

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

DANIEL LEMOS MATTOS

**BIOSSISTEMA INTEGRADO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM COMUNIDADES URBANAS – ESTUDO DE CASO EM MARICÁ/RJ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Niterói
2021

DANIEL LEMOS MATTOS

**BIOSSISTEMA INTEGRADO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM COMUNIDADES URBANAS – ESTUDO DE CASO EM MARICÁ/RJ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof. Marco Aurelio Chaves Ferro, D.Sc.

Niterói
2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M435b Mattos, Daniel Lemos
Biossistema Integrado como alternativa de tratamento de
esgoto em comunidades urbanas : Estudo de caso em Maricá/RJ /
Daniel Lemos Mattos ; Marco Aurelio Chaves Ferro, orientador.
Niterói, 2021.
67 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2021.

1. Biossistema Integrado. 2. Esgoto. 3. Comunidades. 4.
Biodigestor. 5. Produção intelectual. I. Chaves Ferro, Marco
Aurelio, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

DANIEL LEMOS MATTOS

**BIOSSISTEMA INTEGRADO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM COMUNIDADES URBANAS – ESTUDO DE CASO EM MARICÁ/RJ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Civil, como requisito parcial
para conclusão do curso.

Aprovada em 22 de Setembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Marco Aurelio Chaves Ferro (Orientador), D.Sc. - UFF



Prof. Gabriel de Carvalho Nascimento, D.Sc.- UFF



Prof. Marcelo de Miranda Reis, D.Sc. - IME

Niterói
2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
que sempre me incentivaram aos estudos,
para que um dia eu pudesse chegar a esse momento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e pela fidelidade em todos os momentos de dificuldades e incertezas.

Aos meus pais, Paulo e Rosiana, e aos meus avós, Adilson e Selma, por sempre acreditarem que a educação é a melhor herança que poderiam deixar para mim.

Ao meu irmão Gabriel, que me recebe em casa todos os dias com um abraço, perguntando como foi meu dia e se tá tudo bem.

Aos meus confrades: Gabriel, Luiz Ronaldo, Carlos Diego, Carlos Matheus e Marcus, por estarem comigo na caminhada há tanto tempo, testemunhando as dificuldades, provações, e decepções e, principalmente, brindando as conquistas, alegrias e realizações de sonhos.

À Daniela, meu amor, pelo suporte nessa fase final, entendendo minha ausência e minhas angústias e me incentivando sempre a seguir em frente.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, desde a educação infantil, representados aqui pelo professor Marco Ferro. A ele, inclusive, agradeço o apoio à pesquisa e confecção deste trabalho.

A todos que me deram oportunidades profissionais e, como meus superiores, foram pacientes e compreensivos, me incentivando a ser um melhor profissional: Alberto, Rita, Bruno, Rodrigo e Marcelo.

Aos amigos e “ex-amigos” que fiz na vida universitária, pessoal e profissional, que dividiram toda essa jornada comigo, trocando experiências e me auxiliando a transpor as barreiras impostas pela vida.

“Em tudo dai Graças”
1 Tessalonicenses 5, 18.

RESUMO

A carência de tratamento de esgotos domésticos no Brasil segue uma tendência mundial e é vigente em comunidades urbanas, onde a falta de investimento por parte do poder público e a dificuldade logística de integrar a comunidade à rede pública de esgoto agravam a situação. O objetivo desta pesquisa é estudar os métodos isolados de tratamento de esgoto e as possibilidades, a partir disso, de se aplicar em comunidades pouco populosas para que, no futuro, se estude ampliar o tratamento para comunidades maiores. Diante disso, após estudar os métodos isolados de tratamento de esgoto, este estudo selecionou o “Biossistema Integrado”, sistema comumente aplicado em áreas rurais, e dimensionou-se um modelo para ser aplicado para 500 habitantes em áreas urbanas. O estudo de caso foi feito para a cidade de Maricá, no Rio de Janeiro, por apresentar comunidades com características populacionais semelhantes à estudada e pela baixa cobertura de rede de tratamento de esgoto na região. O “Biossistema Integrado” é iniciado por um biodigestor, dimensionado pelas premissas de um tanque séptico de duas câmaras que totalizam um volume de 58,5 m³, com reaproveitamento e tratamento do biogás, visando retirar de sua composição umidade e ácido sulfídrico (H₂S). Anexo ao biodigestor, dimensionou-se um leito de secagem de 19 m², para armazenar o lodo proveniente do biodigestor e que, após secagem, direciona a água ao Sistema Alagado Construído (SAC) para uma nova etapa de tratamento. No SAC, espécies de plantas aquáticas como a Taboa (*Typha* sp.) e a baquiária do brejo (*Brachiaria arrecta*) podem ser usadas para uma depuração final do esgoto e, posteriormente, usadas para compostagem. Por fim, todo esgoto tratado é direcionado a regar um canteiro cultivado com árvores frutíferas que geram alimentos à comunidade e, desse modo, cumpre o preceito de tratamento contínuo característico do “Biossistema Integrado”, onde se busca usar todos os substratos do esgoto, como biogás, água de reuso e biofertilizante. Feito o dimensionamento, foi possível concluir que o BSI é um bom método para ser utilizado pela simplicidade de construção e operação e, além disso, pela possibilidade de permitir um ciclo fechado de tratamento, utilizando todos os substratos gerados pelo tratamento do esgoto. Em estudos futuros, pretende-se estudá-lo para comunidades maiores, prever uma melhor utilização do lodo gerado e estudar um reaproveitamento eficaz para o biogás gerado.

Palavras-chave: Biossistema Integrado, esgoto, comunidades, biodigestor.

ABSTRACT

The lack of domestic sewage treatment in Brazil follows a global trend and is present in urban communities, where the lack of investment by the government and the logistical difficulty of integrating the community into the public sewage system aggravate the situation. The research objective is the study of isolated methods of sewage treatment and its possibilities, based on that, of being applied in sparsely populated communities so that, in the future, it is possible to study the expansion of treatment to larger communities. Therefore, after studying the isolated methods of sewage treatment, this study selected the "Integrated Biosystem", a system commonly applied in rural areas, and a model was designed to be applied to 500 inhabitants in urban areas. Therefore, when analyzing the decentralized methods of sanitary sewage, this study selected the "Integrated Biosystem" and dimensioned a model for a population of 500 inhabitants. The case study was carried out in the city of Maricá, in Rio de Janeiro, as it presents communities with population characteristics similar to the one studied and because of the low coverage of the sewage treatment network in the region. The "Integrated Biosystem" is started by a biodigester, sized by the premises of a two-chamber septic tank that totals a volume of 58.5 m³, with reuse and treatment of biogas, in order to remove moisture and hydrogen sulphide (H₂S) from its composition. Attached to the biodigester, a drying bed of 19 m² was designed to store the sludge coming from the biodigester and which, after drying, directs the water to the Constructed Wetland System (CWS) for a new treatment stage. In the CWS, aquatic plant species such as Taboa (*Typha* sp.) and swamp baquiaria (*Brachiaria arrecta*) can be used for final sewage purification and, later, used for composting. Finally, all treated sewage is directed to water a bed cultivated with fruit trees that generate food for the community and, thus, fulfills the precept of continuous treatment characteristic of the "Integrated Biosystem", where it seeks to use all sewage substrates, such as biogas, reuse water and biofertilizer. After the dimensioning, it was possible to conclude that IBS is a good method to be used due to the simplicity of construction and operation and, in addition, the possibility of allowing a closed treatment cycle, using all the substrates generated by the sewage treatment. In future studies, it is intended to study it for larger communities, predict a better use of the generated sludge and study an effective reuse for the generated biogas.

Keywords: integrated biosystem, sewer, communities, biodigester.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação do tratamento de esgotos quanto à centralização.....	18
Figura 2 - Esquema do Tanque Séptico.....	20
Figura 3 - Esquema do Reator Anaeróbio Compartimentado.....	21
Figura 4 - Esquema do RAFA Compacto.....	22
Figura 5 - Esquema do Filtro Anaeróbio.....	23
Figura 6 - Esquema do Filtro de Areia.....	24
Figura 7 - Esquema do Sistema Alagado Construído.....	26
Figura 8 - Esquema do Biodigestor.....	27
Figura 9 - Esquema do Biossistema Integrado.....	28
Tabela 1 - Comparação das técnicas de remoção de H ₂ S do biogás em ETEs anaeróbias....	30
Tabela 2 - Tecnologias para remoção de umidade do biogás em ETEs com reatores anaeróbios.....	31
Figura 10 - Biossistema Integrado do Vale Encantado/RJ.....	33
Figura 11 - Biossistema Integrado instalado em Petrópolis/RJ.....	34
Figura 12 - Fluxo do Biossistema Integrado instalado em Vila Dordeoni/ES.....	35
Figura 13 - População atual e projetada para Maricá/RJ.....	37
Tabela 3 - População de Maricá/RJ cadastrada por Assentamento.....	39
Tabela 4 - População atendida por Sistema.....	40
Figura 14 - Estimativa da área coberta por rede de esgotamento sanitário atual e prevista....	41
Tabela 5 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....	43
Tabela 6 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.....	43
Tabela 7 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.....	44
Tabela 8 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.....	45
Tabela 9 - Dimensões de cada compartimento do biodigestor.....	46
Figura 15 - Espaçamento e disposição dos tijolos no leito de secagem.....	48
Figura 16 - Disposição das camadas do leito de secagem.....	49
Gráfico 1- Precipitação e Temperatura em Maricá ao decorrer do ano.....	56

