



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ESTER FERREIRA RODRIGUES

**SANEAMENTO RURAL: ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
DESCENTRALIZADO DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO
NA ZONA RURAL DO CEARÁ.**

FORTALEZA
2023

ESTER FERREIRA RODRIGUES

SANEAMENTO RURAL: ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
DESCENTRALIZADO DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO
NA ZONA RURAL DO CEARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC,
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Ambiental do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharelado em Engenharia
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Alves
Barroso Júnior.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R612s Rodrigues, Ester Ferreira.

Saneamento rural : estudo sobre a implantação de um sistema descentralizado de coleta e tratamento de esgoto doméstico na zona rural do Ceará / Ester Ferreira Rodrigues. – 2023.

88 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior.

1. Saneamento rural. 2. Sistema descentralizado. 3. Tratamento de esgoto doméstico. 4. Impacto social. I. Título.

CDD 628

ESTER FERREIRA RODRIGUES

SANEAMENTO RURAL: ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
DESCENTRALIZADO DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO
NA ZONA RURAL DO CEARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC,
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Ambiental do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharelado em Engenharia
Ambiental.

Aprovada em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Ana Bárbara de Araújo Nunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus pelo sustento, ajuda e cuidado e à minha família, Simone, João Monte, João Paulo e Paulo Henrique pelo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar força, paciência, coragem e determinação e pelo cuidado e sustento em meio aos momentos difíceis aos quais pensei em desistir.

Aos meus pais, Simone e João por serem meus maiores incentivadores aqui na Terra, pelo amor incondicional, pelo apoio, conselhos, ajuda e cuidado durante minha trajetória acadêmica, principalmente durante a execução deste trabalho.

Ao meu irmão, João Paulo, por estar comigo em todos os momentos me dando forças e energias positivas.

Aos meus avós pela motivação diária em concluir esta graduação, pela experiência de vida ensinada e pelos valiosos conselhos. Em especial ao meu avô, Edilson (in memoriam) pela confiança em mim depositada na certeza de conclusão do Curso, pelo exemplo de homem, pai, avô e esposo.

Às famílias Ferreira de Souza e Monte Rodrigues, não sendo possível citar cada um, mas agradecendo imensamente por cada oração, apoio, carinho e presença em todos os momentos.

Ao Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior pela orientação deste trabalho e pelas contribuições preciosas para o meu futuro profissional.

Ao Projeto Crânio Verde, pertencente à organização Enactus UFC por disponibilizarem sua estrutura para realização desta pesquisa.

À equipe do Projeto Crânio Verde, em especial as pessoas que dedicaram parte de seu tempo para me auxiliar em ações fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Construímos um esgoto social do qual ninguém escapa. Uns admitem nele habitar, outros negam sua existência,mas todos vivem em seus porões.”

Augusto Cury

RESUMO

O Saneamento Básico no Brasil compreende os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais. Destes cinco componentes, um dos menos aplicados é a coleta e o tratamento de esgotos. Segundo dados de 2021 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 55,8% da população era atendida com coleta de esgoto, enquanto 51,2% possuía algum tipo de tratamento de esgoto. Logo, conclui-se que grande parte da população brasileira vive em comunidades desprovidas de acesso a um sistema de coleta e tratamento de esgoto de qualidade. A nível estadual, segundo o SNIS (2021), o Ceará possuía cerca de 69,9% da parcela da população sem coleta de esgoto, e do esgoto coletado, 62,9% não era tratado. Pacajus, a cidade em estudo neste trabalho, possuía 97,8% da população sem coleta de esgoto e do esgoto coletado, apenas 20,3% era tratado (SNIS, 2021). Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto vêm ganhando destaque nos últimos anos, principalmente por suprir as necessidades sanitárias de populações que residem em regiões rurais, que possuem ausência de infraestrutura pública. Portanto, faz-se necessário o estudo de implantação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto para analisar a sua eficiência, o impacto social provocado na comunidade e a melhoria da qualidade do meio ambiente. O reator anaeróbio compartimentado, que é um modelo do sistema sustentável de tratamento de esgoto descentralizado, foi implantado em conjunto com demais sistemas secundários de tratamentos de esgoto, como o filtro anaeróbio e o círculo de bananeiras, em uma residência da comunidade de Paulicéia, pertencente à zona rural do município de Pacajus. Esse sistema foi escolhido de acordo com as necessidades de uma família selecionada no estudo, dos fatores climáticos do período em que foi implantado, dos fatores bióticos e não bióticos do local. Ademais, esse conjunto de sistemas propõe uma coleta eficiente e tratamentos com elevada qualidade do esgoto doméstico, recebendo águas cinzas e negras de toda a casa e propondo além da melhoria da qualidade de vida do meio ambiente e da família beneficiada, uma fonte de alimento proveniente do círculo de bananeiras.

Palavras-chave: saneamento rural; sistema descentralizado; tratamento de esgoto doméstico; impacto social.

ABSTRACT

Basic Sanitation in Brazil comprises water supply, sanitation, urban cleaning and solid waste management, drainage, and stormwater management services. Of these five components, one of the least implemented is the collection and treatment of sewage. According to 2021 data from the National Sanitation Information System - SNIS, 55.8% of the population had access to sewage collection, while 51.2% had some form of sewage treatment. Therefore, it is concluded that a significant portion of the Brazilian population lives in communities without access to a quality sewage collection and treatment system. At the state level, according to SNIS (2021), Ceará had approximately 69.9% of the population without sewage collection, and of the collected sewage, 62.9% was untreated. Pacajus, the city studied in this work, had 97.8% of the population without sewage collection, and of the collected sewage, only 20.3% was treated (SNIS, 2021). Decentralized sewage treatment systems have gained prominence in recent years, especially for meeting the sanitation needs of populations in rural areas with a lack of public infrastructure. Therefore, it is necessary to study the implementation of decentralized sewage treatment systems to analyze their efficiency, the social impact on the community, and the improvement of environmental quality. The compartmentalized anaerobic reactor, which is a model of a sustainable decentralized sewage treatment system, was implemented along with other secondary sewage treatment systems, such as the anaerobic filter and the banana circle, in a residence in the Paulicéia community, located in the rural zone of the municipality of Pacajus. This system was chosen based on the needs of a selected family in the study, the climatic factors during implementation, and the biotic and non-biotic factors of the location. Furthermore, this set of systems proposes efficient collection and high-quality treatment of domestic sewage, receiving gray and black water from the entire house and, in addition to improving the quality of life for the environment and the benefiting family, provides a food source from the banana circle.

Keywords: rural sanitation; decentralized system; domestic sewage treatment; social impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de atendimento total de esgoto no Brasil.....	21
Figura 2 - Esquema do tanque séptico e seus componentes.....	27
Figura 3 - Esquema do Sistema de Alagado Construído - SAC.....	28
Figura 4 - Esquema do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto.....	29
Figura 5 - Esquema da Fossa verde ou Bacia de Evapotranspiração.....	30
Figura 6 - Esquema Fossa Séptica Biodigestora - FSB.....	31
Figura 7 - Esquema do Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC.....	33
Figura 8 - Esquema do Filtro Anaeróbio.....	36
Figura 9 - Esquema do Círculo de Bananeiras.....	38
Figura 10 - Mapa de localização de Paulicéia.....	44
Figura 11 - Índice de risco de Infestação dos municípios do Ceará, LIRAA entre os anos de 2016 e 2018.....	46
Figura 12 - Incidência de DDA dos municípios cearenses entre os anos de 2020 e 2022.....	47
Figura 13 - Indicadores das áreas do saneamento básico de Pacajus em 2021.....	49
Figura 14 - Momento de Educação ambiental na comunidade com voluntários do projeto Enactus UFC.....	50
Figura 15 - Condições de saneamento na propriedade.....	52
Figura 16 - Ajustando a declividade com nível de alumínio de 3 bolhas.....	55
Figura 17 - Instalação das tubulações provenientes da pia da cozinha e banheiro à caixa de gordura.....	58
Figura 18 - Vedação das entradas e saídas das tubulações no sistema com câmara de ar de pneus reutilizados.....	61
Figura 19 - Reaproveitamento da lona vinílica para vedação superior do sistema...62	
Figura 20 - Encaixe das câmaras e filtro anaeróbio no sistema em suas respectivas posições.....	62
Figura 21 - Cascas de coco em processo de triagem para ser colocada no filtro anaeróbio.....	65
Figura 22 - Tubulação perfurada para passagem do esgoto no filtro anaeróbio.....	65
Figura 23 - Filtro Anaeróbio em fase de finalização.....	66
Figura 24 - Início da construção do círculo de bananeiras.....	67
Figura 25 - Sistema composto por RAC, Filtro Anaeróbio e Círculo de bananeiras	

finalizado.....	68
Figura 26 - Vaso sanitário doado pelo projeto.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Doenças relacionadas com a ausência da rede de esgoto.....	19
Quadro 2 - Classificação das tecnologias de tratamento.....	24
Quadro 3 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.....	26
Quadro 4 - Síntese das principais características de tecnologias para o tratamento de esgoto de comunidades isoladas.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência de remoção de sistemas de tratamento descentralizado.....	40
Tabela 2 - Contribuição diária de esgoto (C) e de Lodo Fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....	59
Tabela 3 - Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias).....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
CREDE - Coordenadoria Regional de Desenvolvimento da Educação
LIRAA/LIA - Levantamento Rápido de Índices para o *Aedes aegypti*
DDA - Doenças Diarréicas Agudas
CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
RAC - Reator Anaeróbio Compartimentado
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
PIB - Produto Interno Bruto
ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais
UNICEF - Fundo Internacional de Emergência das Nações Unidas para a Infância
SAC - Sistema de Alagados Construídos
WC - Wetlands Construídos
UASB/RAFA - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
BET - Bacia de EvapoTranspiração
FSB - Fossa Séptica Biodigestora
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
DQO - Demanda Química de oxigênio
TRS - Tempo de Retenção de Sólidos
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica
PH - Potencial Hidrogeniônico
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
CE - Ceará
LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
NBR - Norma Brasileira
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
PEAD - Polietileno de Alta Densidade
PVC - Policloreto de Vinila
CGP - Caixa de Gordura Pequena
DN - Diâmetro Nominal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Disparidades Sociais - Diferenças entre sociedades ricas e pobres.....	18
3.2 Tratamento de águas residuárias.....	20
3.2.1 Desigualdade na coleta de esgoto em diferentes regiões socioeconômicas.....	20
3.2.2 Tipos de sistemas de tratamento.....	22
3.2.3 Sistema Centralizado.....	22
3.2.4 Sistema descentralizado.....	24
3.2.5 Tipos mais comuns de sistemas de tratamento descentralizado.....	26
3.2.5.1 Tanque Séptico.....	27
3.2.5.2 Sistemas de Alagados Construídos.....	28
3.2.5.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto.....	29
3.2.5.4 Fossa Verde ou Bacia de Evapotranspiração.....	30
3.2.5.5 Fossa Séptica Biodigestora (FSB).....	31
3.2.5.6 Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC.....	32
3.2.5.7 Filtro Anaeróbio.....	34
3.2.5.8 Círculo de Bananeiras.....	36
3.2.6 Impacto socioambiental dos sistemas de tratamento de esgoto.....	40
4. METODOLOGIA.....	43
4.1 Área de estudo.....	43
4.1.1 Localização.....	43
4.1.2 População.....	44
4.1.3 Economia e Rendimento.....	45
4.1.4 Saúde.....	45
4.1.5 Saneamento.....	47
4.2 Educação ambiental e método de seleção do local de implantação do projeto.....	49
4.3 Cálculos do dimensionamento do sistema de tratamento.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
5.1 Resultados da entrevista e visita técnica aplicada à família selecionada.....	52
5.2 Dimensionamento da rede de coleta de esgoto.....	54
5.2.1 Declividade.....	54
5.2.2 Materiais das tubulações de esgoto.....	56
5.3 Dimensionamento das unidades de tratamento de efluentes.....	57
5.3.1 Pré - Tratamento.....	57

5.3.2 Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC.....	58
5.3.3 Filtro Anaeróbio.....	62
5.3.4 Círculo de Bananeiras.....	66
5.4 Análise da percepção dos residentes quanto ao sistema de tratamento e realização de ajustes no sistema.....	69
6. CONCLUSÃO.....	73
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A - ENTREVISTA SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL.....	79
APÊNDICE B - CRITÉRIOS DE PRIORIDADE PARA AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL.....	81
APÊNDICE C - PLANTA DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DO ESGOTO.....	84
APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA E SATISFAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS.....	85
APÊNDICE E - RESPOSTA DO QUESTIONÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA E SATISFAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS.....	87

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores desafios do setor de saneamento no Brasil, é promover a universalização da coleta e do tratamento do esgoto doméstico. Isso se dá por consequência do crescimento acelerado e desordenado da população, principalmente nas últimas décadas. O esgoto doméstico, representa um dos problemas mais graves de saúde humana e ambiental no país. Dados coletados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento em 2020, “o Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto - Visão Geral” reúne informações da prestação de serviços públicos de esgotamento sanitário em 4.744 municípios (85,2% dos 5.570 do país). A amostra abrange 94,6% da população total (200,4 milhões) e 96,4% da população urbana (172,9 milhões). Segundo o SNIS 2020, 2.807 municípios (59,2% da amostra) contam com sistemas públicos de esgotamento sanitário. Em 1.937 (40,8%) são utilizadas soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d’água. Dessas alternativas, apenas a fossa séptica é considerada como adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico.

Pacajus é a cidade em que se localiza a propriedade em estudo deste trabalho. De acordo com o IBGE, 2021, a cidade dista cerca de 60 quilômetros da capital do Ceará, possui mais de 70.000 habitantes localizados em sua maior parte na área urbana. A economia da cidade baseia-se principalmente na agricultura, em especial no cultivo de mandioca, onde possui diversas casas de farinha distribuídas pelo município, e no cultivo de caju, onde além da venda do fruto e da semente. Além disso, o município conta com diversas fábricas de produção da cajuína, bebida que tem como ingrediente base o caju. Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano - IDH, Pacajus possuía até o ano de 2010, de acordo com o IBGE, índices de IDH inferiores à média do Estado.

O saneamento, é um ponto crítico da cidade, visto que possuía, de acordo com dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, em 2020, a pior cobertura de esgoto de todos os municípios do Estado, com pouco mais de 3% da população com acesso à coleta e tratamento do esgoto pela companhia responsável. Ao visitar a área rural deste município nota-se que os habitantes não possuem acesso a coleta e tratamento do esgoto, dispendo-os em valas a céu aberto, ou fossas rudimentares construídas com anéis de concreto sem

impermeabilidade, fazendo com que a matéria orgânica entre em contato direto com o solo, provocando contaminação tanto do solo como das águas subterrâneas e atraindo insetos e roedores transmissores de doenças ao ser humano.

Dentro desta problemática faz-se necessária a realização de ações voltadas ao saneamento básico, principalmente com foco no esgotamento sanitário, promovendo não apenas a educação ambiental nas comunidades, mas também oferecendo um serviço de coleta e tratamento do esgoto doméstico de qualidade.

Uma das alternativas mais utilizada nos dias atuais para tratamento de esgoto, é a incorporação de sistemas descentralizados aos sistemas tradicionalmente utilizados. Isso porque a mudança está alinhada com a busca por soluções mais eficientes, sustentáveis e adaptáveis, atendendo melhor às necessidades específicas de diversas comunidades e reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente. Algumas razões para o aumento da preferência por sistemas descentralizados são: redução de custos, maior eficiência energética, menor vulnerabilidade, facilidade de expansão, menor impacto ambiental, atendimento em comunidades remotas, etc.

No presente trabalho, serão apresentados os parâmetros de projeto, tais como a declividade, o dimensionamento das tubulações e do sistema como um todo. Além disso, será apresentada uma pesquisa da satisfação dos beneficiários e as mudanças percebidas por eles após a construção desse sistema de coleta e tratamento de esgoto. Por fim, será apresentada a eficiência esperada do sistema com base na literatura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Implantar e avaliar um sistema descentralizado para tratamento de esgoto doméstico construído em uma comunidade na zona rural do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- I. Realizar levantamento dos principais tipos de tratamento descentralizado de esgoto no Brasil e apresentar a situação atual da região de estudo;
- II. Realizar momento de educação ambiental na comunidade;
- III. Realizar o dimensionamento do sistema de tratamento através do Reator Anaeróbio Compartimentado, Filtro Anaeróbio e Círculo de Bananeiras;
- IV. Comparar a percepção dos beneficiários antes e após a instalação do sistema de tratamento de efluentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos relacionados a este trabalho, bem como a importância de cada conceito para o seu desenvolvimento.

3.1 Disparidades Sociais - Diferenças entre sociedades ricas e pobres.

A desigualdade entre as sociedades ricas e pobres é um tema complexo e multiforme que afeta profundamente a estrutura social e abrange uma diversidade de áreas, incluindo saúde, renda, acesso à educação, oportunidades econômicas e muito mais. De acordo com o Relatório do Banco Mundial de 2000, a pobreza pode ser definida em três dimensões fundamentais: a) insuficiência de recursos financeiros e renda para suprir necessidades essenciais, b) ausência de representatividade e influência nas instituições governamentais e na sociedade em geral, e c) susceptibilidade a eventos adversos e exposição a riscos, muitas vezes acompanhados pela incapacidade de lidar com tais desafios. Para Aldaísa Sposat (1997,p.13) “(...) o conceito de pobreza é relativo, refletindo os hábitos, valores e costumes de uma sociedade; entretanto, com a globalização, essa noção passa a aproximar-se de uma medida comum. Os indicadores utilizados para estimar o grau de pobreza de uma sociedade partem de medidas quantitativas comparativas, demarcando os estratos sociais que enfrentam os mais baixos padrões de vida”.

Uma das formas mais evidentes de desigualdade social é a diferença na distribuição de renda. Nas sociedades ricas, uma minoria desfruta de uma fatia desproporcional da riqueza, enquanto que nas sociedades pobres, a maioria luta para atender às necessidades básicas, dificultando o acesso para obter melhores condições de vida, como por exemplo a coleta e o tratamento de esgoto adequado, acesso à água encanada tratada, entre outros (VIDIGAL, G. V, 2011).

Nas sociedades ricas, a educação de qualidade é amplamente acessível, permitindo que os indivíduos possuam conhecimento em diferentes áreas com demasiado domínio. Nas sociedades pobres, no entanto, o acesso à educação de qualidade é muitas vezes limitado, perpetuando um ciclo de pobreza, falta de oportunidades e desigualdade intergeracional (ARENHART E SILVA, 2014). Ao ampliar o acesso e a permanência em um sistema educacional cuja própria estrutura

é segmentada, as possibilidades de ingresso e egresso do aparelho escolar acabam sendo também inevitavelmente diferenciadas. Que todos tenham acesso à escola não significa que todos tenham acesso ao mesmo tipo de escolarização (ALENCAR; GENTILI, 2012). Uma consequência dessa desigualdade, por exemplo, é a falta de acesso a informações sobre os cuidados com o meio ambiente, tais como, separação dos resíduos sólidos, dicas e práticas ao cuidado com a natureza e poluição do meio ambiente.

