção nas bordas do círculo (TONETTI et al., 2018).

Figura 11 - Círculo das Bananeiras.



Fonte: ADAPTADO YAMAMOTO – IPESA (2020). Adaptado pelos autores.

Vale ressaltar que com o passar do tempo o material utilizado nas camadas pode se decompor de forma que ocorra a perda de volume da estrutura. Devido a esse fato, se faz necessário realizar uma manutenção no sistema, sempre colocando aparas de poda no centro do círculo formando uma cúpula de 30cm acima do nível do solo, garantindo assim a boa funcionalidade do círculo das bananeiras (SILVA, 2017).

#### 2.4.2.3 Jardins Filtrantes

Jardins filtrantes são uma tipologia de projeto desenvolvida para purificar as águas residuárias provenientes de pias, tanques e chuveiros, ricos em sabões, detergentes, restos de alimentos e gorduras. A depuração da água é feita por plantas macrófitas aquáticas, cujas raízes acumulam micro-organismos que decompõem as substâncias contaminantes. É importante destacar que, segundo estudos realizados por Li et al. (2014), o sistema também possibilita a remoção de determinados micropoluentes, como alguns fármacos (diclofenaco, ibuprofeno, ácido acetilsalicílico e cafeína). Após passarem pela filtragem das plantas, as águas podem se reintegrar ao meio ambiente de forma sustentável minimizando os riscos ambientais (PHYTORESTORE, 2018).

São também chamados de sistemas artificiais de zonas úmidas por ser utilizada como uma alternativa secundária ou terciária, pois realiza a remoção de nutrientes e reduz

taxas de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) do efluente (RIBEIRO; BLAUTH, 2019).

Os sistemas artificiais operam primariamente com enfoque na região ativa, que corresponde à área das raízes das plantas, a rizosfera. Este espaço centraliza os procedimentos físico-químicos e biológicos resultantes da interação entre vegetais, microrganismos, solo e contaminantes. Podemos segmentar a rizosfera em dois espaços distintos: a endorizosfera, que caracteriza o interior das raízes das plantas, e a ectorizosfera, representada pelos arredores das raízes. O ponto de interseção entre esses dois espaços é conhecido como rizoplano o qual constitui o local de maior interação entre plantas e microrganismos, sendo fundamental para um tratamento definitivo. Vale ressaltar que a avaliação da eficácia dos Jardins Filtrantes está intimamente relacionada às tecnologias de design e biológicas. A escolha das espécies utilizadas e sua disposição no jardim podem influenciar significativamente o resultado do tratamento (ELLIOT et al., 1984; TANNER, 1996; KAPPERLMAYER et al, 2002).

As abordagens que empregam plantas como a base do sistema de maneira combinada, utilizando conjuntos de diferentes espécies vegetais, oferecem uma variedade de combinações essenciais para alterar a forma físico-química dos poluentes, convertendo-os em elementos que serão absorvidos e retidos pelas plantas, tal técnica é estabelecida como fitorremediação.

Estes mecanismos operam em conjunto: a fitodegradação dos contaminantes orgânicos através do consumo de oxigênio, a fitoacumulação de poluentes necessários para a vida vegetal, como cobre, zinco, fósforo, nitrogênio, carbono, entre outros, a modificação da forma físico-química dos contaminantes, tornando-os não biodisponíveis, e a fitolixiviação, que facilita a transformação de certos contaminantes em estado líquido, a fim de retê-los nos filtros vegetais. Os elementos resultantes desse processo são essenciais para o sustento das plantas e, além disso, proporcionam uma purificação dos corpos d'água, beneficiando a saúde humana (RIBEIRO; BLAUTH, 2019).

De acordo com Cooper (1998), os critérios fundamentais para plantas utilizadas em sistemas de jardins filtrantes são os seguintes:

1. adaptação ecológica simplificada;
2. resistência a variabilidades climáticas, pragas e enfermidades;
3. tolerância a agentes poluentes e condições de alagamento;

4. capacidade de propagação rápida e estabelecimento ágil, além de crescimento vigoroso; e
5. alta eficiência na remoção de poluentes, seja através da assimilação direta e armazenamento ou indiretamente pelo estímulo de transformações microbianas.

O potencial de purificação de efluentes por meio de zonas úmidas, sejam elas naturais ou artificiais, encontra-se bem documentada na atualidade. As plantas representam o componente primordial desses sistemas, porém, seu desempenho não seria tão eficaz se não fosse pela colaboração microbiana (COOPER, 1998).

- Estrutura dos jardins filtrantes:

Essa alternativa também tem ganhado reconhecimento como uma ferramenta de cunho social e de sensibilização ambiental. Trata-se de uma tecnologia vista como economicamente vantajosa, quando comparada a outras do mesmo setor, e destaca-se por uma manutenção descomplicada e pouco frequente, uma vez que sua estrutura é composta principalmente por areia, pedras e vegetação.

A configuração mais comum dos filtros nos jardins compreende três etapas. Na primeira fase, denominada jardim vertical, o efluente atravessa um filtro vegetal na vertical, onde ocorre a decomposição de matéria orgânica e nitrogênio.

Em seguida, passa por um filtro vegetal horizontal, onde o tratamento ocorre na ausência de oxigênio (processo anaeróbio). A etapa final consiste na lagoa terminal, onde a água filtrada pode ser direcionada para usos específicos, como a irrigação de áreas verdes.

A manutenção é realizada a cada 10 anos e envolve a remoção da matéria mineralizada acumulada no jardim vertical. No entanto, a sustentabilidade persiste, visto que essa matéria pode ser reaproveitada como adubo para a agricultura.

A seguir, a Figura 12 esquematiza um jardim e suas etapas e a Figura 13 demonstra um exemplo da área em estudo (Parque do Caiara – Recife).

Figura 12 - Esquematização do Jardim Filtrante.



Fonte: PHYTO RESTORE (2024). Adaptado pelos autores.

Figura 13 - Exemplo do Jardim Filtrante – Parque do Caiara - Recife.



Fonte: OS AUTORES (2023).

No tópico a seguir será demonstrado um modelo exemplar do jardim filtrante em operação no município de Recife, indicando o funcionamento de cada unidade que compõe o sistema.

#### 2.4.2.3.1 Modelo exemplar do jardim filtrante no parque do caiara em Recife – PE.

O parque do Caiara, localizado no bairro do Iputinga, é pioneiro quando se trata da aplicação dessa nova tecnologia na cidade do Recife. Com área de implantação e vazão de operação bem maior em relação ao do local de estudo, o sistema abrange um mecanismo de pré-tratamento composto de gradeamento manual e calha Parshall, seguido de um tanque de recebimento e aeração, geomembrana de impermeabilização, uma malha hidráulica, um leito filtrante, plantas macrófitas, um conjunto de filtro vertical e horizontal e por fim, uma lagoa plantada.

Após a etapa preliminar de tratamento, os tanques de recebimento e aeração irão acumular o efluente até atingir o volume de projeto para batelada, onde haverá o preparo do efluente para as fases posteriores. Porém, é válido ressaltar sobre a importância da impermeabilização do solo com uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) para preservar a qualidade dos aquíferos, lençol freático e o estado original do solo.

Em seguida, todo efluente é transportado de um filtro para outro através da malha hidráulica, que tem por função alimentar, drenar e encaminhar tanto para a parte interna quanto para a parte externa do jardim. Durante esse processo de escoamento do líquido, as plantas, firmadas no substrato composto por areias, britas, seixos, terra vegetal ou turfas, conseguem realizar a degradação dos poluentes por meio das suas raízes, pois a porosidade do leito filtrante atua positivamente no nível desempenho do tratamento.

Os tipos de plantas ideais utilizadas para a construção dos jardins são as espécies macrófitas, visto que possuem capacidades de fitodegradação e bioacumulação, ou seja, elas possuem alto grau de metabolização dos poluentes acumulando-os em seus tecidos. Elas também contribuem na redução do índice de turbidez da água, removendo os sólidos suspensos por meio de suas raízes (fitorremediação), as quais podem colaborar no desenvolvimento de um ecossistema constituído por fungos e bactérias degradadoras de matéria orgânica (PHYTORESTORE, 2018).

Figura 14 - Parque do Caiara – Plantas Macrófitas.



Fonte: OS AUTORES (2023).

Em relação à classe de filtros usada no Parque dos Caiaras, percebe-se que há a predominância de macrófitas do tipo emergentes, que são aquelas que crescem a partir do fundo do tanque e ultrapassam o nível d'água. Essa característica exige uma configuração de jardim adequada ao tipo de planta que está sendo utilizada. Para isto, o arranjo escolhido no Parque foi o filtro vertical seguido de um horizontal mais uma lagoa.

Figura 15 - Parque do Caiara – Filtro Vertical (aeróbico).



Fonte: OS AUTORES (2023).

Devido à presença de oxigênio, os filtros verticais possibilitam a ocorrência de processos químicos como a nitrificação, mineralização dos depósitos orgânicos, derivados dos Sólidos Suspensos Totais (SST), e promove a remoção de DBO e DQO,

pois há um meio aeróbio garantido pelo contato das raízes das plantas com o substrato parcialmente saturado.