Tabela 10 - Temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao decorrer do ano...	57
Tabela 11 - Fator de correção para a latitude da cidade de Maricá/RJ.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OMS	Organização Mundial de Saúde
WHO	World Health Organization
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SAC	Sistemas Alagados Construídos
BSI	Biossistemas Integrados
NBR	Norma Brasileira
SANEMAR	Companhia de Saneamento de Maricá
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
GEE	Gases de Efeito Estufa
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
PVC	Polyvinyl Chloride
RAC	Reator Anaeróbico Compartimentado
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ONG	Organização Não Governamental
OIA	O Instituto Ambiental
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
PMM	Prefeitura Municipal de Maricá

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	Considerações Iniciais.....	14
1.2	Situação Problema.....	15
1.3	Objetivos da Pesquisa.....	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
1.4	Organização da Pesquisa.	16
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1	Sistemas descentralizados de Tratamento.....	17
2.1.1	Tanque Séptico.....	19
2.1.2	Reator Anaeróbio Compartimentado.....	20
2.1.3	RAFA Compacto.....	21
2.1.4	Filtro Anaeróbio.....	22
2.1.5	Filtro de Areia.....	24
2.1.6	Sistemas Alagados Construídos (SAC).....	25
2.1.7	Biodigestor.....	26
2.1.8	Biosistema Integrado (BSI).....	27
2.2	Leito de Secagem.....	29
2.3	Biogás.....	30
2.4	Canteiro Cultivado.....	32
2.5	Casos de Aplicação.....	32
3.	METODOLOGIA.....	35
3.1	Instrumento de Coleta de Dados.....	35
3.2	Análise e Tratamento de Dados.....	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	O município de Maricá /RJ.	36
4.2	Dimensionamento do Biodigestor.....	42
4.3	Dimensionamento do Leito de Secagem.....	47
4.4	Estimativa do Biogás Gerado.....	50
4.5	Dimensionamento do Sistema Alagado Construído.....	55
4.6	Dimensionamento do Canteiro Cultivado.....	62
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	63
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Saneamento básico pode ser definido como o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social (Organização Mundial da Saúde - OMS) ou como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007).

Ainda que o saneamento básico seja essencial para garantir qualidade de vida e preservação do meio ambiente, os números apontam que o Brasil reflete a tendência mundial de falta de acesso ao saneamento básico. Enquanto, no mundo, estima-se que cerca de 2,4 bilhões de pessoas ainda vivam sem acesso a práticas adequadas de esgotamento sanitário (WHO/UNICEF, 2015), no Brasil apenas 34,6% dos esgotos coletados são tratados, o que corresponde apenas a 15% dos esgotos gerados pela população urbana (JORDÃO E PESSOA, 2014).

Se no mundo o esgoto não recebe o devido tratamento, no Brasil não é diferente, haja vista que o destino preferido para a destinação de esgotos domésticos ainda são as fossas rudimentares (53,17%), seguido de fossas sépticas (8,03%) e valas a céu aberto, disposição direta em corpos d'água e outras formas de disposição incorreta (3,35%) (LANDAU e MOURA, 2016). Segundo o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), em 2019, 49,1% do esgoto do Brasil, era tratado.

Portanto, é necessário o estudo de formas viáveis de tratamento de esgotos onde, geralmente, o poder público não incentiva e não disponibiliza recursos suficientes para o tratamento de efluentes, como, por exemplo, em comunidades urbanas.

1.2 Situação Problema

Acompanhando uma tendência mundial e nacional de baixo índice de tratamento de esgotos domésticos, o município de Maricá, no Rio de Janeiro, apresenta menos de 10% de efluentes tratados (SANEMAR - Companhia de Saneamento de Maricá, 2020). Com o desenvolvimento da Cidade, a problemática de falta de tratamentos pode se agravar com a possibilidade de crescimento em comunidades isoladas urbanas.

1.3 Objetivos da Pesquisa

1.3.1 Objetivo Geral

Concepção e dimensionamento de um Biosistema Integrado, composto de um decantodigestor seguido de alagados construídos, para comunidades isoladas urbanas no município de Maricá/RJ.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Projetar um Biosistema integrado padrão que atenda as comunidades isoladas urbanas de Maricá/RJ.
- Projetar um leito de secagem anexo para minimizar a necessidade de operações no funcionamento do sistema.
- Projetar um Sistema Alagado Construído (SAC) para compor o tratamento de esgoto.
- Estimar a quantidade de biogás gerado no biodigestor.

1.4 Organização da Pesquisa

Esta pesquisa está dividida em 6 (seis) capítulos:

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO – Este capítulo faz uma relação entre a problemática de tratamento de esgoto no Brasil e no mundo e apresenta os objetivos do estudo e da concepção de um Biossistema Integrado em comunidades isoladas urbanas, regiões muito afetadas pela falta de soluções para o tratamento de esgoto.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA – Este capítulo apresenta os dados de esgotamento sanitário no município de Maricá/RJ e os conceitos relacionados aos métodos descentralizados de tratamento do esgoto doméstico bruto e dos subprodutos gerados no tratamento. É apresentado, ainda, casos em que foi implementado o Biossistema Integrado.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA – Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a coleta de dados e utilização destes dados para conceber o Biossistema Integrado estudado.

CAPÍTULO 4: CONCEPÇÃO DO BIOSSISTEMA – Neste capítulo é feito o dimensionamento, visando atender a população em questão, do Biossistema Integrado como um todo: Biodigestor, Leito de Secagem, Biogás, Sistema Alagado Construído e Leito cultivado.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES – Este capítulo apresenta as conclusões desta pesquisa, explicitando os resultados obtidos e orientações para possíveis pesquisas futuras.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – Este capítulo apresenta as referências utilizadas, a partir da literatura, para elaboração desta pesquisa, seja com figuras, dados ou conceitos.

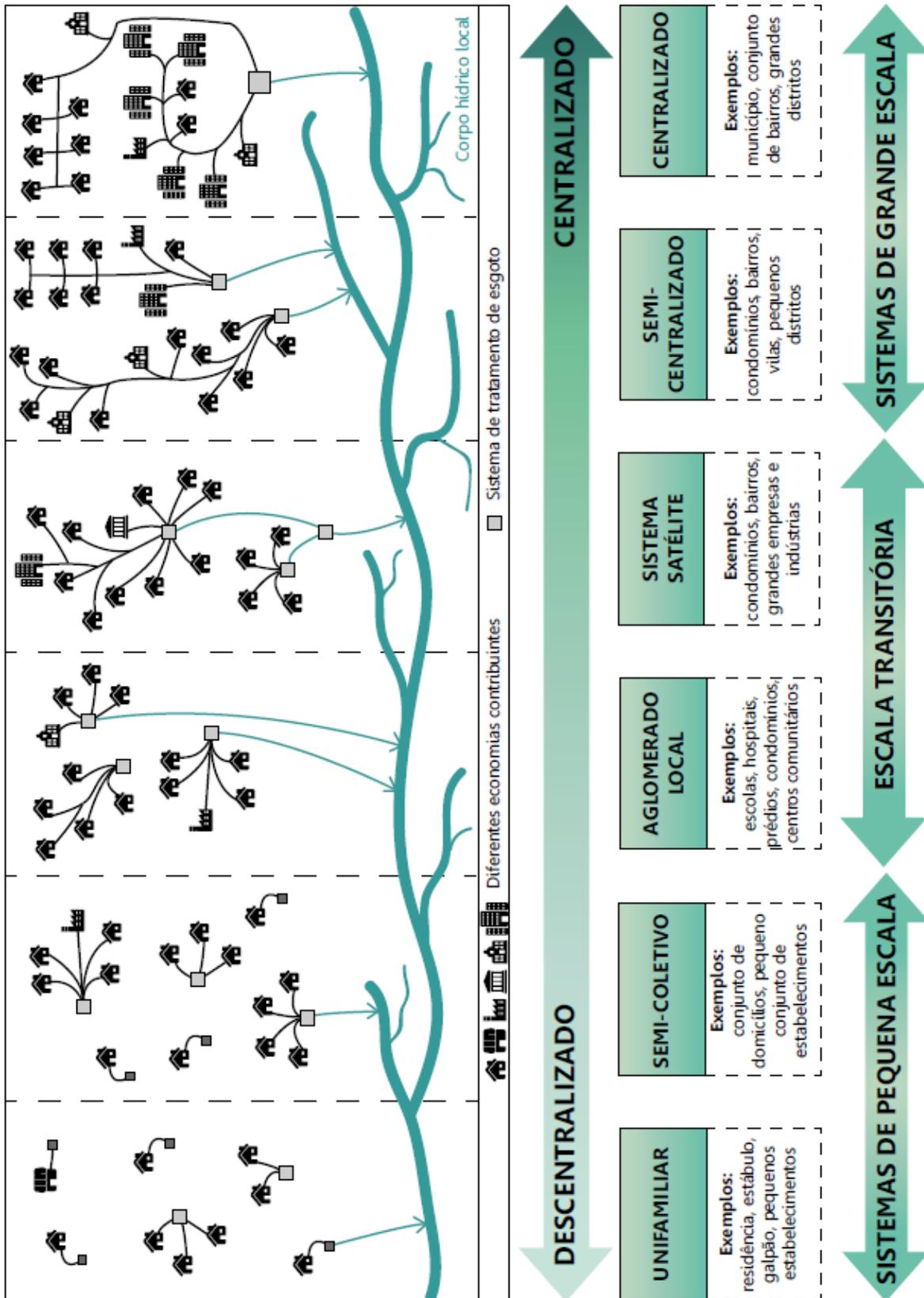
2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas descentralizados de Tratamento

A precariedade no tratamento de esgotos, latente no Brasil, tende a se agravar em comunidades isoladas urbanas e periféricas, devido às características apresentadas nessas regiões, que impedem a adoção de sistemas centralizados de esgotos, comumente utilizados em meios urbanos. Nesses casos, a adoção de sistemas descentralizados se torna opção para o tratamento de efluentes. Essa opção se torna viável devido ao baixo custo de implantação e operação, baixo requisito de energia, além de simplicidade operacional (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Os sistemas descentralizados são, basicamente, sistemas que tratam e dispõem seus resíduos próximo ao ponto de coleta, diferente dos sistemas centralizados que são unidades de tratamento que recebem os efluentes disponibilizados a partir de um coletor tronco, tratando o esgoto de grande parte de um município. A classificação quanto à centralização e pode ser feita de diversas formas, como a feita na Figura 1.