As desigualdades de saúde entre sociedades ricas e pobres são gritantes. Nas sociedades ricas, há acesso a serviços de saúde avançados, enquanto nas sociedades pobres, as condições precárias de saúde e a falta de acesso a cuidados médicos básicos resultam em altas taxas de mortalidade e sofrimento evitável. Essa desigualdade pode ser vista através da vulnerabilidade das famílias rurais às doenças de veiculação hídrica ou por contaminação do solo (cólera, disenteria, leptospirose e verminoses), e o subdesenvolvimento socioeconômico nessas regiões (FUNASA, 2018). No quadro 1, é exposto um panorama das doenças mais comuns relacionadas à ausência da rede de esgoto, apresentando formas de prevenção e transmissão.

Quadro 1 - Doenças relacionadas com a ausência da rede de esgoto.

Classificação	Infecção	Via dominante de transmissão	Principais medidas de controle
Doenças feco-orais não-bacterianas	Enterobíase, amebíase, giardíase, balantídiase	Pessoale doméstica	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento doméstico de água • Educação sanitária • Melhorias habitacionais • Instalação de fossas
Doenças feco-orais bacterianas	Salmonelose, cólera, disenteria bacilar, diarreia por <i>E. Coli</i>	Pessoal, doméstica, por água e alimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento doméstico de água • Educação sanitária • Melhorias habitacionais • Instalação de fossas • Tratamento dos excretas antes do lançamento ou do reuso da água
Helminthos do solo	Ascariíase, tricuríase, ancolostomíase	Jardim, campos e culturas agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de fossas • Tratamento dos excretas antes da aplicação no solo
Teníases	Teníases	Jardim, campos e pastagens	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de fossas • Tratamento dos excretas antes da aplicação no solo
Helminthos hídricos	Esquistossomose e outras doenças causadas por helmintos	Água	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de fossas • Tratamento dos excretas antes do lançamento na água • Controle do reservatório animal
Doenças transmitidas por insetos	Filariose e todas as infecções anteriores, das quais moscas e baratas podem ser vetores	Vários locais contaminados por fezes	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação e eliminação de criadouros de insetos vetores

Fonte: Feachem e col. citados por Heller, 1997

Segundo IBGE (2021), entre as mortes ocorridas apenas por doenças infecciosas e parasitárias no Brasil, as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado têm participação em 21,7% dos óbitos no mesmo período, sendo esse percentual maior nas Regiões Centro-Oeste (42,9%) e Nordeste (27,1%). “Esgoto a céu aberto colabora na proliferação dessas doenças, daí a correlação direta entre as enfermidades e o saneamento precário”, afirma (CIRÍACO, DAYANE; IBGE 2021).

3.2 Tratamento de águas residuárias

A implementação de um sistema de coleta e tratamento de esgoto confiável contribui para aprimorar o bem-estar geral, promovendo uma melhoria na saúde pública e nas condições de saneamento. Isso, por sua vez, resulta na diminuição da disseminação de doenças transmitidas pela água, aliviando a pressão sobre o sistema de saúde (MUGA et al., 2009).

O tratamento de esgoto é um processo que envolve a remoção de poluentes e substâncias nocivas das águas residuais domésticas e industriais antes que essas águas sejam devolvidas ao meio ambiente ou sejam reutilizadas. Esse processo visa eliminar ou reduzir a presença de patógenos (bactérias, vírus, parasitas) presentes nas águas residuais, tornando-as seguras para o contato humano; remove poluentes químicos e nutrientes em excesso das águas residuais, impedindo a poluição de rios, lagos e mares; e também, pode incluir a purificação da água para reutilização em processos industriais, irrigação agrícola e outros fins, conservando assim os recursos hídricos limitados (MESQUITA et al, 2021).

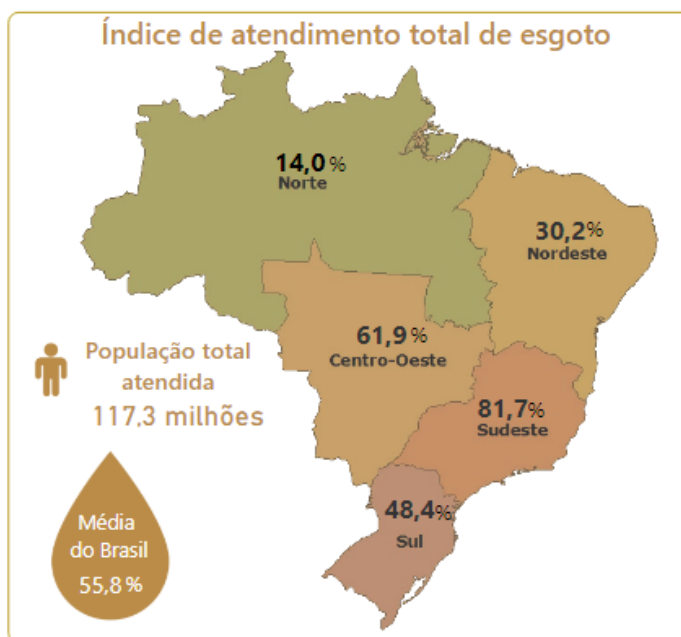
3.2.1 Desigualdade na coleta de esgoto em diferentes regiões socioeconômicas.

A abrangência da coleta de esgoto pode variar significativamente entre regiões mais ricas e menos ricas, refletindo desigualdades socioeconômicas e infraestruturais. Em áreas economicamente desenvolvidas, é mais provável que haja

uma cobertura abrangente de sistemas de coleta de esgoto. A infraestrutura é geralmente mais avançada, proporcionando acesso a uma parcela maior da população. Em regiões menos desenvolvidas, a cobertura de coleta de esgoto pode ser limitada. Com recursos financeiros limitados, as comunidades podem depender mais de sistemas de saneamento básico inadequados ou até mesmo ausentes.

Essa afirmativa é notória ao se observar que apenas quatro Unidades da Federação (São Paulo, Distrito Federal, Paraná e Minas Gerais) apresentam taxas superiores a 70% de domicílios atendidos pelo serviço de coleta de esgoto, sendo respectivamente 92,2%, 91,8%, 75,5% e 74,1%, segundo o SNIS (2021). Nos demais Estados, as taxas de domicílios atendidos com coleta de esgotamento sanitário por rede geral variaram de 6,1 % (caso de Rondônia) a 67,8 %, no caso do Rio de Janeiro (SNIS, 2021). Na Figura 1, é possível observar o panorama geral da situação do Saneamento Básico no Brasil, com foco no esgotamento sanitário, disponibilizado pelo SNIS, com dados referentes ao ano de 2021. Analisando esta figura, percebe-se que o Nordeste é a região que possui o segundo pior índice de coleta e tratamento do esgoto do país com 30,2% e a região Sudeste apresenta o melhor índice com 81,7%, comprovando que regiões mais desenvolvidas possuem acesso maior ao esgotamento sanitário.

Figura 1 - Índice de atendimento total de esgoto no Brasil.



Fonte: SNIS, 2021.

Quase que considerada uma área de transição entre as regiões Nordeste e Sul, o Sudeste apesar de possuir pequena área territorial, dispõe do maior índice de desenvolvimento do país. O Produto Interno Bruto (PIB) dos paulistas está em 2,4 trilhões de reais, enquanto o do Rio de Janeiro está em torno de 754 bilhões de reais (IBGE, 2020). Os números mostram que o Estado de São Paulo apresenta-se em larga vantagem como o mais rico do Brasil, tendo mais que o triplo do segundo colocado, Rio de Janeiro.

3.2.2 Tipos de sistemas de tratamento

O tratamento de esgoto pode ser realizado de duas maneiras principais: sistema centralizado e sistema descentralizado. Cada abordagem tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha entre elas depende das condições locais, dos recursos disponíveis e das prioridades de gestão de águas residuais.

3.2.3 Sistema Centralizado

No tratamento de esgoto centralizado, as águas residuais de uma extensa área geográfica são coletadas e transportadas por uma rede de tubulações no subsolo, para uma única estação de tratamento de águas residuais (ETAR) ou instalação de tratamento central (OLIVEIRA et. al, 2014). Segundo o referido autor, o tratamento de esgoto centralizado envolve uma série de etapas:

- Pré-Tratamento: Nesta etapa, os resíduos grandes, como pedras, areia e detritos sólidos, são removidos das águas residuais, protegendo equipamentos e tubulações no processo de tratamento.
- Tratamento Primário: As águas residuais passam por um processo de sedimentação, onde partículas sólidas mais densas se depositam no fundo. Isso resulta na formação de um lodo primário que é retirado e tratado separadamente.
- Tratamento Secundário: O tratamento secundário de esgoto é uma etapa fundamental no processo de tratamento de águas residuais para remover poluentes antes de serem descarregadas no meio ambiente. Portanto, logo após o tratamento primário, microrganismos aeróbios são usados para decompor a matéria orgânica, como detergentes e matéria fecal, presente nas águas residuais. Alguns dos

principais processos envolvidos no tratamento secundário de esgoto segundo o autor Sarti, et al (2021) são:

Lodos Ativados: Envolve a aeração do esgoto em tanques específicos, onde microrganismos aeróbios, ou seja, bactérias que precisam de oxigênio para viver, consomem os poluentes presentes na água. Após a aeração, os flocos biológicos formados são separados da água;

Lagoas de estabilização: Essas lagoas são grandes áreas rasas onde o esgoto é mantido por um período prolongado. Durante esse tempo, os processos naturais, como a fotossíntese e a atividade bacteriana, ajudam a reduzir a carga de poluentes na água;

Filtros Biológicos: Nesse método, o esgoto passa por uma série de leitos de filtro, onde os microrganismos aderem às superfícies dos meios filtrantes e consomem os poluentes.

- **Tratamento Terciário:** Esta fase do tratamento é opcional. De acordo com Tonetti et.al (2018), o tratamento terciário é usado para remover poluentes mais específicos, como nitrogênio e fósforo ou substâncias químicas persistentes, que não foram totalmente eliminadas nas etapas anteriores.

- **Desinfecção:** A água tratada é desinfetada para eliminar patógenos remanescentes, geralmente por meio do uso de produtos químicos como cloro, ozônio ou ultravioleta.

- **Descarte ou Reutilização:** Na última etapa desse sistema de tratamento, a água tratada é então descartada em corpos d'água locais ou pode ser direcionada para uso em irrigação agrícola, recarga de aquíferos subterrâneos ou outros fins apropriados, a depender dos regulamentos e necessidades locais.

No quadro 2, é apresentada a classificação das tecnologias de tratamento do esgoto em função dos constituintes removidos em cada uma delas de acordo com cada etapa do tratamento.

O sistema centralizado possui algumas vantagens, como tecnologia de ponta que pode lidar com grandes volumes de águas residuais de forma eficiente, e a permissão de economias de escala, o que pode resultar em custos mais baixos por unidade de tratamento (SANTOS, 2013).

As desvantagens desse tipo de sistema são: A construção e manutenção das tubulações pode ser cara, especialmente em áreas densamente povoadas, as águas residuais são transportadas para longe da área onde são geradas, e problemas em

uma única instalação centralizada podem resultar em grandes impactos em toda a área atendida (SANTOS, 2013).

Quadro 2 - Classificação das tecnologias de tratamento.

Classificação	Eficiência	Tecnologias
Tratamento Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de Sólidos grosseiros • Remoção de óleos e graxas • Remoção de areia 	<ul style="list-style-type: none"> • Separador sólido-líquido • Separado de óleo • Filtro para remoção de constituinte específico
Tratamento Primário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de sólidos em suspensão 	<ul style="list-style-type: none"> • Fossa Séptica • Tanque Imhoff
Tratamento Secundário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de matéria orgânica dissolvida 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro Biológico Percolador • Wetlands • Reator Anaeróbio Compartimentado • Sistema Combinado Anaeróbio-Anaeróbio e Anaeróbio/Aeróbio • Reator em batelada de crescimento suspenso • Sistemas de crescimento híbrido
Tratamento Terciário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de nutrientes • Remoção de organismos patogênicos • Remoção de contaminantes específicos (metais, sólidos dissolvidos etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biorreator com membranas • Osmose Reversa • Coagulação e Sedimentação, Flotação ou Filtração • Adsorção em Carvão Ativado • Desinfecção (hipoclorito de sódio, UV)

Fonte: Subtil, E.L; Sanchez, A.A; Cavalhero, A, 2016.

3.2.4 Sistema descentralizado

No sistema de tratamento de esgoto descentralizado, as águas residuais são tratadas localmente, ou seja, em pequenas unidades de tratamento localizadas próximas ao local de geração das águas residuais. É muito utilizado em regiões periféricas e áreas rurais, onde a distância torna inviável a interligação com sistemas centralizados (MESQUITA et al, 2021). Ao contrário do tratamento centralizado, que envolve a coleta e transporte de esgoto para uma única instalação de tratamento de águas residuais (ETAR), o tratamento descentralizado ocorre em várias pequenas unidades de tratamento espalhadas pela área atendida. Isso pode incluir sistemas sépticos, wetlands construídos, unidades de tratamento inovadoras e outras soluções. As etapas do tratamento de esgoto descentralizado, pode variar de acordo com o modelo a ser utilizado podendo haver combinação de dois ou mais

modelos diferentes complementando-se para que haja maior eficiência no tratamento (Gonçalves e Pinto, 2000 apud Cohim et al., 2009). Porém, de um modo geral têm-se a seguinte visão das fases de um tratamento de esgoto utilizando sistema descentralizado:

- Coleta de Esgoto: Por ocorrer em uma escala menor e localizada, a coleta de esgoto pode incluir sistemas de encanamento séptico, sistemas de lagoas de estabilização, unidades de tratamento inovadoras, entre outros.
- Pré-Tratamento: Algumas unidades de tratamento descentralizado podem incluir uma etapa de pré-tratamento semelhante à do tratamento centralizado, onde sólidos maiores, como detritos e areia, são removidos das águas residuais.
- Tratamento Local: As águas residuais passam por processos de tratamento específicos, como processos biológicos, filtração, oxidação, entre outros, para remover impurezas, nutrientes, poluentes e microrganismos.
- Desinfecção: Essa fase é opcional, sendo capaz de incluir uma etapa de desinfecção para eliminar patógenos e garantir que a água tratada seja segura para o meio ambiente ou futura reutilização.
- Reuso Local: Uma das vantagens do tratamento descentralizado é a possibilidade de reutilização local da água tratada para fins como irrigação, recarga de aquíferos, ou mesmo para uso não potável em residências.

As vantagens do sistema descentralizado de tratamento de águas residuárias são: requer menos investimento do que em grandes redes de coleta de esgoto, o que pode ser econômico, especialmente em áreas rurais ou de baixa densidade populacional; torna o sistema menos vulnerável a falhas em comparação com sistemas centralizados, pois uma interrupção em uma unidade afeta apenas uma área local; a água tratada localmente pode ser reutilizada em benefício da comunidade local, reduzindo a demanda por recursos hídricos; e reduz o impacto ambiental associado ao transporte de esgoto por longas distâncias (SHEHABI et al., 2012).

No quadro 3, são listadas vantagens do sistema descentralizado para coleta e tratamento de esgoto em diferentes áreas, a saber, na área ambiental, social, econômica e operacional, demonstrando os pontos fortes desse tipo de sistema não apenas com benefícios ao meio ambiente mas também com foco no econômico e principalmente beneficiando o social.

O tratamento de esgoto descentralizado também tem desvantagens, como a necessidade de manutenção local, variação na eficácia das unidades de tratamento e espaço necessário para instalar as unidades (LIMA, 2008).

Para que o objetivo de universalizar saneamento seja cumprido, a utilização de sistemas descentralizados de tratamento é indispensável, principalmente em áreas rurais, pois conforme discutido nesse trabalho a distância inviabiliza a instalação de grandes Estações de Tratamento de Esgotos e a falta de tratamento pode trazer sérios impactos ambientais, que em sua maioria são irreversíveis.

Quadro 3 - Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.

ÁREA	VANTAGENS
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuem para a melhoria da saúde da população local - Podem gerar trabalho e renda - Podem ajudar a produzir alimentos, contribuindo com a segurança alimentar - São adaptáveis aos costumes e à cultura - Normalmente são bem aceitos pela população e entidades fiscalizadoras - Podem ajudar a compor o paisagismo local
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> - Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação - Consomem pouca energia e insumos externos - Alguns subprodutos do sistema têm valor comercial e podem gerar renda (alimentos, biogás, plantas ornamentais) - Há economia em adubos quando se utiliza o esgoto tratado na agricultura
AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas unifamiliares podem ser compactos - Usam poucos insumos e energia na construção e operação - Reduzem a poluição do solo e corpos hídricos locais - Podem melhorar as condições ecológicas locais - Promovem o reúso de água e de nutrientes localmente
OPERACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> - Dispensam a construção de rede coletora local e estações elevatórias - Têm boa flexibilidade operacional - Podem ser ampliados ao longo do tempo - Têm baixo consumo de materiais e energia - Em boa parte dos casos, não se cobra pelo tratamento - Não requerem mão-de-obra especializada - Podem tratar águas cinzas e de vaso sanitário separadamente - São pouco influenciados por desastres naturais

Fonte: Tonetti et. al., 2018.

Os tipos mais usuais de sistemas de tratamento descentralizados serão apresentados no tópico 3.3, com informações específicas sobre o funcionamento, método de tratamento utilizado, esquema representativo de funcionamento de cada sistema, vantagens e desvantagens, etc.

3.2.5 Tipos mais comuns de sistemas de tratamento descentralizado

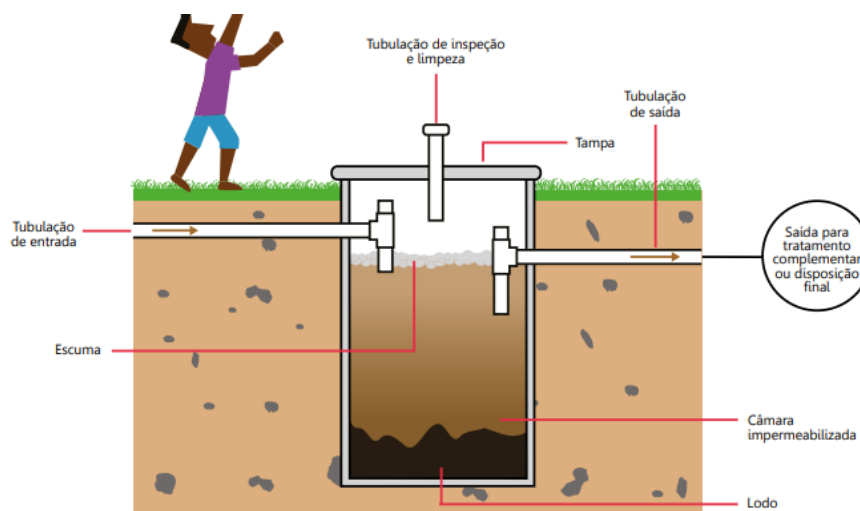
Existem vários tipos comuns de sistemas de tratamento descentralizado, que variam em termos de tecnologia e capacidade. Esses sistemas descentralizados são

projetados para tratar água, esgoto ou resíduos em locais específicos, como casas individuais, pequenas comunidades ou instalações industriais. Alguns dos tipos mais comuns incluem: Fossas Sépticas, Filtros Biológicos, Wetlands Construídos ou Sistemas de Zona de Raízes, Filtros Aeróbios, Sistemas de Lodos Ativados, entre outros.