Figura 16 - Parque do Caiara – Filtro Horizontal (anaeróbico).



Fonte: OS AUTORES (2023).

Enquanto isso, os filtros horizontais removem poluentes como nitrato, sulfato, fosfato, DBO, DQO, sólidos suspensos e bactérias, porque em sua fase de tratamento, o filtro apresenta estabilidade hidráulica, ou seja, o fluído se armazena no substrato e promove um meio anaeróbio (PHYTORESTORE, 2018).

Figura 17 - Parque do Caiara – Lagoa Plantada.



Fonte: OS AUTORES (2023).

Por fim, a funcionalidade da lagoa plantada auxilia na remoção da carga de matéria orgânica e de sólidos suspensos, por causa da baixa velocidade de fluxo, do alto tempo de detenção e das condições de sedimentação. Nessa unidade, também pode ocorrer a desinfecção da água em razão da incidência de raios solares sobre a lâmina

d'água que destrói estruturas celulares dos microrganismos. Vale lembrar que após a essa sequência de tratamento, todo o efluente tratado é encaminhado para o Rio Capibaribe.

Figura 18 - Parque do Caiara – Emissário final.



Fonte: OS AUTORES (2023).

Figura 19 - Parque do Caiara – Rio Capibaribe.



Fonte: OS AUTORES (2023).

## **2.5 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)**

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, compondo uma agenda mundial para a implementação e construção de políticas públicas até 2030.

Ao todo são 17 objetivos que envolvem diversas temáticas como:

1. Erradicação da Pobreza;
2. Fome zero e Agricultura sustentável;
3. Saúde e Bem-estar;
4. Educação de qualidade;
5. Igualdade de Gênero;
6. Água Potável e Saneamento;
7. Energia Limpa e Acessível;
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico;
9. Indústria, Inovação e 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.

Figura 20 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: ESOLIDAR (2020).

2.5.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável que a partir da utilização de Métodos não convencionais são impactadas.

Através dos métodos não convencionais abordados é possível fazer uma análise qualitativa dos objetivos do desenvolvimento sustentável que ocorrem com suas aplicações, mostrando seus impactos e bem-feitorias a longo prazo para a população. Diante dessas observações temos as seguintes ODS's:

- ODS 3 – Saúde e Bem-estar

Através da implementação dos métodos, ocorrerá gradativamente a redução da contaminação da água e conseqüentemente de doenças propagadas devido ao saneamento ineficaz da região, diante disso trará uma contribuição de saúde e bem-estar para a localidade.

- ODS 6 – Água Limpa e Saneamento:

Através da utilização de métodos alternativos, ocorrerá uma melhora significativa na qualidade da água, de modo a contribuir no saneamento e no fornecimento de água limpa.

- ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis:

Através da aplicação dos métodos alternativos para o tratamento de esgoto além de fornecer uma estética diferente para a área urbana que será implantada, também irá promover práticas de gestão de águas e saneamento, através da melhoria da qualidade de água local, impactando também no meio social onde pode prevenir também o risco de enchentes.

- ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima:

A implantação de métodos alternativos pode mitigar e também ajudar na adaptação das mudanças climáticas, pela captura de carbono através da fotossíntese proporcionada por alguns dos métodos alternativos.

- ODS 14 - Vida na Água:

Através dos resultados que esses métodos podem apresentar, haverá a redução na poluição da água contribuindo para a preservação dos habitats aquáticos, promovendo a biodiversidade e protegendo ecossistemas marinhos.

- ODS 15 - Vida Terrestre:

Devido ao enfoque da utilização dos jardins filtrantes também no meio paisagístico, existe a valorização dos habitats terrestres, causando um favorecimento para a conservação de vida selvagem e também na diversidade biológica.

- ODS 17 - Parcerias para a Implementação dos Objetivos:

São necessárias as parcerias muitas vezes entre comunidades, autoridades municipais, do setor privado e também de organizações não governamentais (ONG's) para que ocorra a aplicação dos sistemas alternativos, sendo utilizados nas áreas em que possa ser promovido e mantido.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Descrição área de estudo

A região de estudo está situada no bairro do Passarinho, localizado na região nordeste das áreas Regionais Político-Administrativas do Recife. O morro de referência é conhecido como Morro Córrego da Telha que fica posicionado ao lado direito da rodovia federal BR101 sentido Norte, conforme a figura a seguir.

Figura 21 - Morro Córrego da Telha – BR 101.



Fonte: WEBODM (2023).

No mês de agosto de 2023, foi conduzida uma visita técnica ao local de estudo. Com base nas características observadas, é possível inferir que esta região é majoritariamente residencial, caracterizada por uma alta densidade de construções e uma baixa proporção de áreas verdes preservadas.

As construções que prevalecem são casas e pequenos sobrados, as ruas são estreitas, não contendo nenhum elemento de drenagem como sarjetas, bocas de lobo, valas ou galerias de drenagem. A falta desse tipo de infraestrutura faz com que, em dias chuvosos, muitas ruas acumulem resíduos líquidos e, ocasionando infiltrações inconvenientes no solo. Tal impasse pode ocasionar graves riscos quanto à estabilidade e resistência dos taludes do morro.

Figura 23 - Rua Alto da Telha – Bairro Passarinho.



Figura 22 - Rua Alto da Telha – Bairro Passarinho.



Fonte: OS AUTORES (2023).

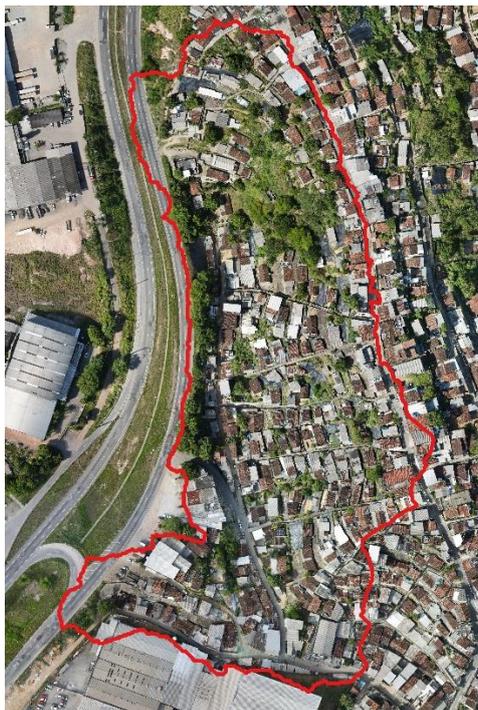
Durante a inspeção, alguns moradores da região forneceram a informação de que a grande maioria dos habitantes utilizam os tanques sépticos como mecanismo primário de tratamento de esgoto, visto que desconhecem a existência de um sistema de coleta e transporte de esgoto que atenda a demanda local.

### **3.2 Delimitação da bacia de esgotamento sanitário**

Ao propor o uso de métodos alternativos para o tratamento de esgotamento sanitário como alternativa de solução, é imprescindível a realização de diversas análises para a possível implantação de um dos métodos não convencionais presentes neste trabalho. Para o dimensionamento de um dos métodos mencionados até aqui seria necessário análises como: levantamento topográfico, identificação de rede de drenagem caso exista, análise hidrológica, identificação de áreas de vulnerabilidade ambiental, avaliação de viabilidade técnica e ambiental, definir os limites da bacia de esgotamento sanitário, essas são alguns dos procedimentos necessários que possibilitam o traçado de uma malha de dimensionamento.

Como o presente trabalho tem como finalidade apenas apresentar sugestões de métodos não convencionais e não necessariamente de um dimensionamento, foi definido a seguinte área do Morro Córrego da Telha apresentada na figura abaixo. A demarcação da área da bacia está em função da topografia do terreno local e dos pontos de maior demanda.

Figura 24 - Área de projeto.



Fonte: WEBODM (2023).

Apesar das alternativas apresentadas no seguinte trabalho serem bastante eficientes no tratamento de esgoto que contém alta carga de matéria orgânica, a ideia inicial do projeto é apresentar alternativas não convencionais para o tratamento e coleta do tipo de efluente caracterizado como águas cinzas, visando uma estratégia de redução significativa no acúmulo de despejos líquidos infiltrados no morro.

### **3.3 Impeditivo para a aplicação de soluções tradicionais.**

Visto que a utilização das soluções tradicionais para o sistema de esgotamento sanitário muitas vezes apresenta um alto custo devido ao sistema topográfico bastante acidentado o que dificulta e muitas vezes impede sua implantação, além da necessidade

de muitas vezes precisarem de uma vasta área para escavações e assentamento das malhas que compõem as redes de canalizações, a área de estudo é uma região de risco com taludes íngremes e muitas habitações em seus taludes o que torna ainda mais evidente a necessidade de uma nova tecnologia que não seja tão agressiva com o ambiente.

Segundo o SNIS 2022, hoje no Brasil cerca de 43% dos brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto, conforme o IBGE 2021 o município do Recife apenas 45% da população é atendido com esgotamento sanitário, desta forma é possível ter a dimensão da dificuldade encontrada que há para a oferta de esgotamento sanitário, o que agrava os problemas de saúde pública no país.