Figura 1: Classificação do tratamento de esgotos quanto à centralização



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

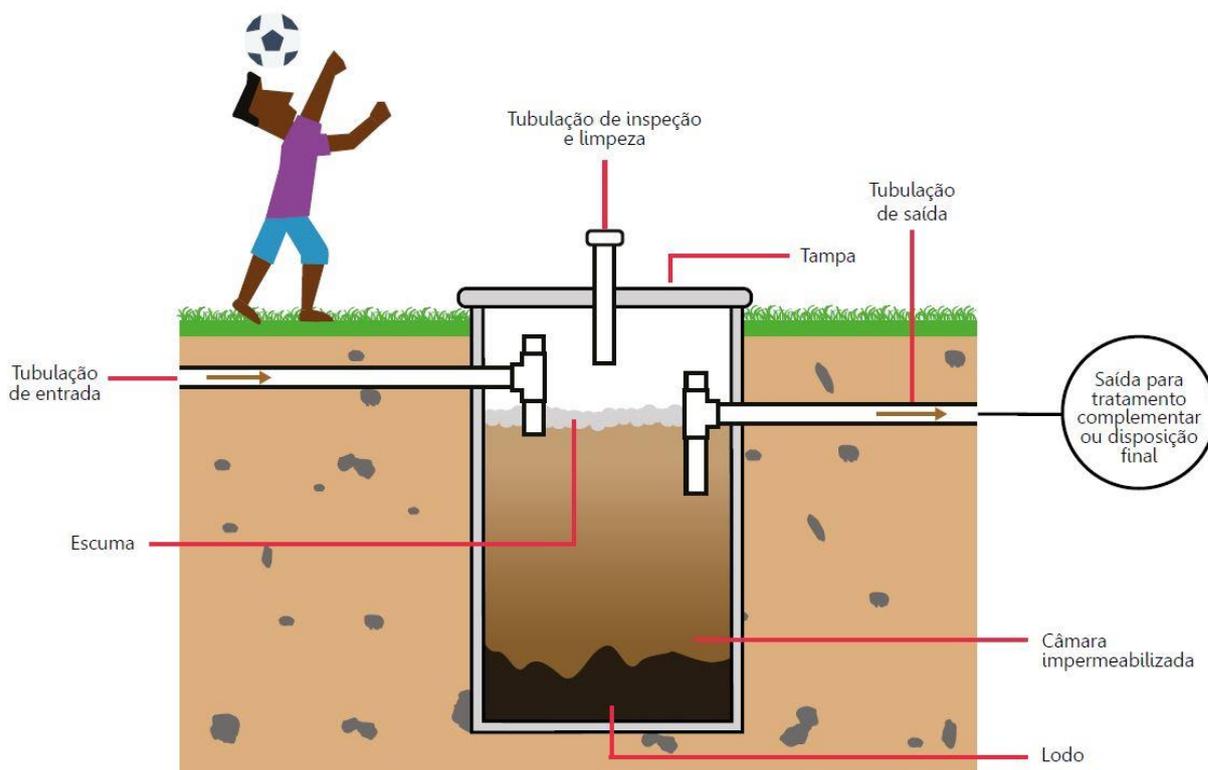
Tonetti, et. al (2018) definem, ainda, os tipos de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto que serão sintetizados nas alíneas seguintes, baseadas, principalmente, nas normas NBR 7229:1993 (Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos) e da NBR 13969:1997 (Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação). Visando o pós tratamento, caso haja necessidade, são descritos os conceitos do sistema de RAFA Compacto (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto).

2.1.1 Tanque Séptico

O tanque séptico, esquematizado na figura 2, consiste em um reservatório que armazena o esgoto por tempo suficiente para promover a sedimentação do material sólido e a disposição de sólidos não sedimentáveis, como óleos e gorduras, na superfície do efluente a ser tratado (escuma). Os sólidos dispostos no fundo promovem a formação de lodo. A tubulação de esgoto, apesar de entrar no reservatório pelo topo, é direcionada para o fundo, a fim de que o lodo sedimentado no fundo do reservatório possa promover a degradação da matéria orgânica.

O dimensionamento do tanque é baseado no volume de esgoto a ser tratado, de forma a garantir tempo suficiente de sedimentação nos sólidos. Na construção do sistema, deve-se considerar a disposição da escuma e do lodo gerados, bem como a previsão de tratamento complementar sucedendo o tanque séptico.

Figura 2: Esquema do Tanque Séptico



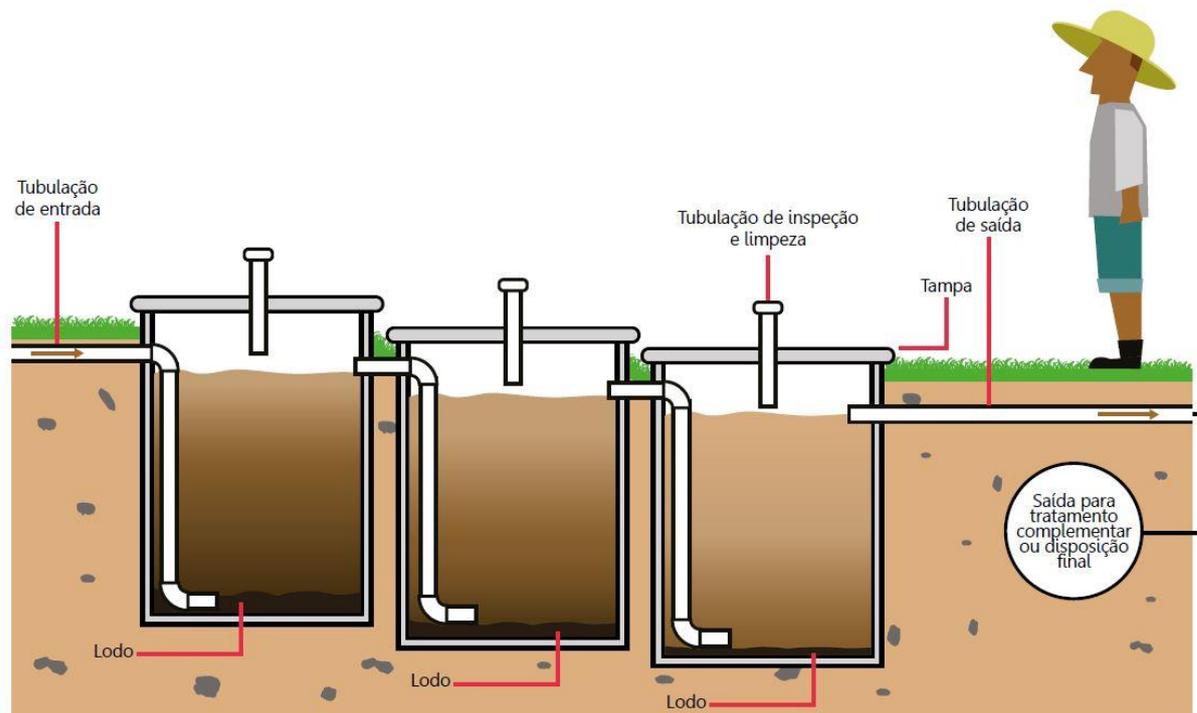
Fonte: Tonetti, et al., 2018.

2.1.2 Reator Anaeróbio Compartimentado

O reator anaeróbio compartimentado (RAC) é similar a um tanque séptico, diferenciado pela existência de múltiplas câmaras em série. Em cada câmara, o fluxo é ascendente, entrando direcionado à parte inferior e saindo pela parte superior do reservatório. O esgoto, ao entrar, tem contato imediato com o lodo depositado no fundo e se mantém no reservatório por até 24 horas, a depender do projeto e da necessidade de tratamento.

No processo construtivo, pode-se adotar dois compartimentos com o mesmo volume, ou o primeiro tendo volume maior, haja vista que nesse há mais retenção de partículas sólidas depositadas no fundo. É necessário ainda, considerar a destinação dos efluentes para outra tecnologia de tratamento, tendo em vista que mesmo apresentando qualidade superior ao tanque séptico, a remoção de carga orgânica ainda é aquém do necessário.