3.2.5.1 Tanque Séptico

De acordo com Tonetti et. al (2018), o tanque séptico é composto por uma câmara que retém o esgoto por um período determinado, permitindo a sedimentação de material sólido e a flutuação de óleos e gorduras. Os sólidos depositados no fundo formam o lodo do tanque séptico, que abriga os micro-organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica do esgoto. O efluente tratado que sai do tanque séptico requer um tratamento adicional, como Sistemas Alagados Construídos, Filtro Anaeróbio, Filtro de Areia e Vermifiltros. O destino do esgoto após o tratamento pelo tanque séptico biodigestor deve ser avaliado com base em sua qualidade, respeitando os limites estipulados pela legislação ambiental e seguindo os métodos apropriados de disposição final, de acordo com as características ambientais locais. O esquema de um tanque séptico e seus componentes pode ser visto na figura 2, demonstrando o funcionamento desse tipo de sistema descentralizado, bem como os fluxos de entrada e saída.

Figura 2 - Esquema do tanque séptico e seus componentes.



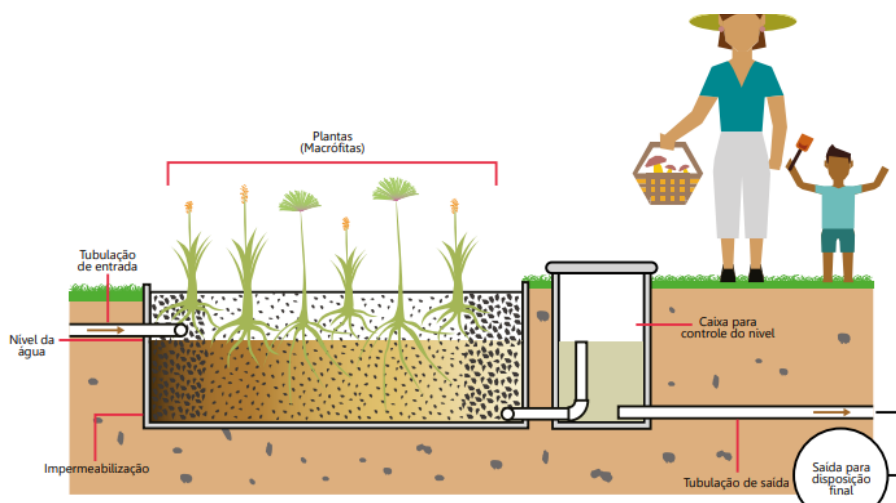
Fonte: Tonetti et. al., 2018.

3.2.5.2 Sistemas de Alagados Construídos

Segundo Tonetti et. al (2018), “os sistemas alagados construídos (SAC), também conhecidos como zonas de raízes ou wetlands, são compostos por valas com paredes e fundo impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado”. Conforme exposto por Sezerino et al., 2018, “esses sistemas usam plantas, como juncos ou ciperáceas, para tratar o esgoto. As raízes das plantas fornecem um ambiente propício para o crescimento de bactérias que decompõem a matéria orgânica”. Wetlands construídos são projetados para imitar ambientes naturais de pântanos, tratando o esgoto por meio de processos biológicos e físico-químicos.

As valas são pouco profundas (< 1,0 m). Os SAC normalmente possuem material particulado em seu interior (exemplo: areia, brita, seixo rolado) como meio suporte para o crescimento das plantas e microrganismos. Esse tipo de sistema pode ser melhor compreendido através da figura 3, onde é demonstrado um esquema com as características, componentes e etapas construtivas dos SACs. Dentre as principais vantagens dos WC, destacam-se: Baixo custo de operação e manutenção; São esteticamente mais agradáveis que as Estações de Tratamento de Esgoto convencionais; Possui potencial de reuso ou reciclagem da água, entre outras (BENASSI et al., 2018).

Figura 3 - Esquema do Sistema de Alagado Construído - SAC



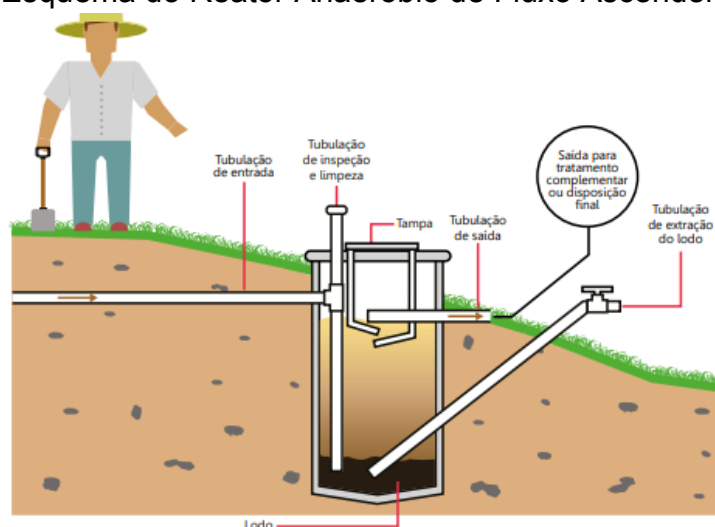
Fonte: Tonetti et. al., 2018.

3.2.5.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto

Neste sistema específico, como esquematizado na figura 4, o esgoto ingressa na parte inferior do reator, percorrendo internamente a unidade até alcançar a saída no topo. Esse fluxo ascendente mantém o reator constantemente cheio de esgoto. Internamente, ocorre a formação de uma "manta de lodo" composta por micro-organismos. Essa camada de lodo promove a decomposição da matéria orgânica sem a presença de oxigênio, caracterizando um processo de degradação anaeróbia. O volume interno do reator é dimensionado de modo a garantir que o esgoto leve aproximadamente 9 horas para percorrer toda a unidade e sair pelo topo. Esse intervalo de tempo possibilita o contato adequado do esgoto com a manta de lodo em suspensão, permitindo que o tratamento ocorra eficientemente. No topo do reator, são instalados defletores (placas) que separam o líquido dos materiais sólidos, do biogás naturalmente formado durante o processo (TONETTI et. al, 2018).

O tratamento utilizando reatores UASB ou RAFA oferece vantagens em comparação com os sistemas aeróbios convencionais, conforme destacado por Chernicharo et al. (1999), que incluem custos reduzidos, demanda de área menor, configuração operacional flexível que permite o desenvolvimento abundante de biomassa ativa, agitação e mistura hidráulica adequadas proporcionadas pelo fluxo ascendente e pelos gases gerados. No entanto, apresentam desvantagens, como a baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas e a necessidade de uma etapa de pós-tratamento, devido à ineficiência na remoção de nutrientes e organismos patogênicos.

Figura 4 - Esquema do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto



Fonte: Tonetti et. al., 2018.

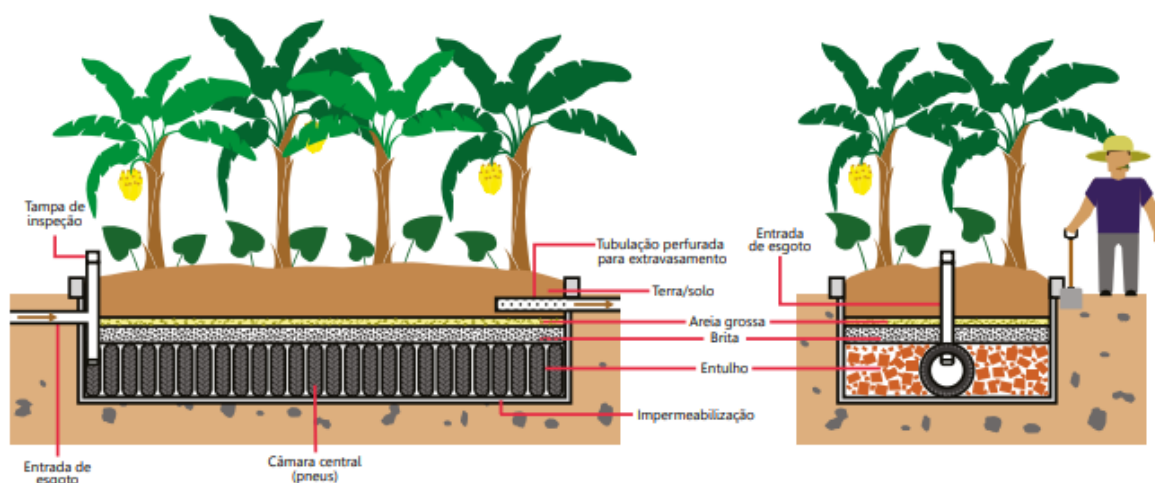
3.2.5.4 Fossa Verde ou Bacia de Evapotranspiração

A Fossa verde, também conhecida como Bacia de evapotranspiração (BET), é um biodigestor que opera de maneira simplificada, combinando os processos de tratamento primário e secundário de águas residuais em uma única unidade. Além disso, ela desempenha o papel de disposição final do efluente tratado, que é reaproveitado pelas culturas plantadas ao utilizar os nutrientes presentes no esgoto, completando assim o ciclo do sistema (PAULO; BERNARDES, 2017).

De acordo com Tonetti et. al (2018), a Bacia de Evapotranspiração (BET) pode ser dividida em três componentes principais, que podem ser observados na figura 5: um compartimento central designado para o recebimento e digestão inicial do esgoto, uma camada filtrante e uma área plantada com bananeiras. Pesquisas indicam que os alimentos e folhas cultivados na BET, como bananas e taioba, não apresentam contaminação por bactérias e outros micro-organismos, tornando-os seguros para o consumo humano. No entanto, não se recomenda o consumo de raízes (como inhame ou gengibre) ou frutas colhidas diretamente do solo.

As vantagens do sistema de evapotranspiração estão associadas à eficácia significativa na eliminação de matéria orgânica, à reutilização de nutrientes e água pela vegetação, além dos custos operacionais e de manutenção serem baixos. Isso o torna uma alternativa prática para residências unifamiliares e pequenas comunidades. (POTRATZ, 2010).

Figura 5 - Esquema da Fossa verde ou Bacia de Evapotranspiração.



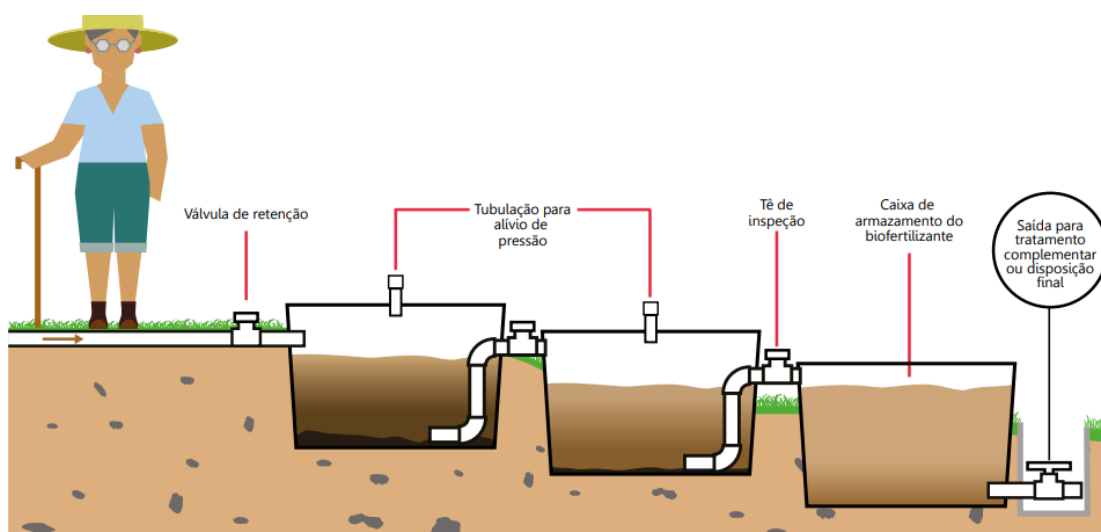
Fonte: Tonetti et. al., 2018.

3.2.5.5 Fossa Séptica Biodigestora (FSB)

Segundo Tonetti et. al (2018), “A FSB é uma tecnologia criada em 2001 pela Embrapa, composta por três caixas d’água conectadas onde a matéria orgânica do esgoto é degradada e transforma-se em um biofertilizante que pode ser aplicado em algumas culturas”. O esquema da fossa séptica biodigestora e seus componentes podem ser vistos na figura 6. Quando utilizado como biofertilizante, é descartada a necessidade de tratamentos complementares como filtro, sumidouro, vala de infiltração etc, como também, a limpeza do sistema com caminhão pois o sistema não gera acúmulo de lodo (GALINDO et al., 2019).

Os microrganismos presentes em todas as caixas são os agentes responsáveis pela degradação anaeróbia (sem oxigênio) da matéria orgânica contida no esgoto, logo, a Embrapa recomenda a aplicação mensal de esterco bovino fresco misturado com água, para garantir a formação de uma comunidade de microrganismos mais efetivas (EMBRAPA, 2001). Segundo CHERNICHARO (1997), o processo de biodigestão apresenta uma eficiência reduzida na remoção de DQO, nutrientes e patógenos. No entanto, de acordo com BRASIL (2001), a fossa séptica biodigestora demonstra a capacidade de gerar adubo orgânico completamente isento de microrganismos patogênicos para os seres humanos.

Figura 6 - Esquema Fossa Séptica Biodigestora - FSB



Fonte: Tonetti et. al., 2018.

3.2.5.6 Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC

O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) é semelhante a um tanque séptico, contudo, apresenta múltiplas câmaras dispostas em série. Este sistema é empregado no tratamento de águas provenientes de vasos sanitários ou esgoto doméstico e podem ser do tipo unifamiliar ou semicoletivo. Em cada câmara, o esgoto é direcionado para a parte inferior do compartimento, enquanto a saída ocorre sempre pela parte superior. Esse projeto possibilita um contato mais extenso do esgoto com o lodo acumulado no fundo de cada câmara, onde residem microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica e pela purificação do esgoto. No RAC não é necessário unidade de pré - tratamento, não pode haver a entrada de água de chuva ou qualquer outro tipo de despejo que possa diluir o esgoto, possui média remoção de matéria orgânica e baixa frequência de manutenção, além de ser necessária a remoção periódica do lodo acumulado em cada câmara (TONETTI et. al, 2018).

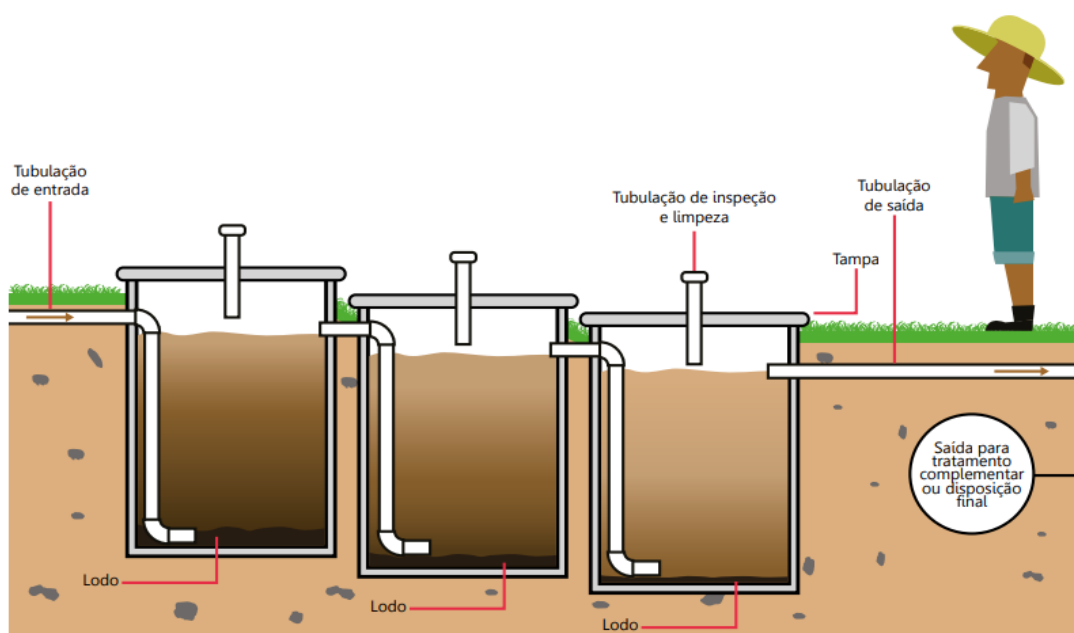
O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) apresenta diversas vantagens, incluindo um projeto simplificado que dispensa a necessidade de separadores de gás ou lodo. Além disso, destaca-se pela baixa produção de lodo, longo tempo de retenção de sólidos (TRS) e a capacidade de operar com baixo tempo de detenção hidráulica (TDH), mantendo alta estabilidade diante de choques hidráulicos ou orgânicos. Sua principal vantagem reside na habilidade de separar as fases acidogênica e metanogênica, permitindo que diferentes populações dominem cada compartimento. No primeiro compartimento, predominam as bactérias acidificantes, enquanto nas seções subsequentes, as bactérias metanogênicas assumem o controle. Essa separação de fases contribui para uma maior resistência contra materiais tóxicos e oferece robustez em face de mudanças ambientais, como variações de pH, temperatura e carga orgânica, além de reduzir os custos envolvidos na operação do sistema (KUSÇU; SPONZA, 2005).

O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) pode ser construído utilizando anéis de concreto, alvenaria, caixas d'água ou qualquer outro material capaz de assegurar sua impermeabilização. Atualmente, estão sendo conduzidas experiências com o emprego de materiais alternativos, como bombonas plásticas, e com dimensões menores do que as geralmente empregadas na construção do RAC.

O período de retenção do esgoto no RAC varia de 10 a 24 horas, conforme estabelecido no projeto, levando em consideração as características específicas do esgoto e o volume diário a ser tratado (GONÇALVES, 2006).

O sistema pode ser fragmentado em câmaras de volumes idênticos ou, alternativamente, a primeira câmara pode ter um volume maior, uma vez que esta permite uma maior retenção de partículas sólidas presentes no esgoto, as quais têm a tendência de se depositar no fundo. Ao longo do período de retenção e passagem do esgoto pelas câmaras, ocorre a sedimentação de partículas em suspensão presentes no líquido, resultando na formação de um lodo enriquecido em microrganismos. Este lodo é crucial para a degradação anaeróbia do esgoto. O esgoto, após passar por esse tratamento, exibe uma qualidade superior em comparação ao gerado por um tanque séptico. No entanto, é recomendável um tratamento adicional, tal como o uso de filtro de areia, filtro anaeróbio, sistemas alagados construídos ou biossistemas integrados (CHERNICHARO, 2016). Segundo Tonetti. et.al 2018, “O destino do esgoto após tratamento pelo biodigestor deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais”.

Figura 7 - Esquema do Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC



Fonte: Tonetti et. al., 2018.