Diante desse cenário é imprescindível conceber sistemas de esgotamento sanitário com novas tecnologias, que tenham soluções adequadas, se adaptando às condições necessárias da região de implantação, que possuam um custo acessível no qual não comprometam a sua eficiência para o tratamento de esgoto.

Desta forma, é necessário o investimento em pesquisas, desenvolvimentos e implementações de tecnologias inovadoras e sustentáveis para o tratamento de esgoto para as áreas que não tem grandes recursos.

## **4 ANÁLISE E RESULTADOS**

No presente tópico, será abordado um breve detalhamento de cada tipo de tratamento não convencional de efluente sendo aplicado na área de projeto do morro Córrego da Telha. Ademais, haverá uma explanação sobre como o estabelecimento desses métodos depuradores de águas cinzas podem exercer sua influência sobre o local a ser estudado.

### **4.1 Avaliação das tecnologias com aplicabilidade no morro Córrego da Telha.**

#### **4.1.1 Tecnologia utilizando Filtros de Areia e Carvão Ativado.**

Ao se basear na pesquisa realizada do Centro Universitário de Brasília (BOITRAGO, 2018), foi elaborada uma alternativa para o caso do morro do Córrego da

Telha. Tal modelo visa executar a tecnologia dos filtros de areia e de carvão nos quintais das residências. Preferencialmente a instalação se dará em locais próximos a área de serviço para uma melhor coleta de águas cinzas claras do tanque e, se houver, das máquinas de lavar roupas.

O planejamento terá que ser meticuloso para que sejam evitadas ao máximo as reformas das instalações hidrossanitárias existentes da casa e, conseqüentemente, as execuções de obras que podem instabilizar ainda mais o solo pertencente ao morro.

As dimensões dos reservatórios, bem como o tipo de arranjo estrutural do sistema, estarão em função do quantitativo de habitantes residentes em cada domicílio, da taxa de consumo de água e da disposição de áreas livres nos quintais das casas.

#### 4.1.2 Tecnologia utilizando o Círculo das Bananeiras.

A proposta apresentada nessa alternativa foi inspirada em uma pesquisa realizada para um trabalho de conclusão de curso feito na Universidade Federal da Paraíba, onde foi abordado sobre um sistema ecológico de tratamento de esgoto nas zonas periurbanas do bairro de Mangabeira, João Pessoa-PB (SILVA, 2017). Nesse estudo a tecnologia do Círculo das Bananeiras foi utilizada para o tratamento de águas cinzas e servirá de norteio para a situação do morro situado no bairro do Passarinho, em Recife.

O plano se fundamenta na ideia de estabelecer o círculo das bananeiras nos quintais das residências que estão localizadas no pé do talude, visto que as escavações das valas circulares, realizadas para a implementação do sistema, têm alta chance de fragilizar o solo que compõem as encostas.

A implantação dessa espécie de vegetal nas encostas pode ter um risco potencial para os moradores locais. Conforme Pereira et al. (1999), as plantas podem exercer certas influências nos taludes, podendo estas serem positivas ou negativas. Quando se trata de probabilidade de ocorrer algum incidente, é importante tomar conhecimento dos efeitos desvantajosos que as plantas podem apresentar.

Certas características das espécies vegetais interferem o nível de estabilidade dos morros. É imprescindível verificar o tipo de raiz que essas possuem, pois se forem secas podem concentrar fluxo de água pluvial, se forem finas e superficiais impedem a infiltração e desagregam partículas de solo. Outro ponto a se observar é o tipo de caule e folha que as plantas contêm. Não pode haver árvores de porte maior nos taludes, visto

que as forças atuantes provocam deslizamentos de terra, se elas forem altas a ação do vento pode produzir forças sobre a massa do solo de forma a induzir um desmoronamento. Caso essas últimas tiverem suas folhas largas pode causar erosão, um fenômeno conhecido como efeito *splash*.

Para a efetivação do sistema, será necessário um planejamento prévio para reabilitar a rede de coleta de esgoto nas residências, separando os tipos de efluentes em águas cinzas e negras e fornecendo a cada tipo uma destinação apropriada. No caso, as águas negras necessitariam de uma nova rede de coleta que encaminhe o fluído para a rede pública de efluentes mais próxima da casa. Enquanto isso, as águas cinzas seriam conduzidas por meio de tubulações para o local onde o círculo de bananeiras se encontra.

Sabendo que em média cada moradia do morro do Córrego da Telha há entre 4 a 5 habitantes, um círculo de 1m de diâmetro e 1m de profundidade seria o suficiente para atender a demanda. Apesar da montagem do sistema utilizar materiais simples e de fácil acesso, para que se tenha um bom rendimento é necessário realizar manutenções, realizando a reposição das camadas sempre que necessário, principalmente as camadas superiores, pois estão mais expostas a agentes degradadores, como as chuvas por exemplo.

#### 4.1.3 Tecnologia com a utilização dos Jardins Filtrantes.

Ao se analisar o estudo do mecanismo realizado pelas raízes das plantas macrófitas, foi sugerido uma implantação de um sistema composto de um jardim para o morro do Córrego da Telha. No entanto, essa tecnologia está condicionada aos espaços disponíveis para sua implementação, o que não ocorre com a área do projeto do morro, pois é de conhecimento público que essas zonas de Recife comumente possuem alta densidade populacional de habitantes por unidade de área. Com o quantitativo de moradores aparentemente eminente, poucas áreas disponíveis sobram, restando apenas a eleição de desapropriação de terras para a efetivação dos jardins filtrantes.

A escolha mais apropriada do terreno, que favorece as diretrizes de projeto e evita o desemposse de habitantes é o espaço livre pertencente a empresa fornecedora de alumínio e vidro, a Aluvid. É neste local, tarjado em verde conforme a figura 25, onde possibilita a implantação do sistema e nele podem ser estabelecidas as três principais etapas do tratamento: os filtros verticais, os horizontais e a lagoa plantada.

Figura 25 - Área onde poderá ser estabelecido o Jardim Filtrante – Bairro Passarinho.



Fonte: GOOGLE EARTH (2024).

Visando evitar a instalação de uma Estação de Tratamento de Efluentes compacta no local indicado, visto que sua implementação e manutenção tendem ser economicamente mais custosas, além de requerer regulamentações especiais, o incentivo ao uso dos jardins propõe uma solução mais simplificadora com menores despesas, maior conforto paisagístico e com o emprego de mecanismos plenamente ecológicos.

Contudo, tal solução exige a execução de uma fase que precede ao tratamento, ou seja, é necessário que seja realizada uma elaboração de um sistema de coleta e transporte de efluentes, de forma que todo esgoto coletado por uma rede de tubulações possa ser encaminhado para o ponto de tratamento.

Após o estágio de depuração do efluente e validação da qualidade do efluente tratado de acordo com o enquadramento e classificação do corpo de água, todo líquido tratado será encaminhado para seu devido destino: o córrego.

Para melhor compreensão do planejamento da estruturação do jardim filtrante, no item 2.4.2.3.1, foi detalhado um caso prático do jardim filtrante já existente na cidade do Recife, onde todas as etapas envolvidas nesse sistema servem para melhor esclarecimento, pois serve de modelo base para a concretização da ideia.

## **4.2 Resultados das análises de cada tecnologia aplicada no morro Córrego da Telha**

### **4.2.1 Filtros de Areia e Carvão Ativado.**

Sabendo da relevância da reutilização das águas cinzas em cenários onde a população carece do acesso ao saneamento básico, o uso dos filtros de areia e carvão ativado possuem uma contribuição positiva quando se trata do uso de efluentes tratados para fins não potáveis como lavagem de piso, por exemplo. O método auxilia na redução de consumo de água potável para finalidades menos nobres e de certa forma colabora para a sustentabilidade hídrica das cidades, já que em regiões onde não há uma gerência de tratamento de efluentes, a prática do despejo do esgoto bruto em corpos hídricos é notoriamente frequente (HESPANHOL, 2003).

Os filtros de areia têm sua contribuição no quesito de remoção de sedimentos de granulometria maior como a areia, a argila e partículas sólidas que ficam suspensas no fluido, que causam turbidez, podendo alterar o odor e sabor das águas. Já o carvão ativado demonstra ser bastante utilitário quando se trata do processo de adsorção para partículas muito menores. Esse fenômeno se resume na atração física e química de átomos, moléculas ou íons que ficam retidos na superfície do carvão, o qual possui uma certa porosidade para facilitar a reação química e física entre os contaminantes e impurezas com o carbono presente no carvão. Desse processo, é possível remover uma quantidade significativa de cloro, compostos orgânicos, metais pesados (chumbo, mercúrio e cádmio) e determinadas substâncias químicas presentes nas águas cinzas, ademais, outros benefícios podem ser desfrutados. A ação de garantir um bom funcionamento dos filtros depende da realização da manutenção adequada, sempre seguindo as diretrizes e recomendações do fabricante. E assim, promover uma tecnologia econômica e eficiente em prol do desenvolvimento do saneamento básico e da prevenção de doenças de vinculação hídrica (BIO, 2001).