Figura 3: Esquema do Reator Anaeróbio Compartimentado



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

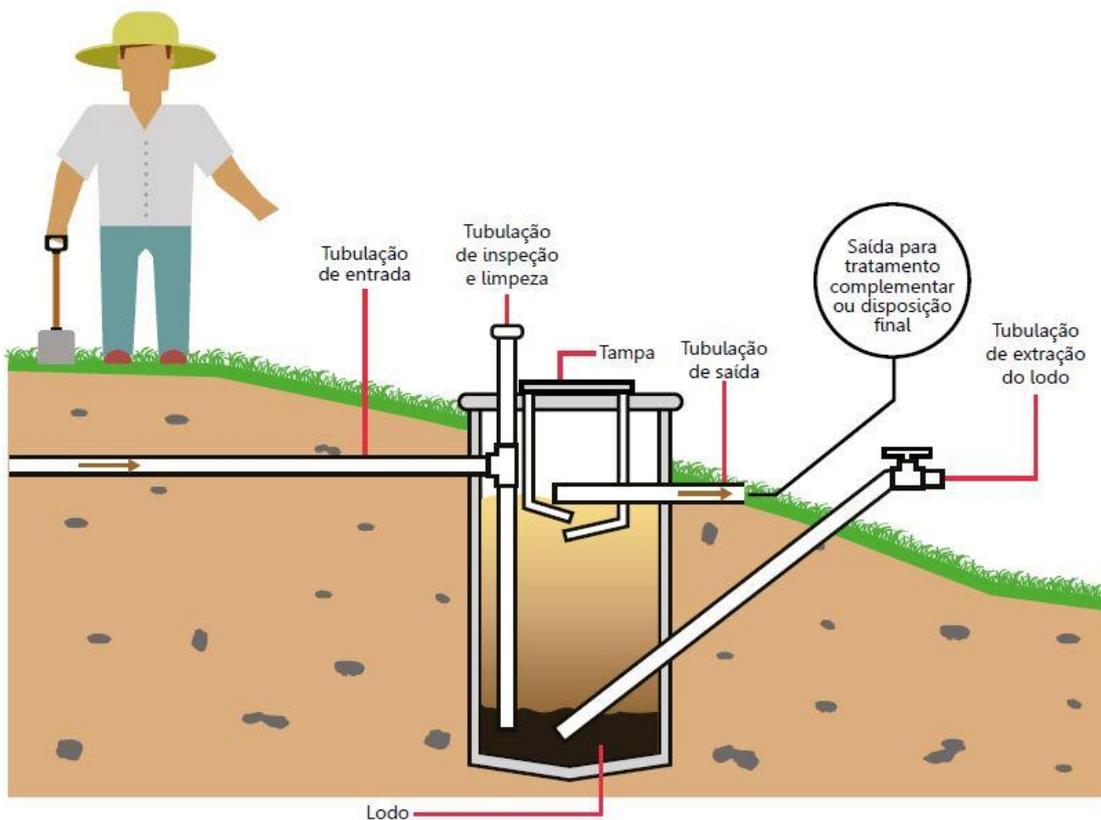
O perfil do RAC, demonstrado na figura 3, ressalta como a divisão de um reator em diferentes compartimentos, promove melhor tratamento no esgoto.

2.1.3 RAFA Compacto

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto (RAFA Compacto), é um sistema de tratamento de esgotos onde o fluxo do esgoto se dá de baixo para cima, ou seja: entra pela parte de inferior do reator e sai pela parte superior, fazendo com que a unidade esteja sempre cheia. Também conhecido como UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), promove a conversão da matéria orgânica ao mesmo tempo que permite a separação de sólidos, líquidos e gases. O caminho do esgoto consiste na entrada no reator na parte de baixo até encontrar uma “manta de lodo”, constituída de micro-organismos, onde ocorrem a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico (sem a presença de oxigênio). O esgoto segue fluindo até a parte superior do reator, onde se choca com defletores que separam o líquido dos materiais sólidos e do biogás formado.

O dimensionamento do reator é estimado baseado no volume de esgoto a ser tratado diariamente, buscando com que o esgoto se mantenha por, pelo menos, 9 horas dentro do reator. Na construção do sistema, é importante considerar se há a necessidade de uma caixa de gordura precedendo o sistema e a instalação de ventilação para liberação de gases (NBR 8160/1999). Além disso, devem ser analisadas a forma de fazer a remoção do lodo em excesso e a disposição final do efluente tratado, que dependendo da qualidade, pode ser disposto diretamente no solo ou destinado a outros tratamentos complementares para melhor remoção de carga orgânica. A figura 4 demonstra um perfil esquemático de um RAFA Compacto.

Figura 4: Esquema do RAFA Compacto



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

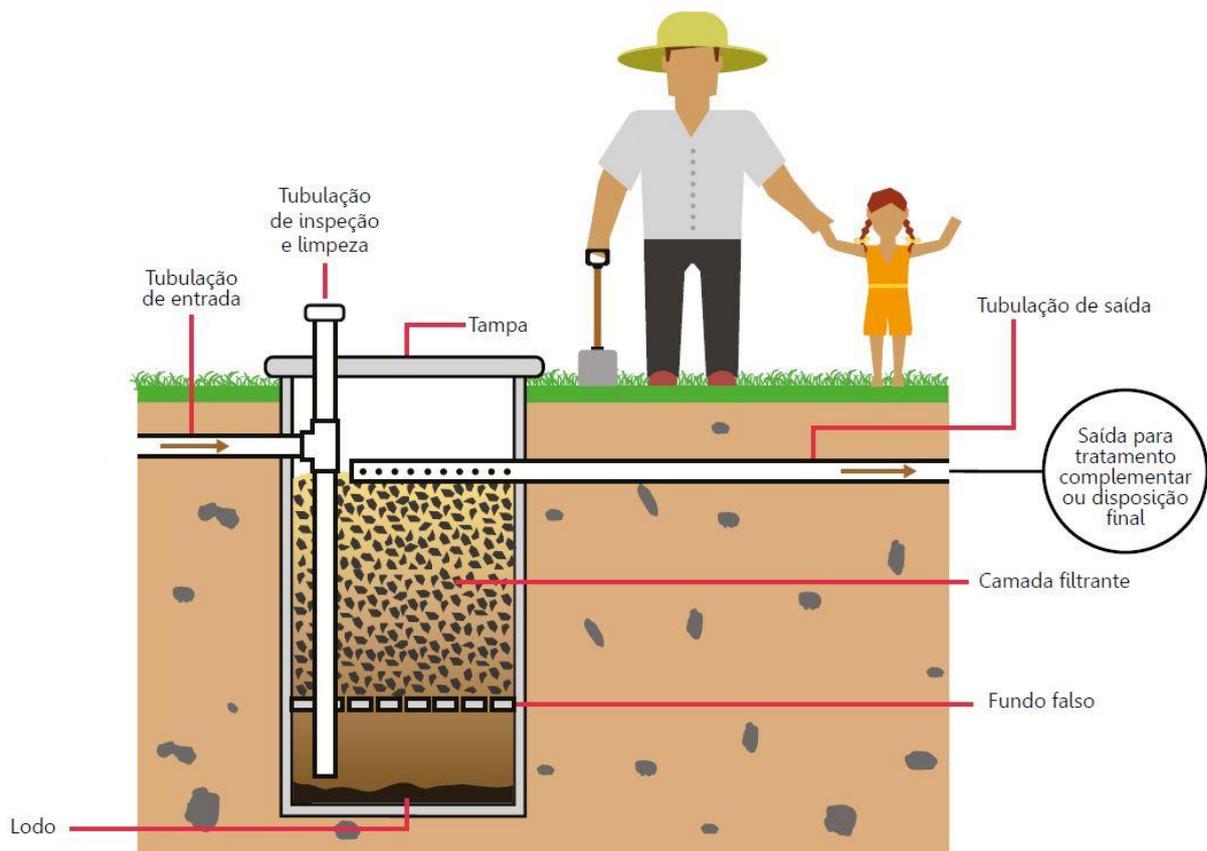
2.1.4 Filtro Anaeróbio

Filtro usado para pós-tratamento (precedido de outra tecnologia de tratamento), que é formada por uma câmara com material filtrante, que agrega micro-organismos responsáveis

pela degradação da matéria orgânica dissolvida no esgoto. Geralmente, o fluxo do tratamento é ascendente, de forma que o esgoto passe pelo material filtrante (Ex: brita, seixo, conduíte picado, anéis de plástico, cacos de tijolos ou telhas) e o esgoto tratado saia pela parte superior do filtro. Como alguns filtros apresentam compartimento no fundo para armazenamento do lodo, deve ser prevista a instalação de tubo de limpeza, do topo ao fundo do filtro, para remoção do lodo gerado periodicamente.

No dimensionamento do tanque, é imprescindível que haja tratamento anterior, como biodigestor ou tanque séptico e, havendo necessidade, o esgoto tratado no filtro anaeróbio pode ser destinado a filtros de areia ou sistemas alagados construídos (SAC), que serão abordados posteriormente.

Figura 5: Esquema do Filtro Anaeróbio



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

A figura 5, representada anteriormente, demonstra o filtro anaeróbio com suas camadas e fundo falso para o armazenamento de lodo.