O esquema do Reator Anaeróbio Compartimentado visto na figura 7, é composto por identificação das tubulações de entrada e de saída, tubo de inspeção e limpeza, fluxo que o esgoto deve seguir para que haja eficiência de remoção da matéria orgânica, disposição correta das câmaras e das tubulações internas às câmaras, entre outras informações.

3.2.5.7 Filtro Anaeróbio

Filtros anaeróbios são reatores biológicos que contêm um material de alta aderência, imóvel e inerte. Esses sistemas promovem a proliferação de microrganismos anaeróbios, formando uma fina camada conhecida como biofilme ou lodo. Essa camada envolve o material de enchimento, desempenhando a função de um absorvente no processo (SOUZA et al., 2010). De maneira simplificada, o filtro anaeróbio é uma unidade de pós-tratamento destinada ao esgoto doméstico. Consiste em uma câmara preenchida com material filtrante que favorece a fixação de microrganismos encarregados da decomposição da matéria orgânica dissolvida. O filtro pode possuir um compartimento inferior desprovido de material (fundo falso), cuja finalidade é reter o lodo gerado, contendo também microrganismos encarregados do tratamento (TONETTI et.al, 2018). O movimento no processo pode ocorrer tanto de maneira ascendente quanto descendente. Nesse sentido, o líquido a ser tratado percola pelos espaços vazios ou parcialmente ocupados pelo material de enchimento, apresentando-se na forma de flocos ou grânulos (CHERNICHARO, 2007). O esquema do filtro anaeróbio pode ser visualizado na figura 8, onde são identificadas as diferentes tubulações e suas funções, além da identificação da camada filtrante e do fundo falso onde o lodo se acumula.

É aconselhável que o filtro anaeróbio seja precedido por um tanque séptico, biodigestor ou reator anaeróbio compartimentado. Ele pode ser construído com anéis de concreto, alvenaria ou qualquer outro material que assegure a impermeabilização das paredes e do fundo. Atualmente, existem modelos pré-fabricados disponíveis comercialmente em diversos materiais. O filtro anaeróbio deve incluir um tubo de limpeza com pelo menos 100 mm de diâmetro, estendendo-se da tampa até o fundo. Isso permite a inserção de um mangote de sucção para a remoção periódica do excesso de lodo. Não há uma frequência estabelecida para a limpeza do filtro, mas o excesso de lodo deve ser retirado

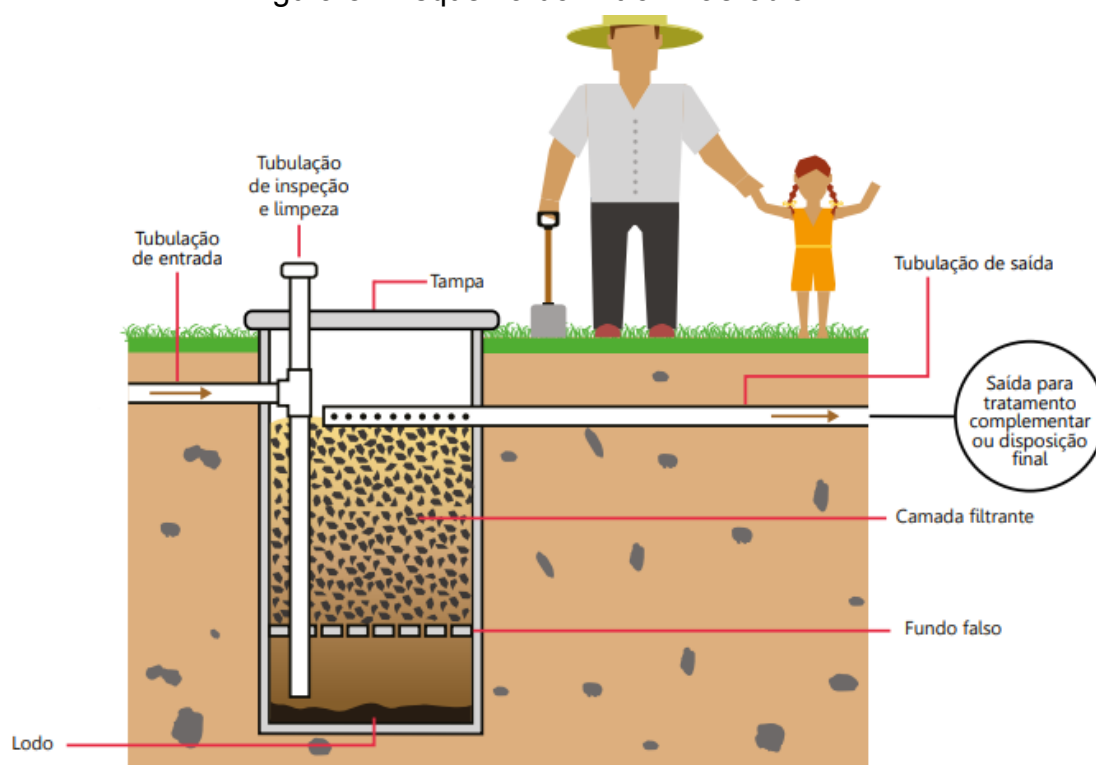
através da tubulação de limpeza sempre que for observado o entupimento do material filtrante (TONETTI et.al, 2018).

É fundamental manter todo o material filtrante submerso, ou seja, completamente preenchido com esgoto, a fim de evitar a oxigenação do ambiente. No Brasil, o material mais comumente empregado para o preenchimento de filtros anaeróbios é a pedra britada número 4, também conhecida como brita de construção civil. Este material é densamente compacto e relativamente dispendioso, devido à complexidade e ao custo associados ao processo de classificação granulométrica. (ANDRADE NETO et al., 2000). Com isso, um dos empecilhos para a adoção de filtros anaeróbios em escala real se refere ao custo do material de enchimento como meio-suporte, podendo-se alcançar a mesma grandeza da construção do filtro (TONETTI, et. al., 2011). Os autores destacam que, no saneamento de pequenas comunidades, é recomendável utilizar materiais prontamente disponíveis em suas proximidades. Desta forma, para o preenchimento do filtro anaeróbio, deve-se escolher um material filtrante que não apresente alterações em sua composição a longo prazo, sendo recomendado um material leve, resistente e com um tamanho uniforme (Ex: brita, seixo, conduíte picado, anéis de plástico, cacos de tijolos ou telhas). Alguns filtros anaeróbios preenchidos com materiais alternativos, como bambu e cascas de coco, estão em operação há mais de 10 anos sem apresentar degradação do meio-suporte e com boa eficiência (TONETTI, et. al., 2018).

Ávila (2005) destaca diversas características do meio de suporte, como a capacidade de acumular uma grande quantidade de biomassa, resultando em um aumento no tempo de detenção celular. Além disso, esse meio melhora o contato entre os componentes do esgoto de entrada e os sólidos biológicos presentes no filtro. Atua como uma barreira física, impedindo o arraste de sólidos para fora do sistema e contribuindo para a uniformização do fluxo no filtro. A escolha de um material com ampla disponibilidade, custos reduzidos de transporte e montagem, bem como boas propriedades físicas (sendo leve e resistente), é destacada. O meio de suporte proporciona um maior tempo de retenção de sólidos, favorecendo a proliferação de micro-organismos, especialmente os metanogênicos. Adicionalmente, aumenta a capacidade do filtro anaeróbio em resistir a alterações orgânicas, mudanças nas características do substrato e à presença de elementos tóxicos (DUDA, 2011).

Após atravessar o filtro anaeróbio, o esgoto pode passar por um tratamento adicional para aprimorar a remoção de matéria orgânica e nutrientes, como o nitrogênio. Alguns dos métodos de tratamento complementares incluem sistemas alagados construídos, círculo de bananeiras e filtro de areia. Conforme observado por Tonetti et al. (2011), os filtros anaeróbios representam uma alternativa de baixo custo tanto na fase de construção quanto na operacional, alcançando uma remoção de aproximadamente 70% da matéria orgânica, além de gerar uma quantidade reduzida de lodo.

Figura 8 - Esquema do Filtro Anaeróbio.



Fonte: Tonetti et. al., 2018.

3.2.5.8 Círculo de Bananeiras

O Círculo de Bananeiras representa uma unidade de tratamento destinada a águas cinzas ou como complemento ao tratamento de esgoto doméstico ou águas provenientes de vasos sanitários. Consiste em uma vala circular preenchida com galhos e palhas. O esgoto é direcionado por um tubo, desaguando em um Joelho que permanece oculto no monte de palha seca, impedindo o contato do esgoto com a superfície. Em torno da vala, é recomendado plantar bananeiras, mamoeiros,

taiobas e outras plantas que prosperam em solo úmido e rico em nutrientes. Para uma residência com 4-5 pessoas, é aconselhável ter entre 01 e 03 círculos de bananeiras para tratar todas as águas cinzas produzidas (TONETTI et. al, 2018). Essas informações podem ser observadas através do esquema do círculo de bananeiras visível na figura 9.

Essa técnica teve sua origem na observação dos impactos dos ventos intensos sobre as plantações de coco. Em áreas desmatadas, as palmeiras de coco caídas formavam círculos nos quais novas palmeiras surgiam, se desenvolviam e produziam de maneira mais eficiente do que quando isoladas. O padrão natural observado indicava que, no centro desses círculos, acumulavam-se folhas, ramos, frutos, e assim por diante, retendo a umidade e concentrando nutrientes, o que beneficiava o desenvolvimento das palmeiras de coco. A partir dessa observação, foram realizadas experiências subsequentes com outras culturas, incluindo a banana. (Vieira, 2006 apud PAES, 2014).

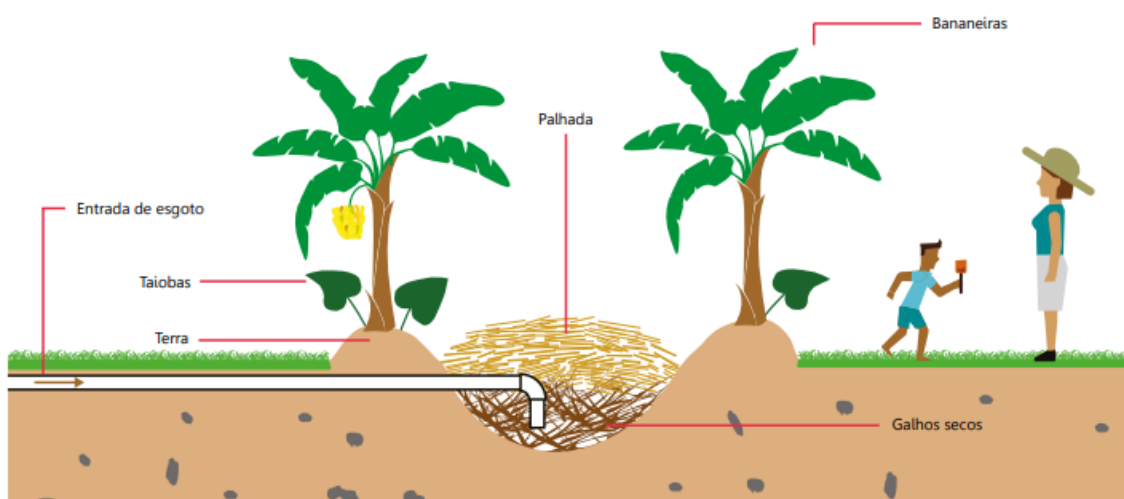
A construção do círculo de bananeiras inicia-se com a escavação do solo, podendo ser realizada manualmente ou com o auxílio de máquinas. A cava não deve ser impermeabilizada ou compactada; em vez disso, seu fundo é preenchido com pequenos galhos e palhadas na parte superior, como capim seco e folhas secas de bananeira. Esse método cria um ambiente arejado e espaçoso para receber o esgoto que necessita de tratamento. A água e os nutrientes provenientes do esgoto são absorvidos pelas bananeiras, enquanto os resíduos orgânicos, como restos de alimentos e sabão, são decompostos pelos microrganismos presentes no solo da vala (FUNASA, 2018). As mudas de bananeira são plantadas a cada 60 cm, no centro do canteiro, intercalando-se com mamoeiros. Os espaços restantes do canteiro podem ser preenchidos com diversas outras espécies vegetais (PAES, 2014).

Apesar do tratamento prévio do esgoto, existe a possibilidade de ocorrência de odores desagradáveis. Por essa razão, é crucial considerar a localização da instalação em relação à residência. Recomenda-se, portanto, que o local seja afastado do lençol freático e de nascentes. Além disso, é aconselhável evitar a implementação em áreas de solo arenoso. Caso o solo seja do tipo arenoso, é possível adicionar uma camada de argila nas paredes e no fundo da cava, a fim de dificultar a infiltração da água.(FUNASA,2015). Uma alternativa semelhante ao círculo de bananeiras é a Bacia de Mulch, um sistema de tratamento e infiltração de

água cinza que também envolve a criação de uma escavação circular em formato de prato fundo. No entanto, nesse sistema, o monte de terra é posicionado no centro do círculo, onde árvores frutíferas são plantadas, enquanto o restante da vala, que circunda o centro, é preenchido com galhos e palha seca. (VIEIRA,2006)

Segundo Guimarães (2019), as vantagens associadas ao tratamento e reutilização local de águas cinzas incluem a promoção da recarga do lençol freático, a redução do consumo de água tratada para irrigação, a preservação dos nutrientes no local, o estímulo ao crescimento de plantas e árvores, a diminuição do volume de esgoto e, conseqüentemente, a redução do uso de energia e produtos químicos.

Figura 9 - Esquema do Círculo de Bananeiras.



Fonte: Tonetti et. al., 2018.

Algumas das tecnologias contidas no quadro 4, foram utilizadas na comunidade em estudo. Comparando-as com as demais tecnologias expostas, conclui-se que as tecnologias adotadas na construção do sistema aplicado na comunidade de Paulicéia, em Pacajus, possui muitas vantagens. O RAC, possui média área necessária para construção, média eficiência de remoção de matéria orgânica, variando de 50 % a 79% de remoção, baixa frequência de manutenção (1 vez por ano) e custo alto. O filtro anaeróbio, por sua vez, possui baixa área necessária para construção, média eficiência de remoção de matéria orgânica, variando de 50 % a 79% de remoção, baixa frequência de manutenção (1 vez por ano) e custo médio. Por fim, o círculo de bananeiras possui baixa área necessária para construção, média frequência de manutenção (1 vez por ano) e custo baixo.

Quadro 4 - Síntese das principais características de tecnologias para o tratamento de esgoto de comunidades isoladas.

Tecnologia	Tipo de esgoto tratado	Necessário unidade de pré-tratamento	Tipo de sistema	Área necessária*	Remoção de matéria orgânica	Frequência de manutenção	Remoção de Lodo	Custo**
T01 Fossa seca	Fezes e urina (sem água)	Não	Unifamiliar	2 a 4 m ²	Não se aplica		Não	
T02 Banheiro seco compostável	Apenas fezes e um pouco de urina (sem água)	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	3 a 5 m ²	Não se aplica		Não, mas há produção de composto	
T03 Estocagem e uso da urina	Apenas urina (com ou sem água)	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	1 a 3 m ²	Não se aplica		Não	
T04 Sistemas alagados construídos (SAC)	Águas cinzas Esgoto pré-tratado	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	7,5 a 15 m ²			Não	
T05 Círculo de bananeiras	Águas cinzas Esgoto pré-tratado	Não para águas cinzas. Sim para esgoto misto	Unifamiliar	3 a 5 m ²	Não se aplica		Não	
T06 Reator anaeróbio de fluxo ascendente unifamiliar	Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m ²			Sim	
T07 Fossa verde	Águas de vaso sanitário	Não	Unifamiliar	7 a 10 m ²			Talvez	
T08 Fossa séptica biodigestora	Águas de vaso sanitário	Não	Unifamiliar	10 a 12 m ²			Não	
T09 Tanque séptico	Águas de vaso sanitário Águas cinzas Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m ²			Sim	
T10 Filtro anaeróbio	Esgoto pré-tratado	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	1,5 a 4 m ²			Sim	
T11 Filtro de areia	Esgoto pré-tratado	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	2 a 5 m ²			Não	
T12 Vermifiltro	Águas de vaso sanitário Águas cinzas Esgoto doméstico Esgoto pré tratado	Sim	Unifamiliar ou semicoletivo	2 a 4 m ²			Sim, na forma de húmus de minhoca	
T13 Biodigestor	Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	5 m ²			Sim	
T14 RAFA compacto	Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	3 a 8 m ²			Sim	
T15 Biossistema integrado (BSI)	Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico	Não	Unifamiliar ou semicoletivo	25 a 100 m ²			Sim	
Remoção de matéria orgânica (eficiência)		Frequência de manutenção			Custo**			
Até 49% (baixa) 50% a 79% (média) 80% ou mais (alta)		1 vez por ano (baixa) 2 a 4 vezes por ano (média) 5 ou mais vezes por ano (alta)			Até R\$ 500 (baixo) R\$ 500 a R\$ 1500 (médio) R\$ 1500 a R\$ 2500 (alto)			
* Para um sistema que atende até 5 pessoas.								
** Valores calculados em 2018 para um sistema que atende até 5 pessoas.								

Fonte: Tonetti et. al., 2018.

A tabela 1, por sua vez, apresenta a eficiência de remoção de algumas tecnologias de tratamento aplicadas nos sistemas de saneamento descentralizados de modo geral de acordo com estudos realizados. Com destaque para o Reator Anaeróbio Compartimentado, que apresenta remoção de 50% a 80% da DBO, remoção de 25% de nutrientes e coliformes, e turbidez de 25% a 50% de remoção.

Tabela 1 - Eficiência de remoção de sistemas de tratamento descentralizado.

Sistema	DBO			Nutrientes	Coliformes	Turbidez	SDT
Tratamento Primário	O	O	+	X	-	O	-
Filtro Biológico	+	+	+	X	X	O	-
Wetlands Construídos	+	+	+	O	O	O	-
Reator Anaeróbio Compartimentado	+	+	+	X	X	O	-
Sistema Combinado Anaeróbio-Aeróbio	+	+	+	O	O	O	-
Sistema MBR	++	++	++	++	++	++	-

Legenda: (-) remoção nula ou muito baixa; (X) remoção de 25%; (O) remoção de 25 a 50%; (+) remoção de 50 a 80%; (++) remoção > 80%.

Fonte: Subtil, E.L; Sanchez, A.A; Cavalhero, A, 2016.

3.2.6 Impacto socioambiental dos sistemas de tratamento de esgoto.

Segundo o autor SANTOS (2008, p. 89), “impacto ambiental é o desequilíbrio consequente de um dano que se vale de agentes diversos capazes de interromper a harmonia existente na relação entre ser vivo e natureza por causa da ação do homem sobre o meio ambiente”. Esses impactos podem ter caráter positivo ou negativo, a depender das alterações provocadas na natureza.