Todavia, tal método ainda apresenta determinadas observações que podem trazer implicações para o estudo de caso do Morro Córrego da Telha. Nisto, foram listados os seguintes pontos analisados:

- é uma tecnologia que demanda de grandes áreas disponíveis para a instalação dos reservatórios, visto que são estruturas robustas e de difícil mobilidade. No morro, a maioria dos moradores não possuem espaços e terrenos livres em suas residências para poderem usufruir do sistema de tratamento;
- dependendo do local onde o sistema será instalado pode ocorrer o mal aproveitamento total da tecnologia, pois na maioria das casas já estão construídas as instalações hidrossanitárias, isso dificulta a captação das águas provenientes das áreas de serviço, onde nem sempre será possível a redefinição das instalações;
- o orçamento para a montagem de equipamentos e instalação do sistema são desvantajosos no aspecto relacionado ao custo-benefício. Na Tabela 01 e Tabela 02, conforme o estudo de BOITRAGO (2018) para implantação da alternativa em uma residência de até 5 habitantes, podemos ver quais são os principais materiais utilizados, com seus respectivos quantitativos e valores dos custos da execução e implantação do sistema, sabendo que o número de habitantes por residência na área de estudo varia entre 3 a 5 habitantes, desta forma é possível realizar essa comparação por residência;
- Segundo Dixon et al. (1999), dependendo da taxa de consumo diário do fluído tratado em uma residência unifamiliar, em casos em que a oferta for maior do que a demanda haverá acúmulo e armazenamento de líquido por longo prazo no reservatório de água tratada. Isso pode acarretar problemas de odores, visto que o sistema não garante remoção total de matéria orgânica e muito menos a eliminação dos microrganismos, os quais possivelmente podem entrar em atividade nesse determinado período de armazenagem de água tratada.

Tabela 1 - Tubulações e Conexões utilizadas na ETE-piloto para uma residência.

<b>Trecho</b>	<b>R1 para R2</b>	<b>R2 para filtro</b>	<b>Filtro para reservatório de água tratada</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Registro de Gaveta (UN)</b>	1	1	-	-
<b>Joelho 90° (UN)</b>	3	-	2	2
<b>Joelho soldável 45° (UN)</b>	1	-	-	-
<b>Tubulação DN 25 (M)</b>	-	-	-	0,56
<b>Tubulação DN 40 (M)</b>	3,95	-	-	-
<b>Tubulação DN 50 (M)</b>	2	0,49	0,64	-
<b>Adaptador soldável com anel para caixad'água (UN)</b>	2	2	2	1
<b>Válvula redutora (UN)</b>	1	-	-	-
<b>Luva soldável com bucha de latão (UN)</b>	1	-	-	-
<b>Torneira esfera de metal (UN)</b>	-	-	-	1
<b>Tê roscável (UN)</b>	1	-	-	-
<b>União roscável (UN)</b>	2	-	-	-
<b>Bomba d'água elétrica periférica de 1 HP (UN)</b>	1	-	-	-

Fonte: Organizada pelos autores a partir de dados do estudo BOITRAGO (2018).

Legenda: R1 = reservatório inferior

R2 = reservatório superior

Tabela 2 - Custo de implantação da ETE-piloto para uma residência.

<b>Itens</b>	<b>Valor</b>
<b>Estrutura metálica</b>	R\$ 2.000,00
<b>Mão de obra de estrutura</b>	R\$ 350,00
<b>Mão de obra para instalação elétrica</b>	R\$ 150,00
<b>Materiais</b>	R\$ 1.666,49
<b>Meio Filtrante (seixo, areia, carvão ativado e manta geotêxtil)</b>	R\$ 683,51
<b>Outros</b>	R\$ 120,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 4.970,00</b>

Fonte: Organizada pelos autores a partir de dados do estudo BOITRAGO (2018).

#### 4.2.2 Círculo das Bananeiras.

O círculo das bananeiras tem se mostrado como uma solução bastante prática e sustentável. Em cenários em que uma comunidade é desprovida de serviços públicos de saneamento básico, tal tecnologia vem apresentando resultados promissores, além de ser muito vantajoso no quesito de custo-benefício (COUTINHO; LIMA; RIZZATTI, 2012). Sendo listado as seguintes vantagens:

- diminui o consumo de água tratada para casos de irrigação, visto que o efluente tratado pode auxiliar na produtividade de certas culturas, principalmente em tempos de seca, servindo como fonte de água e nutrientes para as plantas (AYERS et al., 1985 e LAZAROVA; BAHRI, 2008);
- o aspecto largo das folhas presente nas bananeiras favorece a interceptação das gotas de chuva. Essa ação, provocada pela parte aérea da vegetação, varia com a intensidade e o volume desta e com as características da superfície foliar. De acordo com Coppin e Richards (1990), para locais com revestimento arbóreo, ocorre uma interceptação média de 30%, ao longo do ano. Tal fato pode amenizar os acontecimentos de deslizamentos da massa taludada ocasionados devido as precipitações.
- mantém nutrientes no local na medida em que vai ocorrendo a decomposição da matéria orgânica, ocorrendo a aparição de elementos que

serão benéficos às plantas, como o fósforo, magnésio, cálcio, enxofre e alguns micronutrientes (ALCÂNTARA, 2017);

- favorece o crescimento e produtividade da vegetação local devido à alimentação fornecida pelos nutrientes gerados, auxiliando desta forma a planta em seu funcionamento do metabolismo celular (LEAL, 2016);
- reduz o volume de esgoto e o impacto em fossas, visto que essas últimas geralmente são isentas de mecanismos que auxiliem na degradação da matéria orgânica e filtros que retém partículas sólidas (LEAL, 2016).

No entanto, há certas limitações que podem impactar a sua eficácia quando esta for estabelecida nas habitações da população do morro. Desses impasses pode-se destacar os seguintes pontos:

- antes de estabelecer o sistema dos círculos é fundamental um estudo geotécnico do local contendo informações do nível do lençol freático e da taxa de permeabilidade do solo, visto que para a efetivação da tecnologia do círculo das bananeiras a vala não pode ser impermeabilizada nem compactada. Logo, tal solução não deve ser implantada nos casos em que o solo que tem alta taxa de infiltração ou alto nível de lençol freático;
- sabe-se que o sistema depende de seres vivos para a sua funcionalidade, tais como as bactérias degradadoras de matéria orgânica, as plantas e os vegetais. Diante disso, o mal-uso da água, contendo altas quantidades de contaminantes vindos dos produtos de limpeza e micropoluentes, como os desreguladores endócrinos e alguns fármacos por exemplo, podem causar a mortalidade desses seres que auxiliam no processo de tratamento de águas cinzas e, conseqüentemente, comprometer toda a atividade dessa tecnologia (MATTOS, 2015). Então, é de extrema importância um estudo prévio sobre as características físicas, químicas e biológicas dos efluentes e a conscientização aos moradores locais sobre a forma de consumo da água;
- a implantação do círculo das bananeiras promove a recarga do lençol freático, pois quando há uma infiltração do fluido no solo, todas as partículas sólidas ficam retidas nas camadas e as águas tratadas nessa fase alimentarão o aquífero. No entanto, a presença de raízes vegetais

influencia na condutividade hidráulica do solo, ação pode acarretar os deslizamentos das encostas (STEPHENS, 1996; HILLEL, 1998; TINDALL e KUNDEL, 1999);

- como explicitado no item 4.1.2, o círculo das bananeiras será restrito aos moradores que habitam na zona inferior do talude do morro, já que o local corre risco de desabamentos ou desmoronamentos devido à elevada instabilidade do solo. Qualquer obra que exija escavações nas zonas superiores do morro pode ser perigosa e fatal, pois de acordo com o Diário de Pernambuco (2019) e o Folha de Pernambuco (2019), já houve ocorrência de desmoronamento devido à fragilidade dos taludes no bairro do Passarinho, ocasionando a morte de duas vítimas nesta situação, outros métodos terão que ser estudados para complementar o sistema de esgotamento sanitário do morro e assim assegurar que todos tenham acesso ao saneamento básico.

#### 4.2.3 Jardins Filtrantes.

Apesar do método necessitar de um sistema de coleta e transporte integrado ao jardim, podemos inferir que tal alternativa possui um mecanismo sustentável de tratar águas cinzas bastante peculiar, principalmente, no que se refere à funcionalidade das raízes macrófitas. Pois, não somente vêm ganhando destaque quanto as questões econômicas e operacionais, mas também por ser um protótipo que se adequa às limitações socioambientais apresentadas pelo morro do Córrego da Telha.