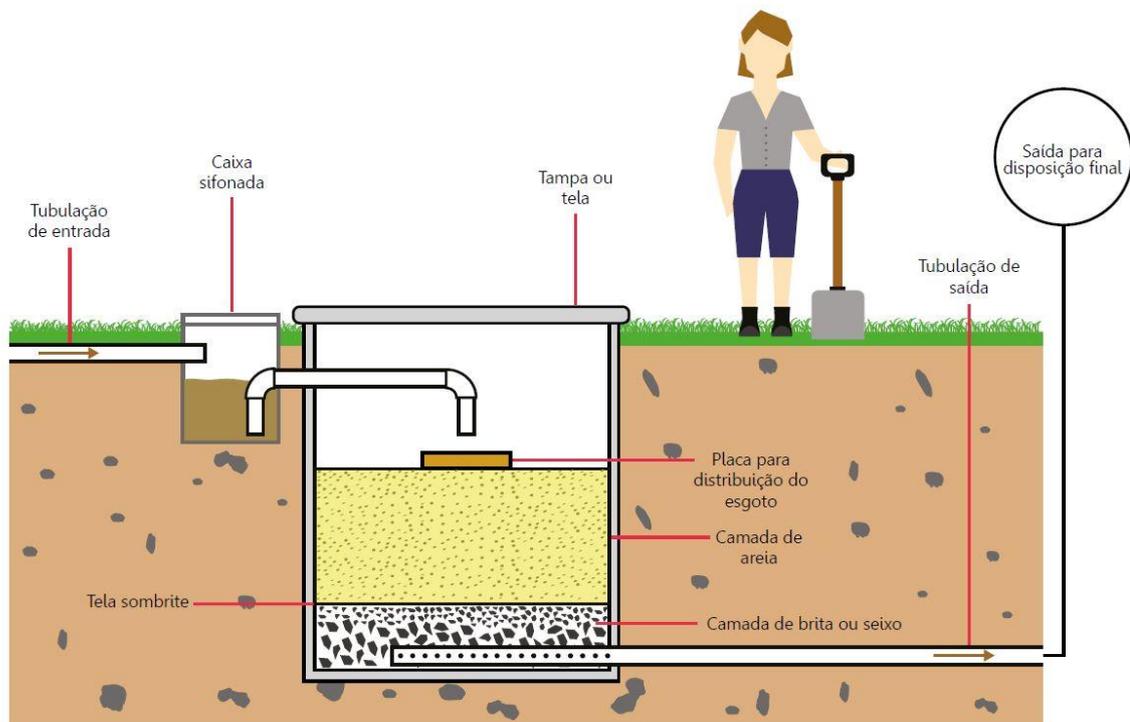
2.1.5 Filtro de Areia

Precedida por tanque séptico ou filtro anaeróbio, consistem em unidades de tratamento de fluxo descendente compostas por uma camada superior de areia seguida de outras camadas filtrantes com partículas de maior tamanho. Micro-organismos se depositam nos materiais filtrantes de diferentes tamanhos e promovem a degradação do material orgânico quando o esgoto perpassa por elas. A figura 6 representa, no perfil esquemático do fitro de areia, estas divisões de camadas.

O esgoto previamente tratado, é aplicado sobre a superfície de areia de modo intermitente, isto é, com intervalos entre aplicações, haja vista que a aplicação continuada pode gerar colmatção (entupimento) nos vazios da areia. Para isso, é necessário que, regularmente, seja feita a reposição da camada superficial de areia. Em esgotos domésticos de residência unifamiliar não é necessária essa preocupação já que a disposição do efluente não se dá de forma continuada, diferentemente de sistemas semicoletivos e condominiais.

A disposição do esgoto deve ser feita de forma que aproveite, ao máximo, a superfície de areia disponível, a uma taxa diária de aplicação máxima de 100L/m² (NBR 13969/1997).

Figura 6: Esquema do Filtro de Areia



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

2.1.6 Sistemas Alagados Construídos (SAC)

Os sistemas alagados construídos (SAC), também conhecidos como zonas de raízes ou *wetlands* (nomenclatura internacional), são valas com paredes e fundo impermeabilizados, similares a piscinas, abertos e que permitem a inundação com esgoto a ser tratado. São reservatórios abertos com profundidade inferior a 1,0 metro e dispõem, na sua composição, de plantas aquáticas ou macrófitas, que removem os poluentes naturalmente e fixam microorganismos digestores de matéria orgânica. As “*Wetlands*” normalmente possuem areia, brita, ou outros materiais que ajudem na fixação e crescimento de plantas e microrganismos.

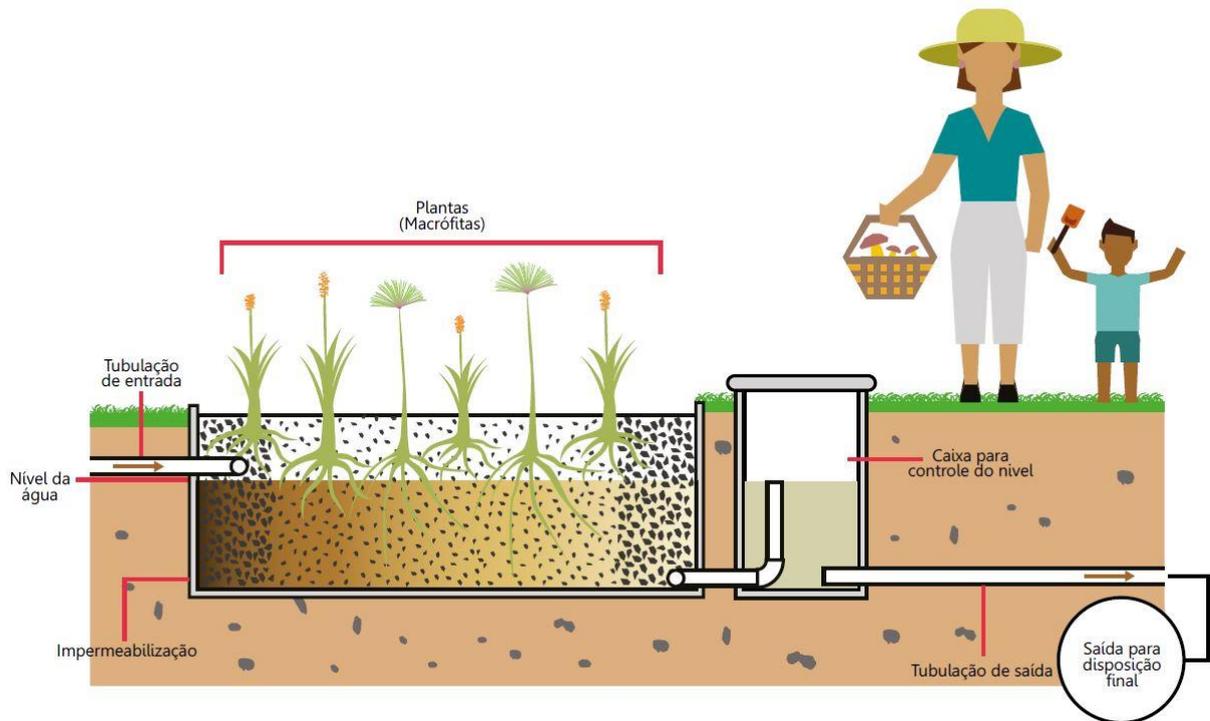
O dimensionamento do SAC se baseia principalmente no volume diário de esgoto a ser tratado e também na qualidade do esgoto. Ele deve ter uma área média de 2 m² por pessoa e uma profundidade entre 0,6 e 1,0 m.

O fluxo do esgoto mais comum é o subsuperficial, isto é, ocorre abaixo da superfície do material utilizado como suporte e em sentido horizontal. Nesse caso o esgoto é distribuído por tubos de PVC perfurados na superfície de entrada. Esse primeiro trecho pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4 para evitar entupimentos. O trecho com plantas recebe o nome de zona de raízes e é onde acontece a maior parte da transformação do esgoto (remoção de nutrientes e matéria orgânica). Essa zona pode ser preenchida com brita nº 1 ou 2, mas há experiências que fazem uso de areia. Por fim, o líquido tratado é coletado no extremo oposto à entrada de esgoto. Para isso, deve-se utilizar tubos de PVC perfurados localizados no fundo da vala do SAC. Esse trecho, chamado de zona de saída, pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4.

No tratamento de esgoto doméstico, o SAC é uma unidade complementar, sendo precedido de tanque séptico, Biodigestor ou Reator Anaeróbio Compartimentado, que serão abordados a posteriori. Caso esse tratamento preliminar não seja feito, o sistema fica suscetível a entupimentos, o que implicaria na necessidade de remoção total do material filtrante e sua substituição por material limpo, algo inviável para o uso prolongado do sistema.

As espécies de plantas aquáticas escolhidas devem ser de rápido crescimento e propagação. No Brasil, as mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). A vegetação do SAC deve ser podada periodicamente e recomenda-se no mínimo duas vezes por ano. O material podado pode ser utilizado em pilhas de compostagem.

Figura 7: Esquema do Sistema Alagado Construído



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

A figura 7 esquematiza a importância da absorção de nutrientes, por parte das plantas, no tratamento de esgotos de forma eficiente e simples.