O tratamento de esgoto, por exemplo, tem importantes impactos socioambientais positivos, pois envolve a gestão de resíduos com elevada carga de matéria orgânica e inorgânica, que se não coletadas e tratadas corretamente, podem afetar tanto a saúde e qualidade de vida das comunidades como o meio ambiente, especialmente em áreas onde a infraestrutura de tratamento é insuficiente, falta investimento adequado ou onde as instalações de tratamento podem ter emissões ou descargas poluentes (CASTANHEIRA & BAYDUM, 2015). No Brasil, somente 25 milhões de habitantes nas áreas rurais desfrutam de acesso à água potável tratada,

enquanto aproximadamente 2,3 milhões dependem de fontes de água não seguras (UNICEF, 2020). Quando se trata de coleta de esgoto, os dados são ainda mais preocupantes, com mais de 100 milhões de pessoas sem acesso a serviços básicos de saneamento e apenas 49,1% do esgoto produzido passando por tratamento adequado (SNIS, 2021).

Nas sociedades contemporâneas, compreende-se que zelar pela qualidade de vida de seus habitantes é otimizar a ocupação do solo e o uso dos seus recursos de forma que assegure o bem estar socioeconômico e a manutenção do meio em que vivem, ou seja, uma vida de qualidade significa um ambiente equilibrado (BARACHO, 1999). Logo, qualidade ambiental deve ser encarada não só como somatória das qualidades de cada um dos componentes do meio, mas como condição essencialmente ligada à qualidade de vida das populações. Dessa forma, entende-se que ter uma coleta e tratamento de esgoto adequado e eficiente influencia muito na saúde do meio ambiente e no bem-estar geral. Com isso, alguns dos impactos sociais e ambientais comuns relacionados ao tratamento de esgoto incluem:

- Melhoria na Saúde Pública: O tratamento adequado de águas residuais reduz a disseminação de doenças de veiculação hídrica, protegendo a saúde das comunidades locais.
- Conservação dos Recursos Hídricos: Em algumas regiões, o tratamento de esgoto pode contribuir para a recarga de aquíferos subterrâneos, melhorando a disponibilidade de água potável, ou reutilizando-a em processos industriais e na irrigação agrícola, conservando assim os recursos hídricos limitados.
- Criação de Empregos: A construção e operação de instalações de tratamento de esgoto podem gerar empregos locais, estimulando a economia da comunidade.
- Redução da Poluição Ambiental: O tratamento de esgoto reduz a poluição da água e do solo, podendo ter impacto positivo na biodiversidade, na qualidade dos corpos d'água e na qualidade de vida das comunidades que dependem desses recursos naturais.
- Proteção de Ecossistemas Aquáticos: O tratamento adequado de esgoto protege ecossistemas aquáticos, como rios, lagos e oceanos, de danos causados por poluentes presentes nas águas residuais.
- Conscientização Ambiental: A implementação de sistemas de tratamento de esgoto muitas vezes está ligada a campanhas de conscientização ambiental que incentivam

as comunidades a entender a importância da preservação dos recursos hídricos e da gestão responsável das águas residuais. A educação ambiental suscita valores, atitudes e atributos favoráveis ao descarte racional dos resíduos e a conservação sustentável do meio ambiente.

- Reciclagem de Nutrientes: Em algumas instalações, os nutrientes, como nitrogênio e fósforo, podem ser recuperados das águas residuais tratadas e reciclados como fertilizantes, para serem utilizados na agricultura.

- Equidade Social: Assegurando que todas as pessoas, independentemente de sua localização, tenham acesso a serviços de saneamento básico.

4. METODOLOGIA

O sistema de tratamento descentralizado foi aplicado em uma comunidade rural da cidade de Pacajus, sendo o foco de estudo deste trabalho o dimensionamento, instalação e avaliação do impacto social da unidade de tratamento composta por: RAC, Filtro Anaeróbio e Círculo de Bananeiras.

Esta comunidade foi escolhida, visto que Pacajus teve a pior cobertura de esgoto de todos os municípios do Estado, segundo relatório divulgado pela companhia responsável e por dados extraídos do SNIS referentes ao ano de 2021. Isso mostra a necessidade urgente de se desenvolver ações voltadas ao esgotamento sanitário nesta cidade. Além disso, a comunidade de Paulicéia foi selecionada por ser uma das comunidades mais carentes nos âmbitos social e econômico do município de Pacajus.

Nesta seção, serão apresentadas informações da comunidade de Paulicéia, bem como, o processo de desenvolvimento do produto e o diagnóstico da propriedade da família beneficiada.

4.1 Área de estudo

Os dados para caracterização da área de estudo foram coletados a partir de sites do IBGE, do SNIS, da Prefeitura Municipal de Pacajus, do Governo do Estado do Ceará, do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, dos Boletins Epidemiológicos disponibilizados pelo Ministério da Saúde (Levantamento Rápido de Índice para *Aedes aegypti* - LIRAA/LIA e Doenças Diarréicas Agudas - DDA), da CAGECE, entre outros sites complementares.

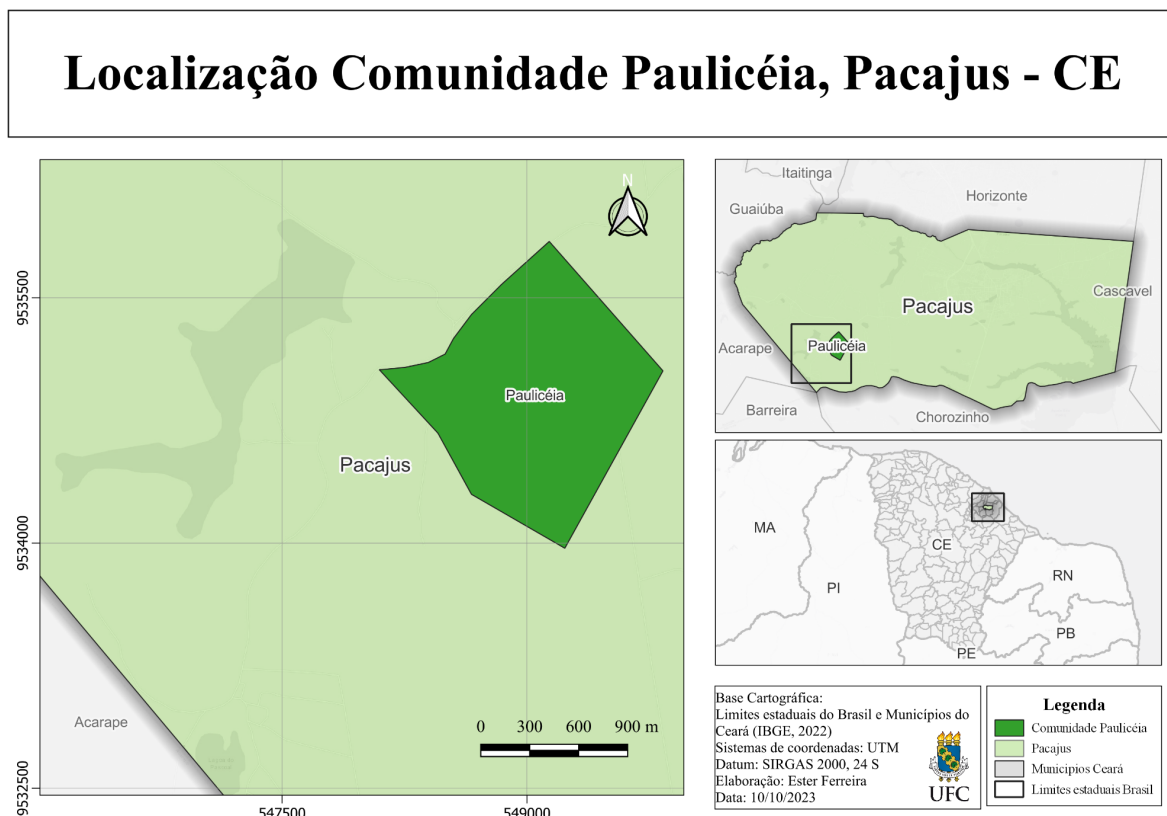
A pesquisa bibliográfica priorizou sites que mantêm informações atualizadas sobre o país e possuem um extenso conteúdo sobre o estado do Ceará, com foco especial no município de Pacajus. Esse enfoque visa proporcionar uma visão o mais precisa possível da realidade da comunidade estudada.

4.1.1 Localização

O presente estudo foi realizado em Paulicéia, uma comunidade pertencente à cidade de Pacajus - CE. O município está localizado na Região Metropolitana de

Fortaleza, que dista aproximadamente 53 quilômetros da capital do estado. No entanto, Paulicéia está a distância de aproximadamente 62 quilômetros de Fortaleza. Na Figura 10, é possível observar o mapa que mostra a posição da Comunidade de Paulicéia em Pacajus - CE.

Figura 10 - Mapa de localização de Paulicéia



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.2 População

De acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2022, Pacajus possuía população de 70.534 pessoas sendo 81,95% localizados em área urbana e 18,05% em área rural. Comparando com os demais municípios do Ceará, o município ocupou a 23ª posição no ranking populacional de um total de 184 municípios.

Com relação a densidade demográfica, segundo dados do IBGE em 2022, Pacajus possuía 281,79 habitantes por quilômetro quadrado. De acordo com IBGE (2010), a faixa etária predominante era composta por homens e mulheres com

idades entre 10 a 29 anos, configurando uma população pacajuense em sua maioria jovem.

4.1.3 Economia e Rendimento

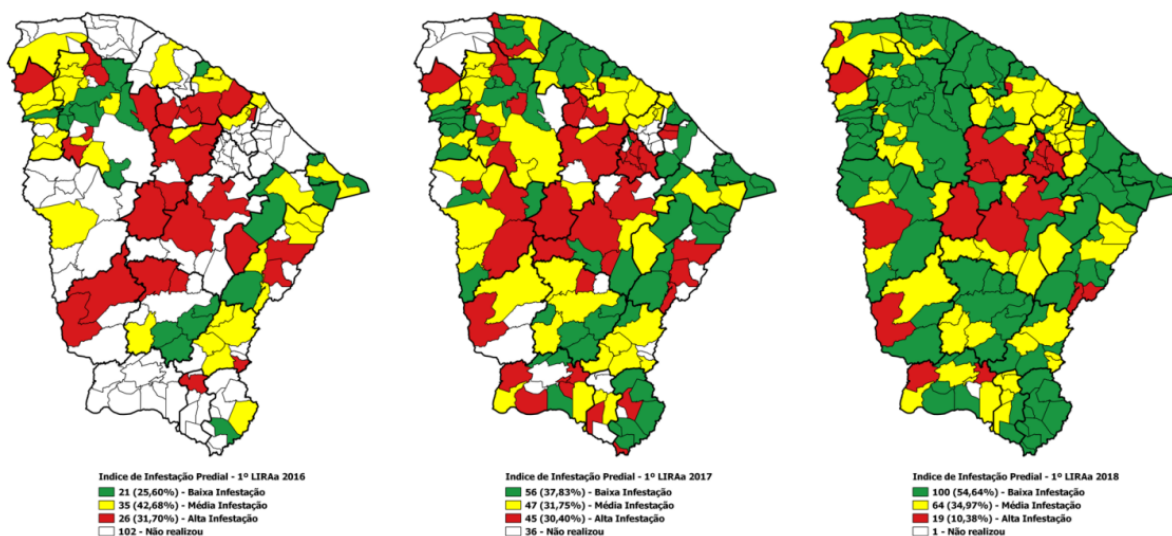
A economia é amplamente sustentada pela agricultura, em particular pelo cultivo da mandioca, com um forte apoio da Associação dos Produtores de Mandioca e Amido de Pacajus, situada na própria comunidade, e que abrange todo o estado do Ceará. Além disso, o cultivo do caju desempenha um papel proeminente na economia local, trabalhando em conjunto com os setores de comércio, indústria e turismo da cidade de Pacajus.

4.1.4 Saúde

De acordo com o Levantamento Rápido de Índice para *Aedes aegypti* - LIRAA/LIA, em 2018 no estado do Ceará, 183 dos 184 municípios (99,46%) realizaram o primeiro levantamento (LIRAA) anual. Desses, 10,38% (19 municípios) apresentaram uma alta infestação do *Aedes aegypti*, indicando uma redução significativa de 65,85% em comparação com o ano anterior.

Cerca de 34,97% (64 municípios) encontravam-se em uma situação de média infestação, enquanto 54,64% (100 municípios) demonstraram um índice de infestação satisfatório. Isso representou um aumento de 44,43% no número de municípios com um índice de infestação pelo *Aedes aegypti* inferior a 1% em comparação com o mesmo período do ano anterior. A Figura 11, representa o índice de risco dos municípios cearenses pelo *Aedes aegypti* durante os anos de 2016 a 2018. O município de Pacajus em 2017, apresentou alto risco de infestação pelo mosquito, porém em 2018, houve melhora nesse quadro passando a apresentar médio risco de infestação.

Figura 11 - Índice de risco de Infestação dos municípios do Ceará, LIRAA entre os anos de 2016 e 2018.



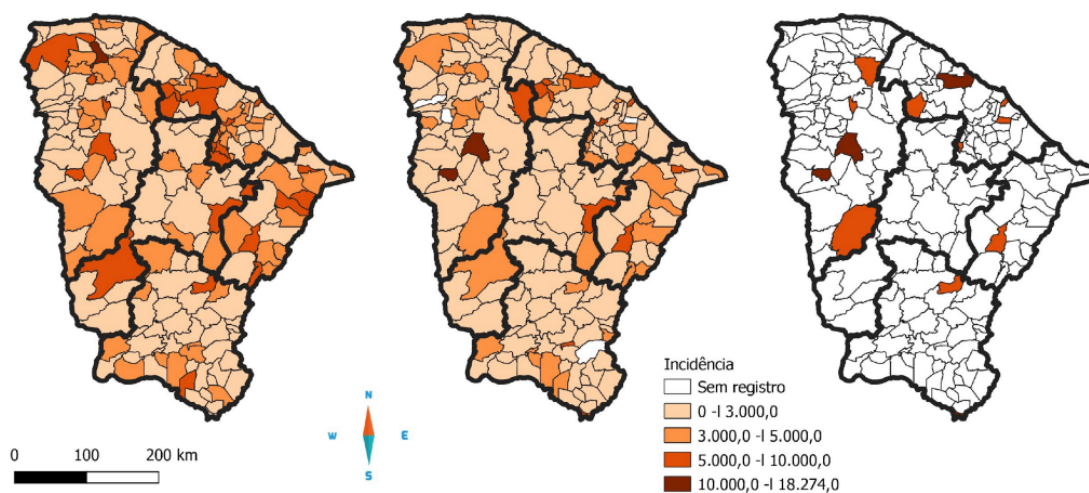
Fonte: LIRAA, 2018.

A taxa de mortalidade infantil média na cidade era de 7,61 para 1.000 nascidos vivos, comparado com todos os municípios do estado, ficando nas posições 134 de 184, estando na classe dos municípios com menor índice de mortalidade infantil (IBGE, 2021). As internações devido a diarreias eram de 0,3 para cada 1.000 habitantes. Comparado com todos os municípios do estado, estando nas posições 151 de 184, pertencendo à categoria dos municípios com as taxas mais baixas de internações por diarreia (IBGE, 2016).

No Ceará, em 2018, o sistema de monitoramento (SIVEP-DDA) registrou um total de 306.965 casos de doença diarreica. No ano subsequente, foram notificados 309.313 casos. Em 2020, as notificações ao SIVEP-DDA totalizaram 200.391 casos. No decorrer de 2021, foram registrados um total de 142.919 casos notificados. Até a Semana Epidemiológica 45 de 2022, o sistema já havia registrado 198.494 casos de doença diarreica.

Pacajus apresentou nos anos de 2020 e 2021, registros de três a cinco mil casos configurando média incidência, como mostrado na Figura 12. Porém em 2022, até a SE 45, não apresentou registros de casos de DDA no município, apresentando significativa melhora da qualidade de vida e saúde dos pacajuenses.

Figura 12 - Incidência de DDA dos municípios cearenses entre os anos de 2020 e 2022.



Fonte: Secretaria da saúde (Boletim Epidemiológico), 2022.

4.1.5 Saneamento

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, em 2021, expôs os indicadores das áreas que formam o saneamento básico da cidade de Pacajus, que são: água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem.

Em resumo, apenas 43,16% da população pacajuense foi atendida com abastecimento de água. Em âmbito estadual, a média é de 59,74% considerando áreas urbanas e rurais, sendo 75,1% apenas para áreas urbanas. Em âmbito nacional, 84,2% do país foi atendido com abastecimento de água. Em Pacajus, 42.147 habitantes não tinham acesso à água potável através da companhia de água responsável pelo abastecimento, tornando possível ter acesso a água, tanto para consumir o quanto para atividades domésticas e higiênicas, apenas por poços e cisternas que acumularam águas pluviais ao longo da quadra chuvosa. Naquele ano, somente 2,24% da população foi atendida com esgotamento sanitário (coleta e tratamento), frente a média de 35,57% do estado e 66,95% do país.

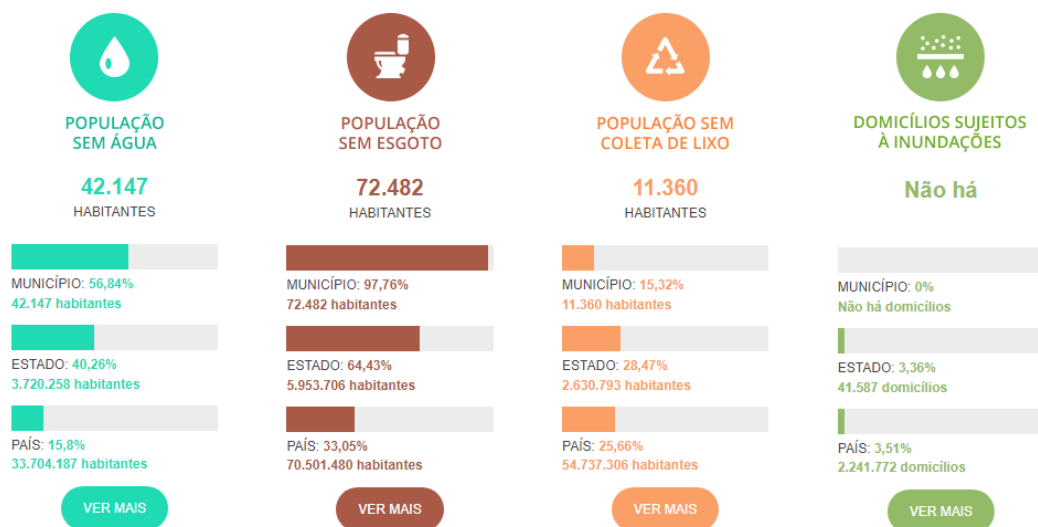
O esgoto de 72.482 habitantes não foi coletado pela companhia de esgoto responsável, fazendo com que a maioria do destino de esgotos, principalmente domésticos, fossem fossas rudimentares que não possuem estrutura adequada para

tratar o esgoto, e conseqüente provocando contaminação do solo e dos lençóis freáticos. Ainda segundo o SNIS, 84,68% da população de Pacajus foi atendida com coleta de resíduos domiciliares, mas o lixo de 9.619 habitantes não foi recolhido. Problemas nos sistemas de drenagem e de manejo das águas pluviais podem desencadear impactos diretos sobre a vida da população nas áreas urbanas. Em Pacajus, 40,37% da área é considerada área urbana, com densidade de 6 pessoas/ha. A cidade não possui mapeamento de áreas de risco de inundação dos cursos d'água urbanos, não existem sistemas de alerta de riscos hidrológicos (alagamentos, enxurradas, inundações) nem ao menos plano diretor de drenagem. Além disso, Pacajus não possui dados no SNIS sobre todos os serviços de drenagem (SNIS, 2021).