Podem-se pontuar as principais características que tornam o uso dessa tecnologia bastante concludente, como também suas respectivas implicações:

- favorece o desenvolvimento do saneamento básico quando se utiliza de artifícios sustentáveis, onde o principal agente depurador são as diversas espécies de plantas que com o auxílio dos microrganismos realizam a fitorremediação. Dessa forma, o ecossistema natural dos corpos hídricos é conservado e, conseqüentemente, haverá uma melhoria para o setor de saúde pública;
- haverá uma melhor economia de água, pois serão evitados os descartes inadequados no corpo hídrico. Em comparação com os demais tratamentos

convencionais e não convencionais, não haverá custos significativos para a sua implantação, operação e manutenção, conforme as Tabelas 03 e 04 podemos ver quais são os materiais utilizados, com seus respectivos quantitativos e valores dos custos da execução e implantação do sistema para uma residência;

Tabela 3 - Materiais necessários para implantação de um jardim filtrante.

<b>Materiais</b>	<b>Quantitativos</b>
<b>Geomembrana de EPDM ou equivalente (7 m x 4 m)</b>	1
<b>Membranas geotêxteis (7 m x 4 m)</b>	2
<b>Flanges para geomembrana (100 mm) ou equivalente</b>	2
<b>Pedra britado n° 2 ou 3</b>	2 m <sup>3</sup>
<b>Tela de nylon (1,2 m x 10 m)</b>	1
<b>Areia grossa</b>	2,5 m <sup>3</sup>
<b>Caixa d'água (50 a 100 L) com tampa</b>	1
<b>Caixa de gordura (DN 100) com tampa</b>	1
<b>Tubulações e conexões de PVC 100 mm</b>	6 m
<b>Plantas aquáticas e ornamentais, também conhecidas como plantas macrófitas.</b>	-

Fonte: Organizada pelos autores a partir de dados da EMBRAPA (2013).

Tabela 4 - Custo de Implantação de Jardim Filtrante para uma residência.

<b>Itens</b>	<b>Valores</b>
<b>Geomembrana</b>	R\$ 597,55
<b>Membrana geotêxtil</b>	R\$ 739,80
<b>Flanges para geomembrana</b>	R\$ 531,30
<b>Pedra britada</b>	R\$ 210,10
<b>Tela de nylon</b>	R\$ 95,15
<b>Areia grossa</b>	R\$ 302,65
<b>Caixa d'água</b>	R\$ 189,90
<b>Caixa de gordura</b>	R\$ 105,00
<b>Tubulações e conexões em PVC</b>	R\$ 76,40
<b>Plantas macrófitas</b>	R\$ 225,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 3072,85</b>

Fonte: OS AUTORES (2024).

- proporciona o bem-estar e o embelezamento paisagístico, a versatilidade na forma em que se dispõe os jardins traz uma harmonia e equilíbrio que estimula atividades de lazer, mas também outros seres vivos que compõem o ecossistema;
- promove a atração da fauna e desenvolvimento da flora, pois a funcionalidade dos jardins favorece a conservação e restauração do ecossistema natural, tornando o ambiente habitável e proveitoso para os seres vivos que neles estão inseridos.

Contudo, a ideia defendida pelo projeto ainda apresenta alguns impasses que devem ser levados em consideração, um deles é a questão do acordo que deve ser realizado para desapropriar parte do terreno da empresa privada. Outra avaria, que não é a menos importante, são os altos investimentos com planejamentos e tecnologias sofisticadas para a execução de uma rede de coleta e transporte em uma área de risco de deslizamento.

Para contornar esse problema, uma das recomendações que possibilita a mitigação desses efeitos negativos, relacionado a instalação de rede coletora de esgoto, seria a adoção de um sistema condominial de esgotamento sanitário. O modelo não se restringe somente às áreas urbanizadas, mas é eficaz até em comunidades de bairros suburbanizados, em favelas, lugares de topografia complexa e locais em que não há arreamento definido nem regularização imobiliária (MEZZOMO, 2019). Essa adaptação se dar devido ao seu planejamento que se dispõe de forma mais otimizada e organizada em comparação com os sistemas convencionais.

A tecnologia se fundamenta na premissa de que deve ocorrer a participação da comunidade desde a fase da concepção até execução do projeto, visto que é a mais indicada para expor suas demandas e necessidades de forma a se obter uma melhor gestão integrada dos serviços urbanos.

O sistema condominial de esgoto oferece vantagens quanto ao seu aspecto econômico, onde haverá uma diminuição nos custos de implantação do sistema, no que se refere ao quantitativo de tubulações utilizadas, número de ligações, uso de tubos com menores diâmetros nos trechos identificados como ramais e a instalação de caixas de inspeção para melhor garantia de manutenção.

Ademais, no que se refere a estabilidade do morro, o sistema pode permitir uma maior segurança na fase de execução da obra, já que o sistema se utiliza de valas de baixas

profundidades: 40 cm para canalizações no interior dos lotes e 70 cm nos ramais externos (SANTIAGO, 2008).

## 5 CONCLUSÃO

A implementação de um sistema de esgotamento sanitário através de métodos alternativos no morro Córrego da Telha é uma grande iniciativa para enfrentar os desafios que a região enfrenta. Analisando as limitações financeiras e geográficas, como topografia acidentada e a vulnerabilidade para deslizamentos de terra, os métodos oferecem uma solução sustentável garantindo o acesso para os serviços de saneamento básico.

Ao utilizarmos um dos métodos não convencionais citados neste trabalho, como jardins filtrantes, círculo de bananeiras e filtros de areia e carvão ativado, pode-se mitigar os impactos ambientais, promover a qualidade de vida da população e uma melhoria na saúde pública. Essas soluções além de tratar os efluentes de forma eficiente também contribui na proteção aos ecossistemas locais e na conservação dos recursos hídricos, além do fornecimento ao acesso de saneamento básico essencial a vida, como também a promoção do desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições para a vida da população do Morro Córrego da Telha.

O método dos filtros de areia e carvão ativado, apesar de se apresentar como uma opção sustentável e simplificadora, por se tratar de um mecanismo que reutiliza a água consumida e por ser constituída de materiais que facilmente são encontrados no comércio (como areia, carvão ativado entre outros), há importantes limitações que a impedem de ser o modelo ideal para ser aplicado no local de projeto. Pois já não há espaços disponíveis para a maiorias das residências, visto que poucas casas possuem quintais com porte para receber toda a estruturação exigida pelo sistema. Além disso, vale salientar que a eficiência do tratamento do efluente está em função do valor da taxa de consumo diário da água tratada, ou seja, se houver mais armazenamento do que consumo de água tratada problemas como mau odores e proliferação de microrganismos podem surgir e, conseqüentemente, acarretar outras complicações e desconfortos.

Para o caso do uso do círculo bananeiras, a tecnologia que traz benefícios em relação a ação de nutrir o solo, por meio da decomposição da matéria orgânica, recarregar o lençol freático, favorecer a produtividade da vegetação ou das culturas a partir dos

nutrientes absorvidos do solo, por motivo semelhante aos filtros de areia e carvão, deixa de ser a solução ideal para o morro Córrego da telha. Isso pode ser justificado pelo simples fato de que tal técnica exige áreas disponíveis para a implantação do sistema, o que não ocorre com o local de projeto. Ademais, ainda que houvesse espaços apropriados para a implementação do Círculo das Bananeiras em todas as casas do morro, tal opção seria altamente perigosa e ariscada, diante de um estado de alta instabilidade de taludes que o local apresenta.

Conforme o resultado das análises descrito no item anterior, a escolha da alternativa que mais se sobressaiu e que demonstra ser a mais apropriada para o atendimento das necessidades dos moradores do morro é o uso da tecnologia dos Jardins Filtrantes com o sistema condominial integrado auxiliando na captação dos resíduos e transporte de esgoto para que a meta seja alcançada, se tornou a solução que traz menos impactos negativos.

Com o auxílio de um bom planejamento de um sistema condominial de esgotamento sanitário, o qual otimiza e organiza a distribuição das redes que coletam de forma a não fragilizar a baixa estabilidade das encostas e a implementação de um jardim filtrante composto de suas respectivas estruturas sustentáveis (as plantas) e unidades de tratamento (preliminar, primário e secundário) instalado em um possível terreno próximo a área de projeto, podemos oferecer no aspecto ecológico e econômico uma melhor gestão de saneamento básico para a população do morro do Córrego da telha. A ideia poderá servir de modelo para o benefício de outros habitantes que residem em locais de mesmas restrições no município de Recife.

## **5.1 Aprimoramento (Pontos de melhoria para futuras pesquisas na Área de estudo)**

Para uma melhor concretização das etapas do projeto e, conseqüentemente, uma execução bem elaborada livre de impasses, é imprescindível que haja a realização de determinados estudos que nortearão e contribuirão para a formação de um planejamento eficiente e adequado, que sempre visa a excelência dos serviços, melhor atendimento e satisfação daqueles que os usufruem. Nesse contexto, destacaremos alguns pontos essenciais para o aprimoramento do projeto:

- diagnóstico da rede existente;
- estudo climático;
- estudo geográfico/ topografia;
- estudo da hidrografia e hidrologia;
- estudo geotécnico;
- estudo demográfico e populacional;
- estudo de alcance de projeto;
- estudo de parâmetros – aspectos quantitativos (per capita, vazão de projeto, taxa de infiltração);
- estudo dos parâmetros que caracterizam o fluente – aspectos qualitativos (teor de sólidos, temperatura, odor, cor, turbidez, DBO, DQO, oxigênio dissolvido, carbono orgânico total, nitrogênio, fósforo, matéria inorgânica e composição microbiológica como os vírus, bactérias, fungos, protozoários e algas);
- levantamento de locais que possuem interferências;
- avaliação ambiental, social e socioambiental;
- avaliação econômica/ estimativas de custo/ orçamento;
- viabilidade técnica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUA E EFLUENTE. **Tratamento de esgoto**. Disponível em: <https://www.aguaeefluentes.com.br/post/etapas-de-tratamento-do-esgoto>. Acesso em: 17 jan. 2024.