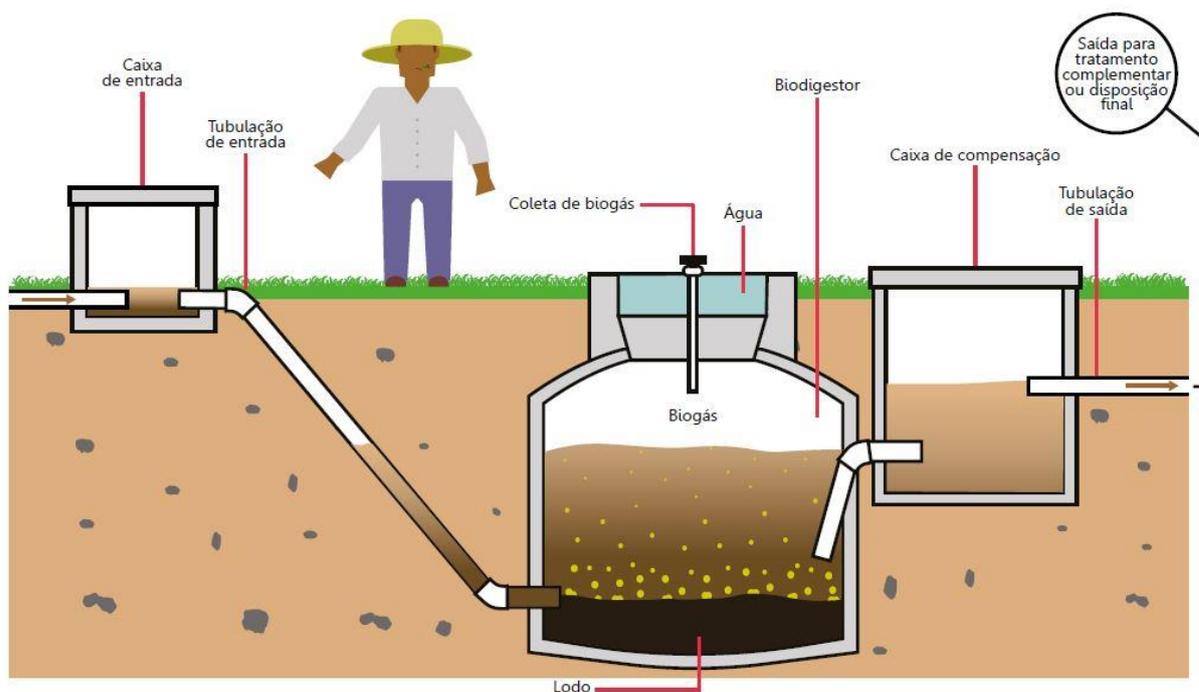
2.1.7 Biodigestor

O biodigestor consiste em uma câmara fechada onde acontece a digestão anaeróbia da matéria orgânica (na ausência de oxigênio) e por um gasômetro que armazena o biogás produzido. O biogás pode ser aproveitado como gás de cozinha, utilizando-se uma tubulação instalada na parte superior do gasômetro.

Dentre os diversos modelos de biodigestores existentes, pode-se destacar o “chinês” que é de alvenaria de tijolos e tampa côncava, o modelo “canadense” que consiste em uma lagoa coberta por uma lona, o “indiano” distingue-se por possuir uma campânula como gasômetro e, até mesmo, biodigestores pré-fabricados. Independente do modelo, o intuito desta tecnologia é o reaproveitamento dos gases provenientes da degradação anaeróbica da matéria orgânica do esgoto, como o metano, gerados após mais de 24 horas no reservatório.

É importante, neste tipo de tecnologia, garantir que o reservatório e a válvula instalada na tampa do biodigestor para controle de gases, possuam vedação suficiente para não permitir vazamento de biogás. Após passar por esse tratamento, o esgoto deve ser encaminhado a outro tipo de tecnologia de tratamento complementar.

Figura 8: Esquema do Biodigestor



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

A representação do biodigestor, na figura 8, demonstra como outros importantes substratos podem ser reaproveitados, como o biogás, para além de exclusivamente o tratamento.

2.1.8 Biosistema Integrado (BSI)

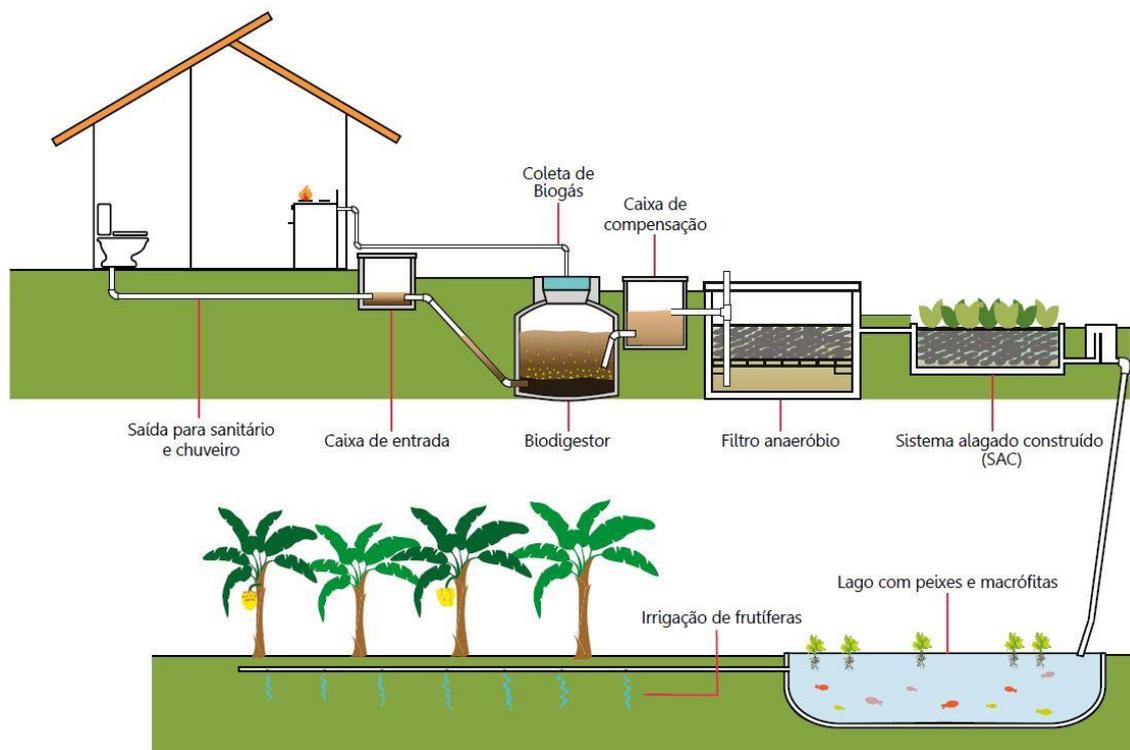
Tecnologia alvo desse estudo, O BSI pode ser entendido como um sistema através do qual se procura a maximização das variáveis do desenvolvimento sustentável aplicando métodos e técnicas que eliminem os resíduos produzidos em determinado processo produtivo, transformando-os em matérias primas úteis em outros processos. Neste método, há a integração de vários métodos de tratamento de esgoto, a fim de cumprir um ciclo de tratamento de todas as etapas do esgoto, desde o tratamento primário até o reaproveitamento do

biogás. Durante o processo, o tratamento é integrado às atividades locais através do reaproveitamento de potencial energético do esgoto.

O Biosistema Integrado padrão é iniciado por um biodigestor, onde acontece a digestão anaeróbia do material orgânico. Seguindo o tratamento, o esgoto pode continuar sendo digerido por micro-organismos anaeróbios através de um filtro anaeróbio e, posteriormente, seguir para Sistemas Alagados Construídos, onde parte dos nutrientes presentes no esgoto são absorvida pelas plantas e outra parte evaporada para o ambiente através da transpiração das plantas.

Onde houver espaço disponível, o esgoto tratado pelo BSI pode ser integrado a sistemas produtivos como um tanque de algas, peixes e plantas aquáticas (ou macrófitas), cuja construção é opcional, mas são responsáveis pela depuração final do esgoto e a produção de peixes e algas/plantas aquáticas. O esgoto que sai destas lagoas pode ser utilizado para ferti-irrigação de árvores frutíferas (pomares) ou outras culturas. Após mais de 24 horas no biodigestor e no filtro anaeróbio, o esgoto integrado a sistemas de tratamento com lagoas de algas, peixes e/ou macrófitas, a remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), chega a mais de 90%.

Figura 9: Esquema do Biosistema Integrado



Fonte: Tonetti, et al., 2018.

A figura 9, que esquematiza o fluxo no BSI, mostra de forma simplificada o processo sugerido nesta pesquisa, porém em escala unifamiliar.

2.2 Leito de Secagem

São unidades de tratamento, com o intuito de secar o lodo gerado nos digestores, geralmente feita de alvenaria em formato retangular. Costumam ser compostos de três partes principais: tanque de armazenamento, camada drenante e cobertura.

O tanque de armazenamento é uma unidade de recepção do lodo, geralmente de forma retangular e que armazena o lodo por tempo suficiente para que ele passe pela camada drenante, geralmente é feito de tijolos espaçados e separados por juntas de areia.

A camada drenante possui: camada suporte, que serve, principalmente, para facilitar a remoção do lodo seco e evitar a mistura do lodo com a areia da camada filtrante; camada filtrante composta por camada de pedras de diferentes granulometrias dispostas com as de maior granulometria nas camadas superiores, que tem a finalidade de reter o lodo e permitir que a água percole pelo leito; camada drenante constituída de canalizações dispostas abaixo do meio filtrante para escoar o líquido proveniente do lodo e escoá-lo.

O leito de secagem pode ser coberto ou não, mas em países tropicais a cobertura não se justifica, haja vista que a chuva não afeta a secagem. Em países que nevam, a cobertura costuma ser feita por telhas translúcidas, a fim de que o leito funcione similar a uma estufa.

O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período de 12 a 20 dias, quando a umidade atinge valores de 70 a 60%. Assim, o ciclo de operação (descarga, secagem, e retirada do lodo do leito) poderá durar cerca de 18 a 25 dias, de acordo com as condições climáticas. (JORDÃO E PESSOA, 2014)

2.3 Biogás

Um dos subprodutos gerados pelo processo anaeróbio dentro do biodigestor é o biogás, que pode ser reaproveitado como energia térmica ou energia elétrica, desde que haja tratamento prévio. A maior necessidade da adoção de um sistema de purificação é o H₂S (ácido sulfídrico) presente no biogás, que pode ser removido por técnicas diversas de dessulfuração, como adsorção, microaeração ou, se não houver a intenção de aproveitamento, a combustão direta em queimadores. A comparação entre a adsorção e a microaeração está resumida na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação das técnicas de remoção de H₂S do biogás em ETEs anaeróbias.