Diante deste cenário, percebe-se que os resíduos sólidos é a área do saneamento básico com maior destaque na cidade, porém, que ainda necessita de ajustes para que a população não atendida pela empresa responsável pela coleta dos resíduos possa ser contemplada com esse serviço básico. A Figura 13, demonstra os indicadores de cada área do saneamento de acordo com os dados disponibilizados pelo SNIS no ano de 2021. Analisando os indicadores é notório perceber que a cidade ainda necessita de uma ação mais efetiva para que a qualidade de vida da população melhore consideravelmente.

Atualmente, Pacajus não possui política municipal de saneamento, conselho municipal de saneamento, nem fundo municipal de saneamento. Esses dados são altamente alarmantes pois demonstram que o saneamento básico desta cidade está precário, o que compromete a qualidade do meio ambiente, a saúde da população e dos animais (sejam eles aquáticos ou terrestres). No final de 2020, foi realizado o Plano Municipal de Saneamento elaborado a partir do Convênio de Cooperação Técnica entre a prefeitura de Pacajus e a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). A elaboração do plano representa o ponto de partida essencial na jornada em direção à universalização do saneamento, sendo um processo de planejamento que visa transformar ações em realidade, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população no futuro.

Figura 13 - Indicadores das áreas do saneamento básico de Pacajus em 2021.



Fonte: SNIS, 2021.

4.2 Educação ambiental e método de seleção do local de implantação do projeto.

Inicialmente, foi realizada uma atividade de educação ambiental para toda a comunidade (Figura 14), abordando os impactos adversos da carência de saneamento básico adequado tanto para os seres humanos quanto para o meio ambiente. Especial ênfase foi dada à importância da coleta e tratamento adequado de esgoto.

Durante esse momento, foram compartilhados com a comunidade dados sobre doenças transmitidas pela água e outras enfermidades decorrentes da ausência de coleta de esgoto apropriada. Também foram discutidos os benefícios de ter um sistema de saneamento básico de qualidade na comunidade, além de oferecer dicas e práticas sustentáveis para serem implementadas nos lares e na comunidade como um todo.

Em seguida, houve uma explicação detalhada sobre a tecnologia proposta para o tratamento do esgoto doméstico, destacando suas características distintas em relação às fossas sépticas rudimentares e outros tipos de fossas. Foram abordados temas como o funcionamento do sistema, suas vantagens e desvantagens, a metodologia de aplicação, entre outros aspectos relevantes.

Figura 14 - Momento de Educação ambiental na comunidade com voluntários do projeto Enactus UFC.



Fonte: Elaborado pela autora

Ao término desse momento de conscientização ambiental, foi encaminhada uma lista para preenchimento dos participantes interessados, registrando nomes completos e informações de contato. Posteriormente, visitas foram realizadas às pessoas listadas como interessadas para a aplicação de um questionário socioeconômico e ambiental. O questionário foi aplicado em formato de entrevista, como visualizado no apêndice A.

O objetivo foi verificar o estado de vulnerabilidade em que as famílias se encontravam, se não dispunha de um sistema adequado de coleta e tratamento de esgoto. Após a realização da entrevista em todas as residências com interesse, uma delas foi selecionada para a execução do projeto. O método de seleção baseou-se nas respostas, seguindo critérios de prioridade (Apêndice B). A soma das prioridades classificaram as residências como mais urgente ou menos urgente. A residência que apresentou o maior valor do somatório das prioridades, indicou uma maior urgência sendo selecionada para aplicação do projeto na propriedade.

Na residência selecionada foram feitas visitas técnicas e diálogos com os proprietários, para identificar as condições de saneamento na propriedade, incluindo a gestão dos resíduos líquidos. As conclusões da entrevista com a família escolhida e as observações da equipe durante a visita técnica à residência selecionada estão apresentadas no tópico 5.1 deste trabalho. Ao final da instalação do sistema, todos os meses é passado um questionário de satisfação e de monitoramento do

funcionamento do sistema, que é respondido pelos moradores da residência selecionada a fim de saber as mudanças percebidas por eles antes e após a finalização do sistema.

4.3 Cálculos do dimensionamento do sistema de tratamento.

Os cálculos para o dimensionamento foi realizado tendo como base os estudos de Gonçalves (2006) e Tonetti (2018) e as normas:

NBR 8160/1999 - Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução;

NBR 7229/1993 - Projeto, construção e execução de sistemas de tanques sépticos;

NBR 13969/1997- Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final.

O dimensionamento foi realizado visando, principalmente, a remoção de coliformes fecais termotolerantes, em especial a *Escherichia coli*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da entrevista e visita técnica aplicada à família selecionada

A situação do esgotamento sanitário na residência era precária, pois as águas da pia da cozinha eram despejadas a céu aberto, através de uma tubulação, como mostra na Figura 15, sem qualquer tipo de tratamento, contaminando o solo e atraindo insetos e roedores. A residência abriga seis pessoas e além destes, outros membros da família, como filhos, netos, genros e noras, que frequentam o local com esporadicamente. O marido desempenha atividades agrícolas, enquanto sua esposa cuida da propriedade, onde mantêm criação de animais (galinhas, porcos, cavalo, cachorro, entre outros). O cultivo das atividades agrícolas é realizado apenas para consumo próprio.

Figura 15 - Condições de saneamento na propriedade.



Fonte: Elaborado pela autora

O abastecimento de água é proveniente de um poço artesiano situado na propriedade vizinha, a aproximadamente 150 metros da residência. Os moradores pagam uma quantia simbólica apenas para custear o valor da energia usada nas bombas que levam a água do poço até a casa. Adicionalmente, os moradores utilizam uma cisterna que coleta água pluvial por meio de calhas distribuídas ao redor da casa.

A cisterna destina-se ao consumo, enquanto o poço artesiano é utilizado para fins domésticos e higiênicos. Os efluentes provenientes de pia, chuveiro e lavanderia eram anteriormente despejados a céu aberto. As águas do vaso sanitário eram conduzidas para uma fossa construída com anéis de concreto, desprovida de impermeabilização nas laterais e no fundo, o que compromete a qualidade da água dos poços.

A propriedade conta com um poço, porém, o poço construído era raso e inadequado, pois com a fossa irregular na propriedade o lençol freático se contaminou e a água se tornou inadequada para uso humano. Em busca de uma alternativa, optaram por adquirir água do poço mais profundo do vizinho para abastecer a casa. Suspeita-se que a fossa sem revestimento tenha causado a contaminação do lençol freático e a inutilização do primeiro poço.

Conforme relato do beneficiário, a fossa atingia a capacidade máxima frequentemente, especialmente durante períodos chuvosos, ocasionando odores desagradáveis, obstrução de tubulações e contato frequente com esgoto a céu aberto e com bactérias prejudiciais à saúde humana. Isso representava um risco à vida do beneficiário, uma vez que ele mesmo realizava o esgotamento da fossa sem o devido equipamento de proteção.

Além disso, todo o efluente extraído do esgotamento da fossa era descartado no solo do quintal através de uma cava que posteriormente era aterrada, a poucos metros da residência.

Visando solucionar esses problemas e proporcionar melhores condições de vida para a família e um ambiente mais equilibrado, foi construído um sistema de coleta e tratamento descentralizado de esgoto na residência. O sistema descentralizado foi escolhido para incorporação de práticas mais sustentáveis, como o tratamento local de resíduos e a reutilização de água, contribuindo para a gestão mais eficiente dos recursos. Além disso, esse tipo de sistema foi selecionado por promover a participação comunitária no gerenciamento e manutenção dos sistemas, fortalecendo o senso de responsabilidade local.

O sistema de tratamento é composto por uma caixa de gordura, um reator anaeróbio compartimentado, um filtro anaeróbio e um círculo de bananeiras. No pré tratamento, utilizou-se caixa de gordura para retenção de sólidos pesados, óleos e gorduras. No reator anaeróbio compartimentado, utilizaram três câmaras de volumes iguais, onde as bactérias anaeróbias presentes no próprio esgoto degradava a

matéria orgânica. Essas câmaras foram utilizadas em materiais pré-fabricados para garantir a agilidade do processo de instalação, pois possuem alta resistência e durabilidade. Após o RAC, o esgoto passa pelo filtro anaeróbio onde possui um meio de suporte feito de cascas de coco verde, pois a fibra da casca do coco verde possui bactérias capazes de degradar a matéria orgânica que não foi degradada nas etapas anteriores.

No filtro também foram utilizados materiais pré fabricados pela agilidade no processo de instalação, pois possuem alta resistência e durabilidade. Por fim, o esgoto tratado é encaminhado para o círculo de bananeiras, que é uma escavação circular preenchida com cascas de coco, palhas, folhas e galhos secos, etc. Ao redor foram plantadas bananeiras, espécie que necessita de bastante água e nutrientes.

Os dados sobre o número de pessoas que residem na casa, sobre a situação do abastecimento de água e coleta de esgoto na residência, bem como as condições econômicas da família, estão dispostas neste item. A contribuição per capita, tempo de detenção hidráulica e dimensionamento de todo o sistema, estão dispostas no item 5.2 e 5.3 deste trabalho.

5.2 Dimensionamento da rede de coleta de esgoto.

O dimensionamento foi realizado tendo como base as normas NBR 8160/1999, NBR 7362 e estudos realizados pela FUNASA (2006) e Tsutiya e Sobrinho (2011), visando, principalmente, a seleção dos diâmetros das tubulações utilizadas na rede de coleta de esgoto.

5.2.1 Declividade

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), ao projetar a disposição de uma tubulação, é fundamental utilizar a topografia da área designada como referência, visando otimizar o sistema com a inclinação natural do terreno. Isso se deve ao fato de que o fluxo ocorre seguindo a inclinação do terreno, impulsionado pela gravidade.

No desenvolvimento do projeto, também se buscou alcançar o máximo de eficiência na economia da rede coletora, mantendo um equilíbrio entre uma abordagem técnica e economicamente viável. Conforme as diretrizes do Manual de Saneamento da FUNASA (2006), a profundidade mínima da tubulação deve ser

estabelecida de forma a permitir o recebimento de efluentes por gravidade, ao mesmo tempo em que protege a tubulação contra potenciais danos causados pelo tráfego de veículos e outros impactos.

O projeto adotou a declividade conforme as diretrizes da NBR 8160/1999. Segundo a norma, “Todos os trechos horizontais previstos no sistema de coleta e transporte de esgoto sanitário devem possibilitar o escoamento dos efluentes por gravidade, devendo, para isso, apresentar uma declividade constante.” A referida norma recomenda as seguintes declividades mínimas: a) 2% para tubulações com diâmetro nominal igual ou inferior a 75 mm; b) 1% para tubulações com diâmetro nominal igual ou superior a 100 mm. Para verificação e ajuste da declividade foi utilizado o nível de alumínio com 3 bolhas, vertical, horizontal e inclinado 45°, observado na Figura 16. O nível de alumínio é indicado para nivelar superfícies em geral.

Os líquidos esgotáveis consistem em água e materiais sólidos, os quais podem estar dissolvidos ou em suspensão, sendo esses últimos sedimentáveis. Portanto, a sedimentação desses sólidos ao longo das tubulações de esgoto é indesejável, uma vez que, ao longo do tempo, podem ocasionar reduções progressivas na seção útil ou agrupar-se em volumes sólidos maiores. Isso pode resultar em abrasão nas paredes internas dos condutos quando arrastados pelo líquido, comprometendo o fluxo e causando danos à canalização. Para prevenir tais problemas, as tubulações são dimensionadas de maneira a assegurar condições de escoamento que minimizem o esforço tangencial entre o líquido em movimento e a superfície interna do tubo. Esse dimensionamento visa promover a autolimpeza da tubulação, pelo menos uma vez ao dia (TSUTIYA e SOBRINHO, 2011).

Figura 16 - Ajustando a declividade com nível de alumínio de 3 bolhas.



Fonte: Elaborado pela autora

5.2.2 Materiais das tubulações de esgoto

Os materiais frequentemente empregados na implementação de sistemas de coleta e transporte de águas residuais incluem tubos de cerâmica, concreto, PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PVC, ferro fundido e aço. No contexto da rede coletora, os tubos de PVC são os mais utilizados (TSUTIYA e SOBRINHO, 2011). Tubos e conexões de PVC são projetados para serem enterrados e utilizados no transporte de esgoto sanitário, e efluentes industriais que não sejam agressivos ao PVC, com temperaturas inferiores a 40°C. De acordo com a mesma fonte, os tubos de PVC exibem uma notável resistência à corrosão.

O PVC emerge como a opção preferencial para tubulações que operam por gravidade, devido ao seu custo acessível, ampla disponibilidade, facilidade de transporte, variedade de diâmetros disponíveis e longa vida útil do material. Tsutiya e Sobrinho (2011) também recomendam especialmente o uso de PVC em áreas com lençol freático acima das redes de esgoto, como em regiões litorâneas.

Para construção deste sistema de tratamento de esgoto doméstico foram utilizadas tubulações com diâmetros de 50 mm, 75 mm e 100 mm por onde passava o esgoto e também para os tubos de inspeção e limpeza. Para os suspiros foram utilizados canos de diâmetro 20 mm, curvas 45° e 90° e joelhos 90° em material PVC com variações de diâmetro. Os requisitos específicos para a utilização dos diversos tipos de tubos em PVC são regulamentados pelas normas NBR 7.362 - 1, NBR 7.362 - 2 e NBR 7.362 - 3. Uma planta baixa do projeto para esta residência, foi elaborada para permitir a realização da instalação do sistema de tratamento de esgoto pelos colaboradores. A planta baixa mostra a posição das tubulações, bem como seus diâmetros e comprimento utilizado no projeto, como também, o dimensionamento da caixa de gordura, do RAC, do filtro anaeróbio e do círculo de bananeiras, conforme pode ser observado no Apêndice C.

5.3 Dimensionamento das unidades de tratamento de efluentes

5.3.1 Pré - Tratamento

Antes do efluente doméstico passar pela primeira câmara do RAC, foi implantada uma caixa de gordura (Figura 17), recebendo água proveniente da pia da cozinha e do banheiro. A finalidade da caixa de gordura é reter e evitar a passagem de gorduras e resíduos sólidos para a rede de esgoto.

A retenção de gorduras pela caixa de gordura previne obstruções nas tubulações, reduzindo o risco de entupimentos e promovendo o bom funcionamento do sistema de esgoto. Segundo a NBR 8160/1999, “As caixas de gordura devem ser dimensionadas levando-se em conta o que segue: Para a coleta de efluente de apenas uma cozinha, pode ser usada a caixa de gordura pequena ou a caixa de gordura simples”.

No projeto foi utilizada a caixa de gordura pequena, que de acordo com a referida norma, a caixa de gordura pequena (CGP), cilíndrica, deve ter as seguintes dimensões mínimas: 1) diâmetro interno: 0,30 m; 2) parte submersa do septo: 0,20 m; 3) capacidade de retenção: 18 L; 4) diâmetro nominal da tubulação de saída: DN 75 mm.

Para a instalação da Caixa de Gordura, foram empregadas enxada e pá na escavação do local de instalação. Para as conexões das tubulações das pias à caixa de gordura e da caixa de gordura à primeira câmara do RAC, foram utilizados tubos de PVC de 50 mm e 75 mm. Após a passagem da água proveniente da pia da cozinha e do banheiro pela caixa de gordura, ela é conduzida à primeira câmara do RAC, percorrendo o caminho do sistema de tratamento até ser direcionada para o círculo de bananeira, que constitui o ponto de destino final para a água residuária desse sistema.

Figura 17 - Instalação das tubulações provenientes da pia da cozinha e banheiro à caixa de gordura.



Fonte: Elaborado pela autora

5.3.2 Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC

O dimensionamento do RAC seguiu os critérios estabelecidos por Gonçalves (2006). Conforme o autor, para determinar o volume útil do RAC, são necessários a vazão média de água residuária da residência, que depende do número de habitantes, e o tempo de detenção hidráulica.

A vazão média do esgoto, por sua vez, foi calculada a partir do número de habitantes da residência e da contribuição de despejos por pessoa por dia, conforme especificado pela Norma ABNT NBR 7229/1993. Este último dado foi obtido considerando uma residência de padrão baixo com 6 pessoas, adotando-se como contribuição de despejos per capita o valor de 100 litros por dia (conforme Tabela 2).

Tabela 2 - Contribuição diária de esgoto (C) e de Lodo Fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Unid.: L

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Fonte: NBR 7229/1993

Dessa forma, a vazão média total da residência foi determinada da seguinte maneira:

$$Q \text{ med} = N \cdot C$$

$$Q \text{ med} = 6 \cdot 100$$

$$Q \text{ med} = 600 \text{ L/dia}$$

Onde:

N = Número de habitantes da residência

C = Contribuição de despejos em L/pessoa x dia

Visando garantir uma eficiência maximizada na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o parâmetro principal adotado para o dimensionamento foi um tempo de detenção hidráulica de 19 horas (0,79 dia) e a utilização de três compartimentos no RAC. O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) foi projetado com uma configuração geométrica circular, considerando uma temperatura média do esgoto superior a 20°C, pois segundo a CAGECE (2016), "No Estado do Ceará o valor de temperatura se situa na faixa de 25 - 30°C, mais

comumente entre 27 - 28°C, considerada como condição sub-ótima de temperatura”. A partir da vazão média total da residência, o volume de cada compartimento do Reator Anaeróbio Compartimentado foi calculado utilizando a equação proposta por Gonçalves (2006), sabendo-se que cada compartimento possui o mesmo volume, conforme calculado a seguir:

$$V \text{ compartimento } 1 = Q_{med} \cdot TDH$$

$$V \text{ compartimento } 1 = 600 \cdot 0,79$$

$$V \text{ compartimento } 1 = 475 \text{ L.}$$

$$V \text{ compartimento } 1 = V \text{ compartimento } 2 = V \text{ compartimento } 3.$$

Logo, o Volume total do RAC será:

$$V \text{ RAC total} = V \text{ compartimento } 1 + V \text{ compartimento } 2 + V \text{ compartimento } 3.$$

$$V \text{ RAC total} = 475 + 475 + 475$$

$$V \text{ RAC total} = 1\,425 \text{ L.}$$

Onde:

Q_{med} = Vazão média de esgoto em L/ dia

TDH = Tempo de detenção hidráulica, em dia

Para atender a essa demanda, foram adotados três tanques pré-moldados, dispostos em série, com volume de 500 litros cada, totalizando um volume de 1500 Litros. A escolha por materiais pré-moldados foi motivada pela celeridade do processo construtivo, sendo particularmente vantajosa devido às condições climáticas adversas no momento da construção, durante o período chuvoso. A construção em alvenaria, por outro lado, requer exposição solar para que o concreto seque de maneira apropriada e evite possíveis complicações futuras. Diante disso, procedeu-se à escavação de três círculos, cada um com 0,50 metros de profundidade e 1,25 metros de diâmetro, seguindo a declividade calculada.