AGUAESANEAMENTO. **Municípios e Saneamento**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pe/recife>. Acesso em: 31 mar. 2024.

ALCÂNTARA, Rosa Maria Cardoso Mota de. Embrapa. O que faz uma planta crescer sadia?. [S.l.]. Embrapa Meio-Norte, 2017. Disponível em: [https://www.embrapa.br/contando-ciencia/cultivos/-/asset\\_publisher/SQBdWkKUgSON/content/os-alimentos-das-plantas/1355746?inheritRedirect=false](https://www.embrapa.br/contando-ciencia/cultivos/-/asset_publisher/SQBdWkKUgSON/content/os-alimentos-das-plantas/1355746?inheritRedirect=false). Acesso em: 15 dez. 2023.

ARAÚJO, Ronaldo Kanopf de. **REDUÇÃO DE MICROPOLUENTES POR SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO E WETLAND CONSTRUÍDO VERTICAL COM RECIRCULAÇÃO**. 2018. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15965/TES\\_PPGEC\\_2018\\_ARAUJO\\_RONALDO.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15965/TES_PPGEC_2018_ARAUJO_RONALDO.pdf?sequence=1). Acesso em: 23 abr. 2024.

BIO: Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente. Economia de água. Rio de Janeiro, RJ, v.11, n. 18, abr./jun. 2001.

BRK AMBIENTAL. **Estação de tratamento de esgoto**. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 4 mar. 2024.

BRUGNERA, Danilo Florisvaldo; OLIVEIRA, Maíra Maciel Mattos de; PICCOLI, Roberta Hilsdorf. Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão. **Artigo de Revisão**, São Paulo - SP, v. 3, n. 2, p. 277-284, 07 set. 2009. Disponível em: <https://periodicoshomolog.saude.sp.gov.br/index.php/RIAL/article/view/32626/31457>. Acesso em: 06 maio 2024.

CAIXA FORTE. **ETE compacta para Condomínios: Uma solução sustentável e Eficiente**. Disponível em: <https://caixaforte.ind.br/blog/ete-compacta-para->

condominios-uma-solucao-sustentavel-e-eficiente/#:~:text=Desvantagens%20das%20ETEs%20compactas,ETE%20compacta%20pode%20ser%20cara. Acesso em: 1 mai. 2024.

CEMADEN. **Nota Técnica.** Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/midioteca/nota-tecnica-no-1-2023-sadj-vi-sam-cc-pr/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CETESB. **Águas interiores - Reuso de Água.** Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/#:~:text=O%20reuso%20reduz%20a%20demanda,conceito%20de%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20mananciais](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/#:~:text=O%20reuso%20reduz%20a%20demanda,conceito%20de%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20mananciais.). Acesso em: 21 fev. 2024.

CNRH. **Resoluções CNRH.** Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.

COELHO, Arnaldo; PEREIRA, Aloísio. Efeito da Vegetação na Estabilidade de Taludes e Encostas. **Boletim Técnico**, Minas Gerais, v. 2, n. 1, p. 1-22, jun./2006. Disponível em: [https://deflor.com.br/downloads/2-EFEITO\\_DA\\_VEGETA%C3%87%C3%83O\\_NA\\_ESTABILIDADE\\_DE\\_TALUDES\\_E\\_ENCOSTAS.pdf](https://deflor.com.br/downloads/2-EFEITO_DA_VEGETA%C3%87%C3%83O_NA_ESTABILIDADE_DE_TALUDES_E_ENCOSTAS.pdf). Acesso em: 8 mar. 2024.

COELHO, Arnaldo Teixeira et al (ed.). EFEITOS DA VEGETAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES E ENCOSTAS. 002. ed. Belo Horizonte: Editora Fapi Ltda, 2006. 22 p. Disponível em: [https://deflor.com.br/downloads/2-EFEITO\\_DA\\_VEGETA%C3%87%C3%83O\\_NA\\_ESTABILIDADE\\_DE\\_TALUDES\\_E\\_ENCOSTAS.pdf](https://deflor.com.br/downloads/2-EFEITO_DA_VEGETA%C3%87%C3%83O_NA_ESTABILIDADE_DE_TALUDES_E_ENCOSTAS.pdf). Acesso em: 13 mar. 2024.

COOPER *et al.* **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe...** 1. ed. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 1998. p. 1-366.

COPPIN, R.; RICHARDS, T. Use of vegetation in civil engineering. Sevenoaks, Kent: Butterworths. 1990. 305 p.

CORREIA, Rodrigo de Moraes Gonçalves. **BIORREMEDIAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O POTENCIAL DE BIODEGRADAÇÃO POR BIOFILMES MICROBIANOS.** 2022. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Tecnológica, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda - RJ, 2022. Disponível em:

<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/28284/Monografia%20Rodrigo%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 abr. 2024.

COUTINHO, Luana Cássia de Souza; LIMA, Régia Chacon Pessoa de; RIZZATTI, Ivanise Maria. BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E CÍRCULO DA BANANEIRA COMO TEMA GERADOR PARA O ENSINO DE QUÍMICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. In: 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA, 10., 2012, Teresina - PI. Anais [...]. Teresina - PI: SIMPEQUI, 2012. v. 1, p. 1-4. Disponível em: <https://www.abq.org.br/simpequi/2012/trabalhos/274-13506.html>. Acesso em: 15 dez. 2023.

DAVEY, M. E.; O'TOOLE, G. A. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and molecular biology reviews*, v. 64, n. 4, p. 847-867, 2000.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Tragédia dos Deslizamentos na Grande Recife**. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2019/08/um-mes-apos-tragedia-dos-deslizamentos-medo-persiste-no-grande-recife.html>. Acesso em: 29 abr. 2024.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A.; ROBINSON, M. Measurement and modeling of quality changes in untreated grey water. *Urban Water*, London, UK, n.1, p. 293-306, 1999.

ECOAMBIENTALE. **Estações de Tratamento**. Disponível em: <https://www.ecoambientale.com.br/blog/curiosidades/a-importancia-das-estacoes-de-tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 7 mar. 2024.

EMBRAPA. **O que são ODS**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/o-que-sao-os-ods>. Acesso em: 31 mar. 2024.

EOSCONSULTORES. **Água Cinza reutilização**. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/agua-cinza-reutilizacao/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

ESOLIDAR. **Objetivos desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://impactosocial.esolidar.com/pt-pt/2020/03/31/objetivos-desenvolvimento-sustentavel-ods/>. Acesso em: 31 mar. 2024.

FERREIRA, Larissa; SILVA, Karielle Ferreira da; CAMARGO, Bene Eloi Mendes; MORALES, Lucas Sueishi; TOLEDO, Pedro Bergamo; PERES, Renata Bovo. USO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMICILIARES EM PROPRIEDADE RURAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO



HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. Bahia Análises & Dados, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

HILLEL, D. (1998) Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego, 771p.

IBGE. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 8 mar. 2024.

IBGE. PANORAMA DO CENSO. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html>. Acesso em: 8 mar. 2024.

IDE, Willian Ribeiro; IDE, Carlos Nobuyoshi; GONÇALVES, Fábio Veríssimo; VAL, Luiz Augusto Araujo do; RIBEIRO, Maria Lúcia. CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: TRATAMENTO DE RESÍDUOS LABORATORIAIS CONTENDO METAIS PESADOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2013, Bento Gonçalves. Anais [...]. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. v. 1, p. 1-8. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/0e65d221ba9e4831e386839a9da752e3\\_6bef91a85af710a308d2017748bf8e94.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/0e65d221ba9e4831e386839a9da752e3_6bef91a85af710a308d2017748bf8e94.pdf). Acesso em: 02 fev. 2024.

IPAAM. **NBR 13969**. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-13969-97-TS-Unid-trat-complem-e-disposi%C3%A7%C3%A3o-final.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

KIELING, Amanda Gonçalves. ADSORÇÃO DE BTEX - BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENO - EM CINZA DE CASCA DE ARROZ E CARVÃO ATIVADO. 2016. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/143762/000997757.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jan. 2024.

LEAL, Jane Terezinha da Costa Pereira. Círculo de bananeiras para tratamento de efluentes rurais. Belo Horizonte: Emater - Minas Gerais, 2016. 9 p. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2023.

LEVY, A. et al. Marine periphyton biofilters in mariculture effluents: nutrient uptake and biomass development. Aquaculture, v. 473, p. 513-520, 2017.