	Tecnologia	
	Adsorção	Microaeração
Implantação	++	+++
Operação/ manutenção	+ (a)	+++
Requisitos de energia	+++	++
Eficiência de remoção de H ₂ S	+++	++
Remoção Seletiva de H ₂ S	+++	++
Simplicidade Operacional	+++	+
Legenda: +++ muito vantajoso ++ vantajoso + pouco vantajoso (a) elevados custos de operação em manutenção se o carvão ativado for utilizado como adsorvente.		

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ABES, 2021.

A umidade também deve ser removida do biogás para evitar danos aos componentes do sistema de aproveitamento energético (corrosão devido à formação de ácidos pela presença de CO₂ e H₂S em um ambiente úmido), bem como para atender às exigências das etapas de tratamento subsequentes. A remoção de umidade do biogás pode ocorrer através de processos de secagem, como condensação, absorção e adsorção. (ABES,2021)

A Tabela 2, faz a comparação entre as técnicas de remoção de umidade do biogás.

Tabela 2 - Tecnologias para remoção de umidade do biogás em ETEs com reatores anaeróbios.

	Tecnologia		
	Condensação	Absorção	Adsorção
Implantação	++	+	+++
Operação/ manutenção	++	+	++
Requisitos de energia	+	++	+++
Legenda: +++ muito vantajoso ++ vantajoso + pouco vantajoso			

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ABES, 2021.

Nas situações em que o aproveitamento energético do biogás não é uma opção técnica e economicamente atrativa, este deve ser encaminhado para tratamento por combustão direta em queimadores. A queima do biogás é importante no gerenciamento de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa), uma vez que minimiza as emissões de CH₄ para a atmosfera. Complementarmente, também reduz a emissão de gases odorantes e corrosivos, notadamente o H₂S, salvaguardando as infraestruturas da ETE e a saúde ocupacional de operadores, já que esses gases são também irritantes e tóxicos aos seres humanos. (ABES,2021)

2.4 Canteiro Cultivado

Um bom método, para dispor as águas de pós-tratamento, é promover a construção de um canteiro cultivado. Dessa forma, se cumpre o preceito de Biosistemas Integrados, que é a utilização total do esgoto e seus subprodutos, gerando um ciclo fechado de tratamento.

Para a construção do canteiro cultivado, deve-se atentar ao fato de que, apesar da alta carga de remoção de DBO, não deve ser cultivado, nesse local, vegetais e hortaliças que serão diretamente consumidas em seguida. O cultivo de árvores frutíferas se mostra como boa opção para compor a canteiro cultivado, pois não só permite o consumo completo da água tratada, como a geração de alimentos para a comunidade.

Nesse local, também se pode adubar o solo com biofertilizantes feitos a partir do lodo proveniente do leito de secagem e, que podem ser produzidos, em uma cooperativa local.

2.5 Casos de aplicação

A aplicação de Biosistemas Integrados já foi feita em diversos locais do país, contemplando números variados de pessoas atendidas e instaladas em áreas de diferentes características. Alguns projetos a serem destacados são o da Comunidade do Vale Encantado e os das comunidades de Petrópolis, ambos no Rio de Janeiro, e da comunidade da Vila Dordeoni, no Espírito Santo.

Os moradores do Vale Encantado, uma comunidade no Alto da Boa Vista, na cidade do Rio de Janeiro, resolveram tratar o seu esgoto de forma ecológica e foram em busca de tecnologias aplicadas em outras situações semelhantes. O objetivo foi o de utilizar o esgoto e resíduos orgânicos como insumo de modo a fechar os ciclos, gerando adubo orgânico que irriga a mata e energia limpa para o fogão. Biosistemas de tratamento que utilizam biodigestores, foram construídos em duas etapas. O primeiro sistema aproveita os resíduos da cozinha que são conduzidos para um biodigestor de metal coberto por uma tampa de fibra de vidro. O gás que sai da decomposição dos resíduos é conduzido por tubulação para botijões de gás a ser usado na própria cozinha. Por baixo, a água sai com excesso de nutrientes descendo para áreas vegetadas, que são adubadas naturalmente pelo biofertilizante que tem nutrientes orgânicos.

Esse biodigestor teve o apoio da “*Solar Cities Solutions*”, uma ONG educativa que atua levando tecnologia para gerar energia limpa e ao mesmo tempo gerar fertilizante orgânico para comunidades de todo o mundo. O segundo é um sistema de biodigestor chinês, que na década de 1970 já tinha mais de 7 milhões funcionando na China. Essa tecnologia foi aprimorada. O biodigestor, mostrado na Figura 10, é feito em alvenaria e o efluente gerado entra numa zona de raízes que absorve o excesso de nutrientes e transpira a água por meio das folhas. Esse biossistema teve o apoio da academia no seu desenvolvimento e implantação (OICS, 2021).

Figura 10: Biossistema Integrado do Vale Encantado/RJ.



Fonte: RIOONWATCH, 2021.

Em Petrópolis, a empresa de águas e esgotos da cidade, “Águas do Imperador”, inovou ao introduzir tratamento biológico de esgotos em micro-estações de tratamento em dez comunidades: Quarteirão Brasileiro, Vila Rica, Córrego Grande, Vila Ipanema, Nogueira, Siméria, Bonfim, Independência, Morro do Gavião e Caxambu. A cidade possui um relevo muito acidentado, o que impossibilita coletar e conduzir o esgoto para estações de tratamento de esgoto distantes. A estratégia adotada foi de instalar micro-estações biológicas para garantir a qualidade das águas, com inúmeros benefícios para a comunidade local e para as bacias hidrográficas que abastecem a cidade de águas. D. Pedro II deu nome à cidade de Petrópolis, aonde passava os verões por ser uma região serrana com temperaturas mais amenas. Como

acontece na maioria das cidades brasileiras, a cidade cresceu sem planejamento para habitação de baixa renda próxima aos polos geradores de empregos. Com isso a população mais carente ocupa localidades em encostas íngremes e em áreas à beira-rio (OICS, 2021). Uma dessas unidades, está demonstrada na Figura 11.

Figura 11: Biossistema Integrado instalado em Petrópolis/RJ.

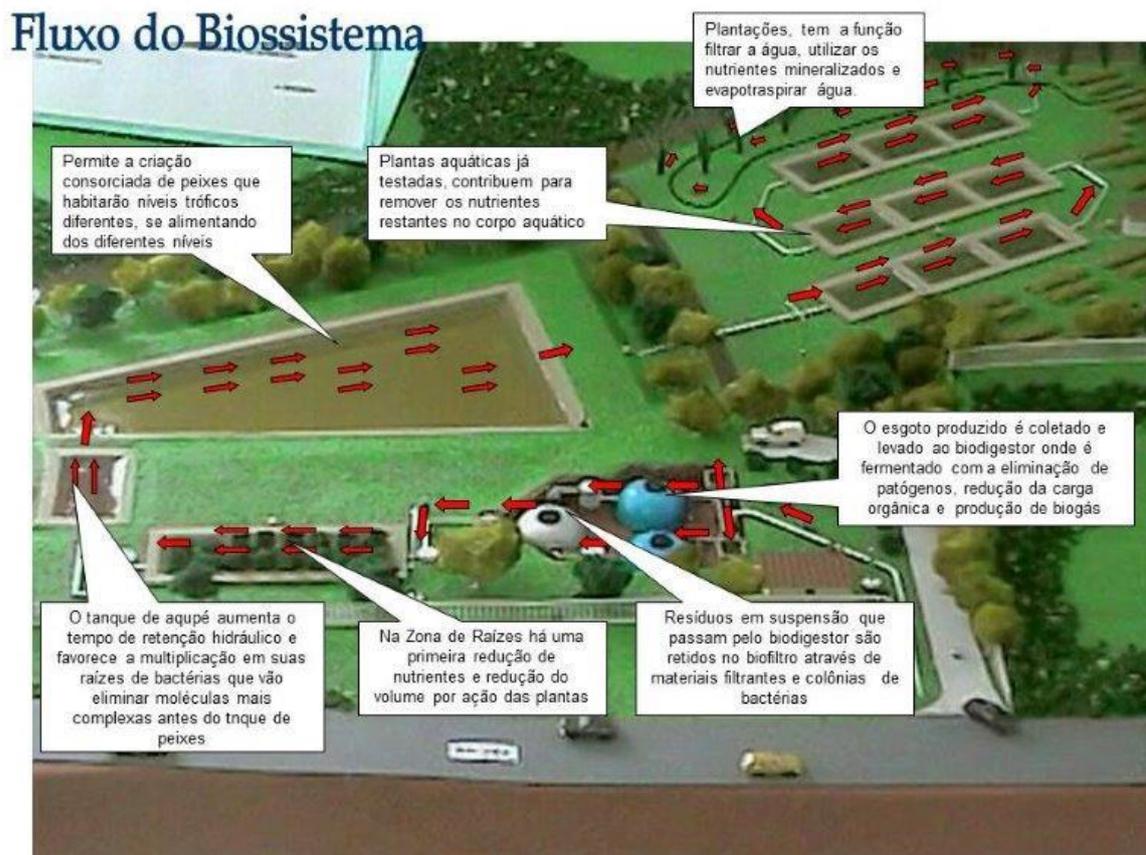


Fonte: OICS, 2021.