As ferramentas empregadas na escavação incluíram enxadas, pás e um carrinho de mão. Para a construção e montagem do Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), foram utilizados tubos de PVC de 100 mm e 75 mm,

conectando as três câmaras e estendendo-se até o início do sistema a partir da tubulação do vaso sanitário. Além disso, foi instalado um tubo de inspeção e limpeza na primeira câmara do RAC, visto que é a mais propensa para acumulação do lodo, e foi instalado também um suspiro com comprimento de cerca de 2,5 m, para que o gás produzido no processo de decomposição da matéria orgânica não se acumulasse no interior das câmaras.

A vedação eficiente das entradas e saídas de tubulações nas três câmaras do RAC foi garantida por câmaras de ar de pneus de motos e carros, como pode ser observada na figura 18, gentilmente doadas por um borracheiro da própria comunidade. Esse colaborador sensibilizou-se com o projeto, fornecendo materiais essenciais para prevenir vazamentos e evitar a fuga de gás gerado pela ação dos microrganismos na degradação da matéria orgânica. Além da vedação com câmaras de ar recicladas, uma lona vinílica foi reaproveitada para selar a parte superior e a tampa de cada câmara do RAC (Figura 19).

Figura 18 - Vedação das entradas e saídas das tubulações no sistema com câmara de ar de pneus reutilizados.



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 20 mostra o início da construção do sistema, com as escavações de acordo com as dimensões das câmaras do RAC, do filtro anaeróbico e do círculo de bananeiras, e o encaixe e ajustes finais das câmaras em suas respectivas posições.

Figura 19 - Reaproveitamento da lona vinílica para vedação superior do sistema.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 20 - Encaixe das câmaras e filtro anaeróbio no sistema em suas respectivas posições.



Fonte: Elaborado pela autora

5.3.3 Filtro Anaeróbio

O dimensionamento do Filtro Anaeróbio seguiu os critérios estabelecidos pela NBR 13969/1997. Conforme a norma, para determinar o volume útil do Filtro Anaeróbio, são necessárias informações como o número de habitantes da residência, a contribuição de despejos por pessoa por dia, conforme especificado pela Norma ABNT NBR 7229/1993, e o tempo de detenção hidráulica. O dado da contribuição de despejo de esgoto por pessoa por dia, foi obtido considerando uma residência de padrão baixo com 6 pessoas, logo, adotou-se como contribuição de despejos per capita o valor de 100 litros por dia (conforme Tabela 2). O dado referente ao tempo de detenção hidráulica foi obtido segundo a NBR 7229/1993 (Tabela 3). Logo, o TDH adotado foi de 0,92 pois a vazão total em litros por dia de esgoto não ultrapassa 1.500 litros. Dessa forma, o volume útil do filtro anaeróbio foi calculado da seguinte maneira:

$$Vu = 1,6 \cdot N \cdot C \cdot T$$

$$Vu = 1,6 \cdot 6 \cdot 100 \cdot 0,92$$

$$Vu = 883,2 \text{ L}$$

Onde:

Vu: volume útil, em litros;

N: número de pessoas ou unidades de contribuição;

C: contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia;

T: período de detenção, em dias.

O Filtro Anaeróbio foi projetado com uma configuração de fluxo ascendente, geometria circular, considerando uma temperatura média do esgoto superior a 25°C. Assim, foi imprescindível dispor de um compartimento com um volume útil de 884 litros. Para atender a essa demanda, foi adotado um tanque pré moldado de 1000 L.

Tabela 3 - Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias).

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15 °C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1 500	1,17	1,0	0,92
De 1 501 a 3 000	1,08	0,92	0,83
De 3 001 a 4 500	1,00	0,83	0,75
De 4 501 a 6 000	0,92	0,75	0,67
De 6 001 a 7 500	0,83	0,67	0,58
De 7 501 a 9 000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50

Fonte: NBR 7229/1993

A escolha por materiais pré-moldados foi motivada pela celeridade do processo construtivo, sendo particularmente vantajosa devido às condições climáticas adversas no momento da construção, durante o período chuvoso.

Assim como no caso da construção dos reservatórios para o RAC, a construção em concreto requer exposição solar para que seque de maneira apropriada e evite possíveis complicações futuras. Diante disso, procedeu-se à escavação de um círculo, com 0,64 metros de profundidade e 1,55 metros de diâmetro, de acordo com a declividade calculada. Seguindo as normas da ABNT NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997, todo o volume do leito foi preenchido por meio filtrante (Casca de coco verde e brita).

A casca do coco verde foi adquirida através de doações de um restaurante local, que armazenou uma quantia considerada necessária para ser colocada no sistema. A quantidade necessária de cascas de coco a serem utilizadas no filtro anaeróbio, toma como base a altura máxima que o esgoto ocupa dentro do filtro, visto que segundo Tonetti (2018), “Todo o material filtrante deve ser mantido afogado, isto é, totalmente preenchido com esgoto para evitar a oxigenação do meio”. Após a coleta, as cascas do coco verde passaram por uma triagem onde são selecionadas as cascas livres de fungos e que a fibra não esteja comprometida. Após a triagem são retiradas a polpa, é feita uma pré - lavagem da casca, sendo depois deixadas ao sol para retirar a umidade da fibra para depois ser disposta no fundo do filtro anaeróbio, como pode ser observado na Figura 21.

Dentro do filtro anaeróbio são inseridas a casca do coco verde e brita, onde a brita contribui como meio suporte para as bactérias degradadoras da matéria orgânica. O esgoto foi introduzido até o fundo do filtro através de tubos perfurados instalados sobre o fundo inclinado do filtro anaeróbio (Figura 22). Para evitar que a brita e casca do coco danificassem a tubulação, foi instalada uma proteção com pneus reaproveitados, que foram cedidos pelo beneficiário, obtidos de doação da própria comunidade. Nesse sistema foram usados cerca de 300 cocos e 7 pneus. A Figura 23 mostra o filtro anaeróbio em fase final de construção com as cascas de coco verde, brita, pneus e tubulações onde o esgoto irá percorrer.

Figura 21 - Cascas de coco em processo de triagem para ser colocada no filtro anaeróbio.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22 - Tubulação perfurada para passagem do esgoto no filtro anaeróbio.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23 - Filtro Anaeróbio de fluxo ascendente em fase de finalização.



Fonte: Elaborado pela autora

Para a construção e montagem do Filtro Anaeróbio, foram utilizados tubos de PVC de 75 mm, conectando a última câmara do RAC e estendendo-se até o início do Círculo de Bananeiras. Assim como no RAC, foi instalado um tubo de inspeção e limpeza, visto que o filtro possui alta acumulação de lodo, e foi instalado também um suspiro com comprimento de cerca de 2,5 m, para que o gás produzido no processo de decomposição da matéria orgânica não se acumule no interior do filtro.

5.3.4 Círculo de Bananeiras

O círculo de bananeiras tem como tamanho padrão suficiente de 1 metro cúbico (m^3) para uma família de 3 a 5 pessoas. De acordo com Tonetti (2018), “O buraco circular deve ter um formato de prato fundo, com profundidade de aproximadamente 0,8 m e um diâmetro interno de cerca de 1,4 m”. Para a construção na propriedade, utilizou-se: Picareta, enxada e pá, então cavou-se uma cava com dimensões recomendadas por Tonetti (2018).

Como observado na figura 24, após esse procedimento, foi adicionada uma fina camada de brita no fundo, apenas para auxiliar na drenagem e então foram

adicionadas madeiras velhas, materiais lenhosos, cascas de coco secas, folhas dos quintais, resíduos de construção civil como telhas, tijolos, entre outros materiais, com o objetivo de criar condições favoráveis para o recebimento dos efluentes domésticos e para a atividade de decomposição dos microorganismos. Por fim, foi colocada uma fina camada de brita a fim de se evitar acúmulo de água e atrair insetos.

Figura 24 - Início da construção do círculo de bananeiras.



Fonte: Elaborado pela autora

As águas cinzas são conduzidas para o círculo de bananeiras por meio de uma tubulação de PVC. Ao redor do círculo, são plantadas algumas espécies de bananeiras, que necessitam de um elevado consumo de água e possuem uma alta taxa de evapotranspiração, para a absorção dos efluentes e retorno de água pura para a atmosfera na forma de vapor. Durante o processo de construção, os moradores receberam orientações a respeito da correta manutenção desses tipos de fossas, como sempre colocar aparas de poda (grama, capim, galhos, palhas de coqueiro) no centro para alimentar o círculo e evitar que a escavação fosse inundada com a água da chuva.

Ao longo de todo o sistema foi realizado um sistema de drenagem espalhando brita acima do solo e realizando valas laterais para que durante eventos chuvosos, a água escoe com facilidade pela brita até as valas, evitando acumulações de água que poderiam comprometer o funcionamento e estrutura do

sistema. A figura 25 mostra o sistema finalizado com todas as etapas construídas e em perfeito funcionamento.

Figura 25 - Sistema composto por caixa de gordura (1) , RAC (2) , Filtro Anaeróbio (3) e Círculo de bananeiras (4).



Fonte: Elaborado pela autora

Como o sistema como um todo é um sistema vivo, as pessoas foram orientadas para não usar produtos químicos fortes, o que poderia causar mortalidade das bactérias que fazem a decomposição da matéria orgânica, comprometendo a eficiência do sistema. O cultivo de alimentos plantados ao redor do círculo de bananeiras ainda está em fase inicial. De acordo com uma pesquisa elaborada por BENJAMIN (2013), em análises realizadas no solo, nas folhas e nos frutos das bananeiras produzidas neste sistema de saneamento, não foram detectados coliformes totais, termotolerantes nem *Salmonella* spp. porém ainda é necessário novos estudos com relação aos metais pesados, emergentes, e outros poluentes que possam estar presentes nas folhas e frutos.

Ao chegar na residência no dia da visita técnica para averiguação das condições para construção do sistema, verificou-se que o banheiro utilizado pelo beneficiário estava em condições precárias, visto que, o vaso sanitário estava com rachaduras, oferecendo sérios riscos para a família, não existia caixa de descarga,

fazendo com que utilizassem baldes para colocar água no vaso e as paredes estavam comprometidas com grandes rachaduras, sem reboco, faltando tijolos e sem estabilidade alguma.

Diante desse cenário o banheiro recebeu reformas, que englobam a aplicação de reboco nas paredes, substituição do vaso sanitário (Figura 26) e da descarga por aparelhos novos, além de realizar uma nova encanação de água, visto que a antiga estava em péssimo estado. Desta maneira a família além de receber um sistema de coleta e tratamento do esgoto da residência que ainda possibilita um quintal produtivo, recebeu também a reforma do banheiro para que fosse utilizado da melhor maneira possível trazendo bem estar social, ambiental e melhoria na qualidade de vida.

Figura 26 - Vaso sanitário doado pelo projeto.



Fonte: Autoral

5.4 Análise da percepção dos residentes quanto ao sistema de tratamento e realização de ajustes no sistema.

Após a conclusão da construção e instalação do sistema descentralizado proposto, é realizado um acompanhamento mensal nos primeiros 6 meses após o início de funcionamento do sistema, onde são realizadas entrevistas feitas por ligação telefônica com um dos membros da família e são realizadas perguntas

gerais sobre o funcionamento do sistema e satisfação dos moradores, essas perguntas estão dispostas no Apêndice D deste trabalho e a resposta da última entrevista realizada está disposta no Apêndice E.

Além disso, quaisquer intercorrências que possam vir a ter no sistema, como entupimento das tubulações, mau cheiro, acúmulos de água, presença de insetos e roedores, etc, o WhatsApp da liderança do projeto fica a disposição da família beneficiada para informações sobre eventuais problemas e/ou para tirar dúvidas sobre o sistema. Caso, haja algum tipo de problema no funcionamento do sistema, a equipe é acionada e há, com urgência, uma visita técnica ao local para verificação da causa do problema e sua correção.

Após um mês de funcionamento, foi relatado pelos beneficiários mau cheiro saindo do sistema, não sabendo em qual etapa poderia estar em mau funcionamento. Portanto, a equipe foi ao local e verificando presencialmente cada etapa constatou-se que o círculo de bananeiras necessitava de ajustes, pois o mau cheiro era exalado nesta etapa. Logo, preencheu-se a cava com mais brita para evitar acúmulo de água, e para ter um resultado mais efetivo, foi instalada uma tampa de concreto de acordo com o diâmetro do círculo de bananeiras, fazendo com que o mau cheiro saísse apenas pelos suspiros instalados tanto na câmara 1 do Reator Anaeróbio Compartimentado quanto no filtro anaeróbio.

Nesta tampa foi realizada uma abertura removível para alimentação do círculo de bananeiras com a reposição de galhos, palhas, folhas, cascas de coco secas, etc, e também, para coleta do esgoto tratado ao final do sistema, tanto para utilização como biofertilizante nas plantas já que possui altas taxas de nutrientes, como para futura realização da análise de esgoto, para comprovação da eficiência do sistema.

Com isso, o problema foi resolvido e desde então o sistema opera adequadamente sem quaisquer novas interferências apresentadas. No momento da entrega do sistema finalizado, foi realizado um acordo entre a equipe e a família beneficiada em que, para que haja maior tempo de operação e haja uma quantidade considerável de bactérias e o sistema opere com estabilidade, sem quaisquer intercorrências, as visitas técnicas presenciais e as análises do esgoto serão realizadas após um período de 6 meses.

Desta forma, como a equipe finalizou os sistema no final de junho de 2023, em janeiro de 2024, a equipe visitará o local para realização da visita técnica e

verificação do funcionamento do sistema presencialmente, a equipe também irá coletar amostras do esgoto bruto e esgoto tratado para enviar para análise do esgoto.

As eficiências esperadas do sistema foram estimadas de acordo com o boletim desenvolvido por Tonetti et.al (2018), onde relatam valores de eficiências globais de remoção de poluentes em diversas unidades de tratamento, incluindo as unidades utilizadas para composição deste sistema. Os valores de eficiência esperados são demonstrados na Tabela 1 e Tabela 2 deste relatório.

Comparando as respostas obtidas na entrevista socioeconômica e ambiental (Apêndice A) antes da instalação do sistema de efluentes e as respostas obtidas na entrevista de satisfação dos beneficiários (Apêndice E) após a instalação do sistema de tratamento, percebe-se que uma das maiores queixas era o enchimento rápido da fossa antiga que enchia entre 1 a 2 vezes no ano, o qual o morador além de ser incomodado com o odor exalado, tinha que se expor esvaziando a fossa sem qualquer tipo de proteção adequada e ainda descartando o esgoto em local inapropriado contaminando o solo e lençol freático.

Outra queixa bastante acentuada pela família era o acúmulo de água proveniente da pia da cozinha que atraía insetos transmissores de doenças, moscas e roedores, causando risco à saúde dos moradores. Após a instalação do sistema em estudo, a fossa após 6 meses de operação não apresentou necessidade de esvaziamento, o odor exalado se extinguiu por completo e as águas da pia da cozinha não são despejadas a céu aberto e não possuem acúmulo pois também são tratadas pelo sistema, assim como as águas do banheiro (vaso sanitário, pia e banho).

Além disso, segundo o beneficiário líder da família, “O conhecimento adquirido não apenas no momento de educação ambiental realizado na comunidade, mas também com relação aos cuidados para manutenção da nova fossa foram essenciais para abrir a mente em relação ao cuidado com o meio ambiente”. Com isso, mostra-se o impacto social causado na vida desses moradores, visto que além do impacto ser no âmbito de melhoria da qualidade de vida e bem estar da família e melhoria da qualidade ambiental, também possui impacto no intelectual, onde a visão de mundo sobre a importância de ter um saneamento básico de qualidade, para manter um ambiente saudável e equilibrado para as próximas gerações, foi transformada após a chegada do projeto.

Por fim, conclui-se que no novo formato, de uma forma geral, os moradores se sentem mais felizes e menos expostos ao efluente e por consequência com menor risco de adquirir doenças. Estas conclusões poderão ser melhor avaliadas após maior período de uso do sistema de tratamento.

6. CONCLUSÃO

A finalidade deste estudo foi examinar a aplicação de uma solução proposta para o problema do sistema de esgotamento sanitário em uma residência com seis habitantes em Paulicéia, zona rural de Pacajus. O trabalho constou a elaboração do projeto executivo de um sistema descentralizado de coleta e tratamento de esgoto.

Os sistemas de tratamento ecológico demonstraram ser altamente eficazes e viáveis para áreas desprovidas de redes coletoras de esgoto. Com construção de baixo custo e fácil manutenção, esses sistemas reduzem significativamente a poluição difusa originada por esgotos domésticos. O impacto social pode ser visto na prevenção de doenças relacionadas à falta de saneamento, no bem estar da família, melhoria da qualidade de vida, na produção de alimentos e no reaproveitamento de materiais como entulhos, lonas vinílicas, câmaras de ar e pneus, onde a comunidade se envolveu e se mobilizou através de doações em prol de solucionar a problemática enfrentada pela família e em prol do meio ambiente.

O principal desafio enfrentado na elaboração de um projeto nesse formato foi a escassa disponibilidade de experiências com essa composição em escala real. Dado que se trata de uma tecnologia inovadora no país, a literatura sobre o dimensionamento das unidades que compõem esse sistema é limitada. Outra dificuldade significativa foi o acesso ao local de execução do projeto, uma vez que, por se tratar de uma zona rural, a aquisição e transporte de materiais tornam-se consideravelmente mais complexos.

Segundo relatos dos moradores, uma das principais mudanças percebidas foi a diminuição da frequência de esvaziamento, pois na fossa antiga, era necessário esvaziar a fossa pelo menos 2 vezes ao ano. Porém com o novo sistema, após 6 meses de operação ainda não foi necessário realizar um esvaziamento da fossa. Outra mudança percebida foi com relação ao mau cheiro, algo que incomodava muito os moradores, pois na fossa antiga, o mal cheiro era muito presente, principalmente em períodos chuvosos ou quando a fossa estava perto de encher, que foi solucionada com a construção do novo sistema de tratamento. Uma terceira mudança significativa percebida pelos residentes, foi a diminuição de insetos, moscas e roedores que podem transmitir doenças e comprometer a saúde da família. Essas mudanças foram essenciais para a melhoria da qualidade de vida, saúde e bem estar dos moradores.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para orientar futuras pesquisas e dar continuidade ao projeto, recomenda-se:

a) Realizar o mapeamento detalhado das comunidades beneficiárias do projeto, incluindo informações mais aprofundadas sobre o perfil socioeconômico e ambiental.

b) Conduzir um estudo visando uma abordagem correta na comunidade e eficiente realização de momentos de educação ambiental e aceitação da tecnologia utilizada.

c) Implementar o sistema composto por Reator Anaeróbio Compartimentado, Filtro Anaeróbio e círculo de bananeiras, seguido pela avaliação dos resultados técnicos obtidos.

d) Realizar uma análise qualitativa dos parâmetros resultantes da Análise de Esgoto para verificar se estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela NBR 13.969/1997 para a Classe 4 de reúso.

e) Manter o monitoramento contínuo do sistema, com o objetivo de analisar a durabilidade, eficiência de tratamento, benefícios observados pelos beneficiários a longo prazo e corrigir possíveis falhas que possam ocorrer.