LI, Y.; ZHU, G.; NG, W. J.; TAN, S. K. A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism. *Sci Total Environ.*, v. 468–469, p. 908–932, 2014.

MANCUSO *et al.* **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2003. p. 11-12.

MANSOUR, H. B. et al. Bioremediation of industrial pharmaceutical drugs. *Drug and Chemical Toxicology*, v. 35, n. 3, p. 235-240, 2012.

MARTINS, Márcia Viana Lisboa; MARTINS JUNIOR, Rubens. Dimensionamento de Filtro de Areia para Tratamento de Água Cinza do Bloco Novo do IRN1. *Revista Brasileira de Energia Renováveis*, Itajubá - MG, v. 5, n. 3, p. 356-363, 1 dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/48130/pdf>. Acesso em: 25 nov. 2023.

MATTOS, Caio Petrillo Vieira de; CÁRDENAS, Daniel Valencia; MURATA, Kiemi de Brito; FERREIRA, Matheus Almeida; SANTOS, Mayara Oliveira dos; WILLMAN, Patrícia Pacheco de Carvalho; YONAMINE, Silvia Machado; MORAES, Valmir de. *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto*. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2023. 108 p. Disponível em: [https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2023.pdf](https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf). Acesso em: 04 abr. 2024.

MATTOS, Maria Laura Turino. *Microbiologia do solo*. São Carlos - SP: Editora Cubo, 2015. 23 p. Embrapa. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1034181>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MELO, J.C. *Sistema Condominial de esgotos – razões, teoria e prática*. Recife: Caixa Federal, 1994.

MELO, J.C.R. *Sistema Condominial – Uma Resposta ao Desafio da Universalização do Saneamento*. Ministério das Cidades, 2008. 376 p.

MENDES, Maria Estela Ribeiro; PINA, Silvia Aparecida Mikami Gonçalves. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS: aplicação de jardins filtrantes, jardins de chuva e biovaletas. *Revista Foco*, Campinas - SP, v. 16, n. 3, p. 1382-1426, 17 mar. 2023. South Florida Publishing LLC.

<http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v16n3-097>. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1382/1006>. Acesso em: 19 fev. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 3**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/3>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 6**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 11**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 13**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 14**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/14>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 15**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15>. Acesso em: 11 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS 17**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/17>. Acesso em: 11 mar. 2024.

OLIVEIRA, Gesner; SCAZUFCA, Pedro; SAYON, Pedro Levy. **RANKING DO SANEAMENTO DO INSTITUTO TRATA BRASIL DE 2023 (SNIS 2021)**. 3. ed. São Paulo - SS: GO Associados, 2023. 118 p. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio\\_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf). Acesso em: 20 mar. 2024.

OTTERPOHL, R. **Black, brown, yellow, grey: the new colors of sanitation**. 5. ed. [S.l.]: Water 21, 2021. p. 31-41.

PAES, W. M.; CRISPIM, M. C.; FURTADO, G. D. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. *Gaia Scientia*, João Pessoa, Vol. 8, pag. 226 – 247, 2014.

PASSOS, Erik Santos; BRANDÃO, Louise Francisca Sampaio; CARVALHO, Roseanne Santos de. TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS POR MEIO DE FILTRO COM LEITO ASSOCIADO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, ESPONJAS UTILIZADAS E ANTRACITO. *Tecnologia e Ambiente*, [S.L.], v. 27, p. 34-49, 21 jul.

2021. Fundacao Educacional de Criciuma- FUCRI.  
<http://dx.doi.org/10.18616/ta.v27i0.6489>. Disponível em:  
<https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/6489/pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

PHYTORESTORE. **Jardins Filtrantes**. Disponível em:  
[https://issuu.com/meribeioromendes/docs/jardins\\_filtrantes\\_phytorestorebr\\_2#google\\_vignette](https://issuu.com/meribeioromendes/docs/jardins_filtrantes_phytorestorebr_2#google_vignette). Acesso em: 4 nov. 2023.

PLANALTO. **L11445**. Disponível em:  
[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm#art49a](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm#art49a). Acesso em: 5 mar. 2024.

PLANALTO. **L14026**. Disponível em:  
[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em: 5 mar. 2024.

PLANALTO. **L14546**. Disponível em:  
[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2023/Lei/L14546.htm#art2](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14546.htm#art2). Acesso em: 5 mar. 2024.

PREFEITURA DO RECIFE. **Obras em Morros da Zona Norte**. Disponível em:  
<https://www2.recife.pe.gov.br/noticias/12/03/2023/obras-em-morros-da-zona-norte-do-recife-garantem-mais-seguranca-populacao>. Acesso em: 29 abr. 2024.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO Básico (PROSAB). (2001). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**/Carlos Augusto Lemos Chernicharo, Rio de Janeiro: ABES.

REPOSITÓRIO UFPE. **Análise de Uso de Jardim Filtrante para tratamento de águas cinzas**. Disponível em:  
<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/46872/1/RANIERI%20FERNANDES%20DINIZ%20FILHO-AN%c3%81LISE%20DO%20USO%20DE%20JARDIM%20FILTRANTE%20PARA%20TRATAMENTO%20DE%20%c3%81GUAS%20CINZAS.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2024.

RIBEIRO, Beatriz de Fátima; BLAUTH, Gabrielle Peruch. ESTUDO DA EFETIVIDADE DOS JARDINS FILTRANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS. 2. ed. Campinas - SP: UFS, 2019. 21 p. Disponível em:

<https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3050.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2023.

RODRIGUES, Camila Ribeiro; FIGUEIREDO JUNIOR, Carlos Antônio; PAZ, Elaine da Cunha Silva; PEDROZA, Marcelo Mendes; ARRUDA, Matheus Gomes; LÔBO, Ranyere do Nascimento. TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PELO PROCESSO COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Palmas - PI, v. 12, n. 2, p. 1-10, 29 jun. 2020. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/14878/209209213417>. Acesso em: 16 dez. 2023.

RODRIGUES, G. *et al.* Avaliação de Novas Tecnologias de Tratamento descentralizado desenvolvidas para o saneamento rural. **Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-10, nov./2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/11/tecnologias-tratamento-descentralizado-saneamento-rural.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

RUBIM, Cristiane. Tratamento de efluentes com Wetlands e jardins filtrantes construídos artificialmente: efluentes industriais e sanitários - natura ecoparque. 34. ed. São Paulo: Revista Tae, 2017. 10 p. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Noticia/67563/tratamento-de-efluentes-com-wetlands-e-jardins-filtrantes-construidos-artificialmente>. Acesso em: 15 dez. 2023.

SANEAMENTO RURAL UNICAMP. **Fossa Verde e Círculo de Bananeiras**. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%3%adrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SANTOS, A. L. S. et al. What are the advantages of living in a community? A microbial biofilm perspective. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 113, 2018.

SANTOS, Beatriz Feitosa Sandes dos; FACCIOLI, Gregorio Guirado; CARVALHO, Roseanne Santos; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues; PASSOS, Erik Santos. Filter Gardens A Nature-Based Solution for Gray Water Treatment. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, Aracaju - SE, v. 18, n. 4, p. 1-25, 12 mar. 2024. *RGSA-Revista de Gestao Social e Ambiental*. <http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-088>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/378921282\\_Filter\\_Gardens\\_A\\_Nature-Based\\_Solution\\_for\\_Gray\\_Water\\_Treatment/fulltext/65f1b24d286738732d3e09f9/Filte](https://www.researchgate.net/publication/378921282_Filter_Gardens_A_Nature-Based_Solution_for_Gray_Water_Treatment/fulltext/65f1b24d286738732d3e09f9/Filte)

r-Gardens-A-Nature-Based-Solution-for-Gray-Water-Treatment.pdf?\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uInwi cGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19. Acesso em: 17 mar. 2024.

SHABBIR, S. et al. Evaluating role of immobilized periphyton in bioremediation of azo dye amaranth. *Bioresource Technology*, v. 225, p. 395-401, 2017a.

SHABBIR, S. et al. Periphyton biofilms: A novel and natural biological system for the effective removal of sulphonated azo dye methyl orange by synergistic mechanism. *Chemosphere*, v. 167, p. 236-246, 2017b.

SHABBIR, M. et al. Removal enactment of organo-phosphorous pesticide using bacteria isolated from domestic sewage. *Bioresource technology*, v. 263, p. 280-288, 2018.

SILVA, Diego Patrick Melo da; PEREIRA, Igor Nonato Almeida. Análise da reutilização de águas cinzas para fins não potáveis / Analysis of the reuse of ash water for non-drinking purposes. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 72853-72869, 21 jul. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n7-454>. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/33238/pdf>. Acesso em: 25 fev. 2024.

SILVA, Josefa Camila Araújo da. Tratamento de esgoto doméstico através de círculo de bananeiras e tanque de evapotranspiração. 2017. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/24968/1/TCC%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO%20DOM%20c3%89STICO%20-%20JOSEFA%20CAMILA%20ARA%20c3%9aJO%20DA%20SILVA.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SILVA, Rosilvania Ferreira da. Avaliação da viabilidade de reuso da água cinza tratada em filtro biológico. 2017. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Eixo da Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia - AL, 2017. Disponível em:

<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/3709/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20viabilidade%20de%20re%20C3%BAso%20da%20C3%A1gua%20cinza%20trata%20em%20filtro%20biol%C3%B3gico.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2023.