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C.; PEREIRA, M.G.; MELO, H.S. (2000) Materiais alternativos para enchimento de filtros anaeróbios: conduíte cortado e tijolo cerâmico vazado. In: OFICINA E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 6., 2000, Recife. Anais. UFPE. v. 1. p. 28-35.

Arenhart, Deise, e Maurício Roberto da Silva. 2014. “Entre a Favela E O Castelo: Infância, Desigualdades Sociais E Escolares”. *Cadernos CERU* 25 (1):59-82. <<https://doi.org/10.11606/issn.2595-2536.v25i1p59-82>> . Acesso em: 17 jun 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7362: Sistemas Enterrados para condução de esgoto. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Brasil: ABNT, 1999.

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

BARACHO, José Alfredo de Oliveira, Teoria Geral dos Conceitos Legais Indeterminados. *Cadernos de Direito Tributário e Finanças Públicas*, n.27, p. 61- 78. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1999.

BENASSI, R. F. (Org.). Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção. Universidade Federal do ABC. Ministério da Saúde. FUNASA. Sabesp: São Paulo, 2018.

Boletim Epidemiológico DDA/DTHA. Disponível em: <https://www.saude.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/9/2018/06/BE_dda_dtha_26122022.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Saneamento ambiental, sustentabilidade e permacultura em assentamentos rurais: algumas práticas e vivências. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2013. 80 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/san_ambiental.pdf>. Acesso em: 2 set. 2023.

BRASIL. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnostico dos Serviços de Água e Esgoto - 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>> . Acesso em: 16 set 2023

CAGECE. Lei de Acesso à Informação. Disponível em:
<<https://www.cagece.com.br/lei-de-acesso-a-informacao/>>. Acesso em: 12 nov. 2023

CAGECE. Projeto do Remanescente da Estação de Tratamento de Esgoto para atender ao Residencial Tatu Mundê, e aos loteamentos de Viúva I e II, e Urucutuba I e II, 2016. Acesso em: 11 dez 2023.

Castanheira, J. P. A & Baydum, V.P.A (2015). Percepção dos impactos socioambientais da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) relatados pelos moradores do residencial olho d'água, jaboatão dos guararapes, PE.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 1997.

Duda,Rose Maria, & Oliveira,Roberto Alves de. (2011). *Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador*.

EMBRAPA. Fossa séptica biodigestora, 2001. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7413/fossa-septica-biodigestora>>. Acesso em: 16 set 2023.

FUNASA. Ministério da saúde. Programa Sustentar - Saneamento e sustentabilidade em áreas rurais. Disponível em:
<https://www.funasa.gov.br/documents/20182/21862/sustentar_publicacao/915644d2-fb28-409c-a7ca-c3cff0e59e98>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FUNASA. Fundação Nacional De Saúde. Manual de Saneamento. 3. ed. Brasília, 2007. 408 p.

GALINDO. Perguntas e respostas fossa séptica biodigestora - edição revisada e ampliada, 2019.

GENTILI, P., & ALENCAR, C. Educar na esperança em tempos de desencanto. Petrópolis: Vozes, 2001. Acesso em: 25 jun 2023

GERAL, P. LUTA CONTRA A POBREZA. Disponível em:
<<https://documents1.worldbank.org/curated/pt/927161468164645652/pdf/226840PORTUGUE1za20001200101PUBLIC1.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

GONÇALVES, RICARDO. Uso racional da água nas edificações, 2006. 213,p. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/303985016_Uso_racional_da_agua_nas_edificacoes>. Acesso em: 27 nov 2023.

IBGE. Censo demográfico 2021: População residente, total, urbano total e urbana na sede municipal, em números absolutos e relativos, com indicação da área total e densidade demográfica, segundo as Unidades da Federação e os municípios. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE. Panorama das Cidades. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pacajus/panorama>>. Acesso em: 29 jul. 2023.

IPECE. Caracterização Territorial. Disponível em:
<<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11.htm>> . Acesso em: 4 ago. 2023

IPECE. Ceará em Mapas: Informações georreferenciadas e espacializadas para os 184 municípios cearenses. 2003. Disponível em:
<<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11.htm>>. Acesso em: 4 ago. 2023.

KUSÇU, O.P.; SPONZA, D.T. (2005) Performance of anaerobic baffled reactor (ABR) treating synthetic wastewater containing p-nitrophenol. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 36, n. 7, p. 888-895.

LIMA, R. G. Tratamento descentralizado de efluentes como alternativa a despoluição dos recursos hídricos da região metropolitana de Aracaju/SE. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

LIRAA.pdf. Disponível em:
<<https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/arquivos/liraa-pdf/view>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues Mesquita, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, 2019. Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios. Acesso em: 18 set 2023.

MUGA, H.E. et al. Treatment Performance of Wastewater Lagoons in South Yungas Province of Bolivia. *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers* © ASCE, 2009. Acesso em: 13 set 2023.

OLIVEIRA, E. N.; FERREIRA, M. F.; OLIVEIRA, W. F.; OLIVEIRA, R. R. Estudo bibliográfico das tecnologias utilizadas no tratamento do esgoto e a legislação em vigor no Brasil. *Natural Resources*, v.9, n.1, p.20-27, 2019. Acesso em: 26 set 2023.

Pacajus - Coordenadoria Regional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em: <<https://www.crede09.seduc.ce.gov.br/pacajus/>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

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

SANTOS, L. R. dos. Pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio precedido de tanque séptico por filtros aeróbios intermitentes de areia. 2012. 75f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2012.

SARTI el. al. Processos envolvidos no tratamento secundário de esgoto, 2021. Acesso em: 15 nov 2023.

SANTOS, A.M. Tratamento descentralizado de esgotos domésticos em sistemas anaeróbios com posterior disposição de efluentes no solo, 2013 86.p. Acesso em: 5 nov 2023.

SHEHABI, A.; STOKES, J. R.; HORVATH, A. Energy and air emission implications of a decentralized wastewater system. *Environmental Research Letters*, v. 7, n. 2, 7 p., 2012.

SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Painel de Informações sobre Saneamento: esgotamento sanitário - 2021. Brasília: SNS/MDR, 2023.

SOUZA, L. A.; ANTONELI, V. O problema da falta de saneamento básico na área rural do município de Irati-PR e a implementação das fossas biodigestoras como alternativa. XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Associação dos Geógrafos Brasileiros – AGB. 2010.

Souza, R. C. & Salvador, N. N. B. (1997). “Proposta para Avaliação dos Impactos Sociais nos Processos de Implantação e Operação dos Serviços de Tratamento de Esgotos Sanitários”. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2 (3), p. 91-95.

SPOSATI, Aldaíza, (1997). *Mínimos sociais e seguridade social: uma revolução da consciência da cidadania*. Brasília: SAS-MPAS/Fundap. Acesso em: 27 jun 2023

TONETTI, A. L. et al. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS EM COMUNIDADES ISOLADAS: referencial para a escolha de soluções. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018.

UNICEF; OMS. Progress on sanitation and drinking water – 2020 update and MDG assessment.

VIDIGAL, G. V, 2011. Desigualdade de renda em comunidades com diferentes classes socioeconômicas. Acesso em: 19 mai.2023

VIEIRA, I. Círculo de bananeiras. 2006. Disponível em: <http://www.setelombas.com.br/2006/10/circulo-de-bananeiras/>.

APÊNDICE A - ENTREVISTA SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL.

Nome do entrevistado:

Endereço:

Telefone:

1 - A habitação é própria?

() Sim () Não

2 - Há quantas pessoas morando na residência?

() até 3 () até 5 () até 7 () mais que 7

3 - De onde provém a renda da casa?

() trabalho formal () trabalho informal () autônomo

() outro

3.1 - Quantos habitantes contribuem para a renda familiar?

() 1 () 2 () 3 () mais que 3

3.2 - Qual a renda familiar mensal total?

() 1/2 salário mínimo () 1 salário mínimo

() 2 salários mínimos () mais que 2 salários mínimos

4 - Para onde vai o esgoto doméstico (Fossa séptica, diretamente no solo, rua, rede coletora)?

() fossa séptica impermeabilizada () fossa séptica permeabilizada

- () a céu aberto () rede coletora de esgoto () rua
() outro

5 - Se fossa séptica, como é realizada a manutenção?

- () carro limpa fossa () empresa especializada
() Algum membro da família

6 - De onde provém a água para consumo humano?

- () poço artesiano () Companhia de água
() cisterna de água pluvial () De um corpo hídrico próximo à residência
() Água comprada/garrafão () Caminhão pipa () outro

6.1 - De onde provém a água para as demais atividades?

- () poço artesiano () Companhia de água
() cisterna de água pluvial () De um corpo hídrico próximo à residência
() Caminhão pipa () outro

7 - Possui vala a céu aberto?

- () Sim () Não

7.1 - Possui acúmulo de água provenientes do esgoto doméstico (águas cinzas ou escuras)?

- () Sim () Não

8 - Para você ter um saneamento de qualidade, com um sistema que coleta e trata o esgoto é importante/há mudança na melhoria de vida?

- () Sim () Não

9 - Você deseja receber o projeto para construção do sistema apresentado em sua residência?

- () Sim () Não

APÊNDICE B - CRITÉRIOS DE PRIORIDADE PARA AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL.

Quanto maior o número, maior a prioridade e urgência para aplicação do projeto. Sabendo que:

Prioridade 1: Sem urgência

Prioridade 2: Pouco urgente

Prioridade 3: Urgente

Prioridade 4: Muito Urgente

1 - A habitação é própria?

Se sim, prioridade 4. Se não, prioridade 3.

2 - Há quantas pessoas morando na residência?

Até 3, prioridade 2.

Até 7, prioridade 4.

Até 5, prioridade 3

Mais que 7, prioridade 4.

3 - De onde provém a renda da casa?

Trabalho formal, prioridade 2.

Trabalho informal, prioridade 3

Autônomo, prioridade 3.

() outro, depende da renda gerada.

3.1 - Quantos habitantes contribuem para a renda familiar?

Se for 1, prioridade 4.

Se for 2, prioridade 3

Se for 3, prioridade 2

Se for mais que 3, prioridade 1

3.2 - Qual a renda familiar mensal total?

Até 1/2 salário mínimo, prioridade 4.

Até 1 salário mínimo, prioridade 3

Até 2 salários mínimos, prioridade 2

mais que 2 salários mínimos, prioridade 1

4 - Para onde vai o esgoto doméstico (Fossa séptica, diretamente no solo, rua, rede coletora)?

Se fossa séptica impermeabilizada, prioridade 1

Se fossa séptica permeabilizada, prioridade 3.

Se a céu aberto, prioridade 4

Se rede coletora de esgoto, prioridade 1

Se rua, prioridade 4

() outro a depender se apresenta risco para o meio ambiente e saúde dos residentes.

5 - Se fossa séptica, como é realizada a manutenção?

Se carro limpa fossa, prioridade 2

Se empresa especializada, prioridade 1

Se algum membro da família, prioridade 4

6 - De onde provém a água para consumo humano?

Se poço artesiano, prioridade 4

Se Companhia de água, prioridade 1

Se cisterna de água pluvial, prioridade 3

Se de um corpo hídrico próximo à residência, prioridade 4

Se Água comprada/garrafão, prioridade 1

Caminhão pipa, prioridade 4

() outro, a depender dos parâmetros da água, se conforme o padrão de potabilidade.

6.1 - De onde provém a água para as demais atividades?

Se poço artesiano, prioridade 3

Se Companhia de água, prioridade 1

Se cisterna de água pluvial, prioridade 2

Se de um corpo hídrico próximo à residência, prioridade 3

Caminhão pipa, prioridade 3

() outro, a depender dos parâmetros da água, se conforme a norma.

7 - Possui vala a céu aberto?

Se sim, prioridade 4. Se não, prioridade 1.

7.1 - Possui acúmulo de água provenientes do esgoto doméstico (águas cinzas ou escuras)?

Se sim, prioridade 4. Se não, prioridade 1

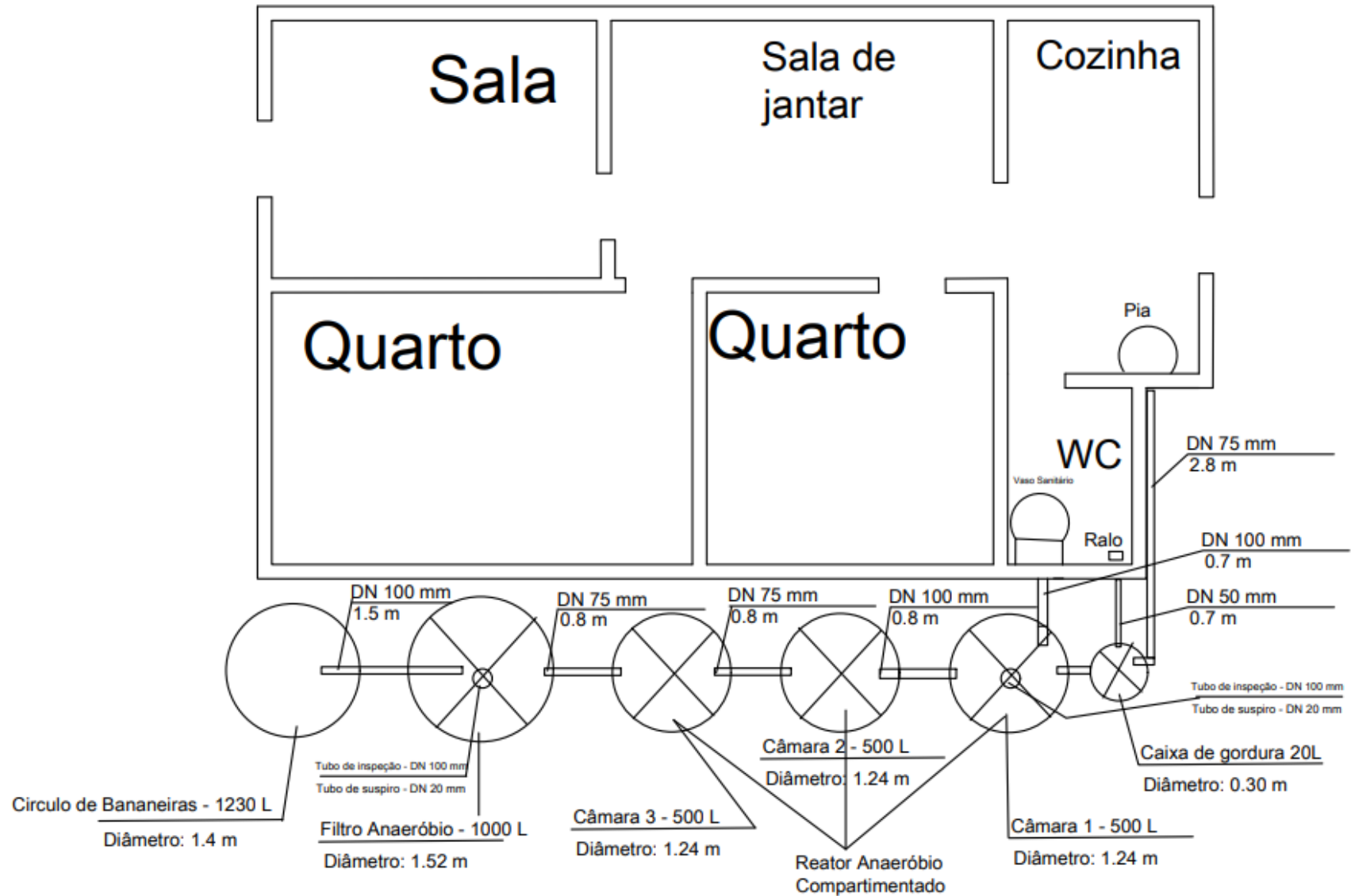
8 - Para você, ter um saneamento de qualidade, com um sistema que coleta e trata o esgoto é importante/há mudança na melhoria de vida?

Se sim, prioridade 3. Se não, prioridade 4.

9 - Você deseja receber o projeto para construção do sistema apresentado em sua residência?

Se sim, prioridade 4. Se não, prioridade 1.

APÊNDICE C - PLANTA DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DO ESGOTO.



**APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA E
SATISFAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS.**



1 - Teve algum mal cheiro da ecofossa?

() Sim () Não

2 - O vaso fica entupido?

() Sim () Não

3 - Como você tem limpado o vaso sanitário?

() Água sanitária () Produtos químicos de limpeza

() Água e sabão () Outros: _____

4 - Você notou alguma diferença da fossa antiga para esse sistema de tratamento?

() Sim () Não

4.1 - Se sim, quais?

5- Você acha que algo no sistema de tratamento poderia melhorar?

() Sim () Não

6 - Você plantou algo na ecofossa?

() Sim () Não

6.1 - Se sim, o que foi plantado?

7 - Você consumiu algum produto da ecofossa?

() Sim () Não

7.1 - Se sim, você se sentiu mal ao consumi -lo?

() Sim () Não

8 - Você teve dificuldade de plantar algo no círculo de bananeiras?

() Sim () Não

9 - Você está satisfeito com o recebimento desse sistema de tratamento?

() Sim () Não

10 - Quais mudanças mais significativas percebidas após o recebimento do sistema de tratamento?

() Saúde () Bem estar

() Eliminação de insetos e roedores () Quintal produtivo

() Melhoria na qualidade de vida

APÊNDICE E - RESPOSTA DO QUESTIONÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA E SATISFAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS.



BENEFICIÁRIO: ANTONIO CARLOS

1/12/23

1 - Teve algum mal cheiro da ecofossa?

() Sim () Não

2 - O vaso fica entupido?

() Sim () Não

3 - Como você tem limpado o vaso sanitário?

() Água sanitária () Produtos químicos de limpeza

() Água e sabão () Outros: _____

4 - Você notou alguma diferença da fossa antiga para esse sistema de tratamento?

() Sim () Não

4.1 - Se sim, quais?

FUNCIONA MELHOR, NÃO ENCHEU ATÉ AGORA, O MAU CHEIRO SUMIU E ISSO É MARAVILHOSO PORQUE ERA ALGO QUE INCOMODAVA MUITO

5 - Você acha que algo no sistema de tratamento poderia melhorar?

() Sim () Não

6 - Você plantou algo na ecofossa?

() Sim () Não

6.1 - Se sim, o que foi plantado?

BANANEIRA, PORÉM COMO ERA MUITO NOVA E COM A SECA FORTE ACABOU MORRENDO.

7 - Você consumiu algum produto da ecofossa?

() Sim () Não

7.1 - Se sim, você se sentiu mal ao consumi-lo?

() Sim () Não

8 - Você teve dificuldade de plantar algo no círculo de bananeiras?

() Sim () Não

9 - Você está satisfeito com o recebimento desse sistema de tratamento?
BANANEIRA

() Sim () Não

10 - Quais mudanças mais significativas percebidas após o recebimento do sistema de tratamento?

() Saúde () Bem estar

() Eliminação de insetos e roedores () Quintal produtivo

() Melhoria na qualidade de vida