- STEPHENS, D. B. (1996) *Vadose Zone Hydrology*. Lewis Publishers, 347p.
- SUSTENTARQUI. **Soluções Sustentáveis de Saneamento**. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/solucoes-sustentaveis-de-saneamento/>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- TCE PE. **Painel de Saneamento TCE**. Disponível em: [https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/f01982c2-6e21-40cc-9101-c9c616945663/page/p\\_90qwrh96c?s=IOU7wvYJrq8](https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/f01982c2-6e21-40cc-9101-c9c616945663/page/p_90qwrh96c?s=IOU7wvYJrq8). Acesso em: 1 mai. 2024.
- TINDALL, J. A.; KUNDEL, J. R. (1999) *Unsaturated Zone Hydrology for Scientists and Engineers*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 624p.
- TONETTI, Adriano Luiz; SANTOS, Bárbara S. C dos; FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles. *Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras*. Campinas - SP: Biblioteca Unicamp, 2018. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%ADrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- TRATA BRASIL. **Principais estatísticas para o esgoto no Brasil**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/egoto/>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil de 2023**. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio\\_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf). Acesso em: 2 mai. 2024.
- TRATA BRASIL. **Ranking Do Saneamento do Instituto Trata Brasil de 2023**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio-Completo-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2024.
- TRATA BRASIL. **Ranking Saneamento 2023**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Press-release-ATUALIZADO-Ranking-do-Saneamento-2023.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2024.
- TSUTIYA, MILTON TOMOYUKI; SOBRINHO, PEDRO ALEM. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/brunelasn/coleta-e-transporte-de-egoto-tsutiya>. Acesso em: 20 fev. 2024.

## ANEXOS

Tabela 5 - Indicadores dos 20 melhores municípios.

Município	UF	Ranking de 2023	Ranking de 2022	Variação no Ranking	Prestadores	População Total (IBGE)	Indicador de Atendimento Total de Água (%)	Indicador de Atendimento Total de Esgoto (%)	Indicador de Tratamento Total de Esgoto (%)	Investimento Total de 2017 a 2021 (RS MM)	Investimento Médio per Capita (RS/hab.)	Indicador de Perdas na Distribuição (%)	Indicador de Perdas Volumétricas (L/lig./dia)
São José do Rio Preto	SP	1	9	8	SEMAE	469.173	100,00	93,93	91,58	292,43	124,66	20,98	163,57
Santos	SP	2	1	-1	SABESP	433.991	100,00	99,93	97,60	172,55	79,52	15,94	276,26
Uberlândia	MG	3	2	-1	DMAE	706.597	100,00	98,24	82,18	496,38	140,50	24,73	287,85
Niterói	RJ	4	23	19	CAN	516.981	100,00	95,55	100,00	194,26	75,15	24,79	357,53
Limeira	SP	5	6	1	BRKL	310.783	97,02	97,02	92,50	340,09	218,86	20,20	132,40
Piracicaba	SP	6	7	1	SEMAE	410.275	100,00	100,00	100,00	664,12	323,74	54,56	621,13
São Paulo	SP	7	4	-3	SABESP	12.396.372	100,00	100,00	71,35	12.974,76	209,33	29,85	260,09
São José dos Pinhais	PR	8	3	-5	SANEPAR	334.620	99,99	84,44	73,09	329,80	197,12	24,60	306,42
Franca	SP	9	5	-4	SABESP	358.539	100,00	100,00	98,82	171,39	95,60	28,89	162,97
Cascavel	PR	10	8	-2	SANEPAR	336.073	99,99	99,99	100,00	264,70	157,52	37,54	247,78
Ponta Grossa	PR	11	11	0	SANEPAR	358.838	99,99	99,98	88,25	235,44	131,22	39,59	252,13
Sorocaba	SP	12	22	10	SAAE	695.328	98,49	98,22	90,08	385,92	111,00	33,78	273,53
Suzano	SP	13	14	1	SABESP	303.397	100,00	100,00	54,79	278,49	183,58	26,14	167,72
Maringá	PR	14	10	-4	SANEPAR	436.472	99,99	99,98	100,00	136,20	62,41	25,13	157,28
Curitiba	PR	15	12	-3	SANEPAR	1.963.726	100,00	99,98	95,62	898,40	91,50	25,60	331,31
Palmas	TO	16	18	2	SANEATINS	313.349	98,86	90,61	63,20	259,66	165,73	29,96	161,48
Campina Grande	PB	17	16	-1	CAGEPA	413.830	100,00	94,26	74,15	123,47	59,67	27,54	142,00
Vitória da Conquista	BA	18	13	-5	EMBASA	343.643	97,73	82,93	80,88	213,51	124,26	27,47	132,55
Londrina	PR	19	19	0	SANEPAR	580.870	99,99	99,98	89,72	362,73	124,89	33,02	370,32
Brasília	DF	20	15	-5	CAESB	3.094.325	99,00	91,77	86,65	1.835,73	118,65	35,07	327,39
<b>Total</b>						<b>24.777.182</b>	<b>99,75</b>	<b>97,96</b>	<b>80,06</b>	<b>20.630,01</b>	<b>166,52</b>	<b>29,94</b>	<b>273,77</b>

Fonte: GO ASSOCIADOS E INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023

Tabela 6 - Indicadores dos 20 piores municípios.

Município	UF	Ranking de 2023	Ranking de 2022	Variação no Ranking	Prestadores	População Total (IBGE)	Indicador de Atendimento Total de Água (%)	Indicador de Atendimento Total de Esgoto (%)	Indicador de Tratamento Total de Esgoto (%)	Investimento Total de 2017 a 2021 (RS MM)	Investimento Médio per Capita (RS/hab.)	Indicador de Perdas na Distribuição (%)	Indicador de Perdas Volumétricas (L/lig./dia)
Caucaia	CE	81	79	-2	CAGECE	368.918	62,18	36,39	40,81	180,92	98,08	47,47	299,81
Cariacica	ES	82	86	4	CESAN	386.495	91,35	38,33	25,25	166,58	86,20	24,46	723,91
Manaus	AM	83	89	6	MA	2.255.903	97,50	25,45	21,58	993,20	88,05	59,78	822,47
Pelotas	RS	84	80	-4	SANEP	343.826	100,00	61,09	15,12	85,50	49,73	54,00	597,84
Belford Roxo	RJ	85	82	-3	CEDAE   RIO4	515.239	100,00	43,39	4,72	131,00	50,85	40,20	766,21
São Luís	MA	86	85	-1	CAEMA	1.115.932	86,41	49,85	20,79	340,90	61,10	60,73	981,19
Jaboatão dos Guararapes	PE	87	88	1	COMPESA	711.330	80,01	21,64	34,03	391,45	110,06	36,73	284,60
Gravatá	RS	88	92	4	CORSAN	285.564	95,24	41,41	12,51	94,55	66,22	49,03	408,47
São João de Meriti	RJ	89	87	-2	CEDAE   RIO4   PMSJM	473.385	100,00	60,32	0,00	7,27	3,07	51,65	985,12
Duque de Caxias	RJ	90	90	0	CEDAE   RIO4	929.449	88,72	37,49	5,95	186,17	40,06	43,26	932,15
Ananindeua	PA	91	95	4	COSANPA   PMA	540.410	33,79	31,31	30,02	107,61	39,83	49,49	486,16
Várzea Grande	MT	92	93	1	DAE	290.383	98,15	29,50	48,10	27,22	18,75	70,71	1.032,45
Maceió	AL	93	91	-2	CASAL   BRK RMM	1.031.597	86,83	23,73	36,33	163,40	31,68	41,07	713,65
Rio Branco	AC	94	97	3	DEPASA	419.452	60,73	22,67	19,88	68,42	32,63	70,72	1.573,16
Belém	PA	95	96	1	COSANPA	1.506.420	76,84	17,12	3,63	634,76	84,27	45,17	459,57
São Gonçalo	RJ	96	94	-2	CEDAE   RIO1	1.098.357	90,08	33,70	15,49	27,68	5,04	39,54	1.228,67
Santarém	PA	97	98	1	COSANPA	308.339	50,61	4,12	9,50	49,24	31,94	46,26	414,96
Porto Velho	RO	98	99	1	CAERD	548.952	26,05	5,80	0,00	138,54	50,47	77,21	1.527,04
Marabá	PA	99	N/A	N/A	COSANPA	287.664	32,89	0,73	2,26	27,10	18,84	49,36	546,28
Macapá	AP	100	100	0	CAESA	522.357	36,60	10,55	27,14	44,24	16,94	76,13	1.963,76
<b>Total</b>						<b>13.939.972</b>	<b>79,59</b>	<b>29,25</b>	<b>18,21</b>	<b>3.865,77</b>	<b>55,46</b>	<b>51,30</b>	<b>842,36</b>

Fonte: GO ASSOCIADOS E INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023