O BSI instalado na Vila Dordeoni no Alto Caxixe, bairro da cidade de Venda Nova do Imigrante no Espírito Santo, cujo fluxograma de processo está representado na Figura 12, é um dos exemplos focados em economia circular que transformam resíduos que impactam o ambiente e a saúde das pessoas em insumos, com o projeto de soluções baseadas na natureza. O biossistema foi instalado em 2008 para atender inicialmente os 500 moradores da vila, com capacidade para chegar a 1200 pessoas. Nesse caso em região periurbana, o sistema ocupou uma área de 3.000 m², e foi consorciado com as águas que são usadas na despolpa do café produzido na região. Essa água residual foi usada para dar início ao funcionamento dos biodigestores, que utilizam as águas servidas das residências. O sistema visou a melhoria da qualidade da água, geração de biogás, reduzir doenças causadas pela poluição das águas e do ambiente, criação de peixes, cultivo de mudas ornamentais e produção de adubo orgânico para uso nas lavouras locais. A comunidade da Vila Dordeoni era uma comunidade agrícola sem

sistema de esgoto, que lançava o esgoto no córrego do Caxixe, impactando a qualidade das águas e saúde dos habitantes, especialmente por conta da verminose. A Secretaria de Estado de Agricultura contratou a ONG OIA (O Instituto Ambiental), em parceria institutos internacionais para desenvolver um projeto ecológico, como já havia feito em outros locais e países (OICS, 2021)

Figura 12: Fluxo do Biosistema Integrado instalado em Vila Dordeoni/ES.



Fonte: OICS, 2021.

3. METODOLOGIA

3.1 Instrumento de Coleta de Dados

A partir dos métodos descentralizados de tratamentos de esgotos domésticos estudados, foi possível escolher o método de Biosistemas Integrados (BSI), devido a diversos fatores: viabilidade financeira, praticidade de construção, facilidade de operação e manutenção, além de permitir integrar os substratos provenientes do tratamento do esgoto a atividades na própria

comunidade. Escolhido o método, foi possível pensar um layout que atenda às demandas populacionais e o pouco espaço disponível em comunidades urbanas isoladas cadastradas pela Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos, no município de Maricá/RJ.

Tomando como base o percentual de esgoto tratado e o tamanho populacional das comunidades urbanas do município de Maricá/RJ, foi possível padronizar um sistema que possa atender a todas as comunidades estudadas.

A NBR (12209/2011; 13969/1997; 7229/1993; 8160/1999), preconiza parâmetros para todos os dimensionamentos feitos, adotando premissas indispensáveis para o bom funcionamento dos sistemas de tratamento isolados que, posteriormente, comporia todo o layout do método de “Biossistemas Integrados” (BSI).

3.2 Análise e Tratamento de Dados

O primeiro passo foi obter informações a respeito da situação do tratamento de esgotos em Maricá/RJ, no que diz respeito ao percentual de tratamento no município. As informações utilizadas foram disponibilizadas pela SANEMAR – Companhia de Saneamento de Maricá.

Através da Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos do município de Maricá/RJ, foi possível saber a população média de cada comunidade cadastrada e o número total de pessoas que poderiam ser atendidas por soluções de esgotamento sanitário.

De posse das informações supracitadas, foi possível estudar os métodos de tratamentos de esgotos domésticos, escolher o método de Biossistemas Integrados (BSI) e dimensionar um layout que atenda às demandas populacionais e o pouco espaço disponível nas comunidades urbanas isoladas cadastradas no município de Maricá/RJ.

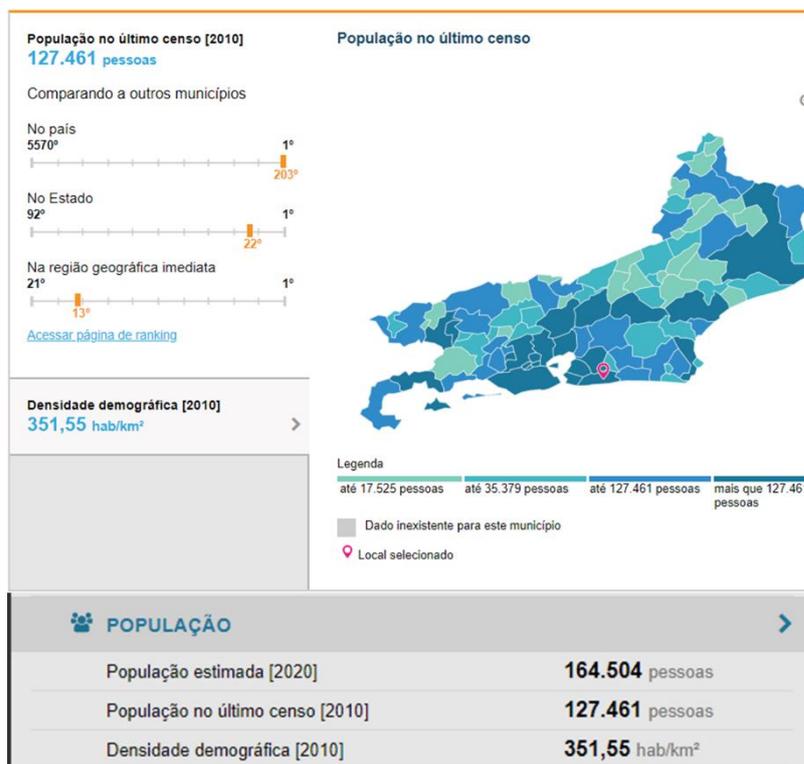
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O município de Maricá/RJ

Município do Rio de Janeiro, Maricá faz divisa litorânea com Niterói e possui 46 quilômetros de costa, sendo o primeiro município da chamada Costa do Sol. Segundo o IBGE,

em censo divulgado em 2010, Maricá possuía 127.461 habitantes, porém em estimativa feita pelo mesmo instituto, a população do município para o ano de 2020 seria de, aproximadamente, 164.504 habitantes.

Figura 13: População atual e projetada para Maricá/RJ.



Fonte: IBGE, 2021.

A figura 13, mostra o crescimento populacional para a cidade de Maricá/RJ. O constante crescimento populacional da cidade, se feito de forma desordenada, pode aumentar o povoamento em áreas irregulares, sem preparo prévio para soluções coletivas de esgotamento sanitário. Diante disso, a Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos do município, trabalha na identificação e cadastramento dessas áreas. As comunidades cadastradas, até o momento, somam uma população de aproximadamente 16 mil habitantes, algumas em áreas que receberão, futuramente, rede pública de esgotamento sanitário.

Entretanto, para esta publicação, considerou-se como público alvo as comunidades que apresentam mais de 200 habitantes, tendo elas previsão de ligação à rede pública ou não, haja vista que o Biosistema Integrado dimensionado para esta pesquisa é para atender a 500 habitantes e com a perspectiva de crescimento destas comunidades, a população pode chegar a

500 habitantes em um futuro próximo. As comunidades que já possuem mais de 500 habitantes, poderiam aplicar mais de uma unidade dos “Biossistemas Integrados”.

A utilização do Biossistema Integrado, como alternativa para tratamento de esgoto, poderia ser economicamente mais rentável, pois além de ser economicamente mais acessível que uma ETE (Estação de Tratamento de Esgotos) completa, poderia aproveitar todos os substratos do esgoto e transformá-los em renda para a população.

A Tabela 3, a seguir, descreve o número de famílias cadastradas pela Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos, por comunidade, na cidade de Maricá/RJ.

Tabela 3 – População de Maricá/RJ cadastrada por Assentamento.

ÁREA	Nº DE FAMÍLIAS	POPULAÇÃO
CAMBURI *	66	264
MARQUÊS I E II*	35	140
QUARENTINHA*	29	116
MUTIRÃO*	53	212
PRAÇA DE ITAIPUAÇU*	50	200
RUA DA CÔRTE*	12	48
MANU MANUELA*	6	24
PRAÇA DO SPAR*	15	40
RUA PERÍ - ITAOCAIA*	20	80
PRAIA DA ITAIPUAÇU*	6	24
DIVINEIA*	10	40
JARDIM NOVA METRÓPOLE*	14	80
BANANAL*	140	560
CLAM I - QUADRA 37*	40	240
CLAM II - QUADRA 38*	47	240
MORRO DO AMOR*	35	120
BECO DO DANTAS*	35	140
CUSTODIO MOREIRA - SÃO JOSÉ	42	168
EUCLIDES PAULA - SÃO JOSÉ	60	240
MONTE CASTELO	50	200
CAMBURI II	16	64
RUA DO JOÃO - INOÃ	20	80
26 DE MAIO - ITAPEBA	20	80
DOM FILIPE	1	4
VEREDA DOS PAINEIRAS - INOÃ	10	40
JACONÉ II - ESTAÇÃO	50	200
JACONÉ PRAÇA (SPU)	125	500
PARQUE NANCI	50	200
MARINE	120	480
ZACARIAS	300	1200
BAIRRO DA AMIZADE	272	806
CORDEIRINHO I	110	440
CORDEIRINHO II	60	240
BEIRA LINHA	260	1040
FAZENDA - INOÃ (ITERJ)	1800	7200
PINDOBAL	35	140
RUA 93 - BAMBUÍ	8	32
SILVADO	50	150
PARQUE NANCI	25	75
ITAIPUAÇU 35	35	105
TOTAL:	4132	16252
TOTAL COM 200 HABITANTES OU MAIS:	3453	13662

**COMUNIDADES COM TÍTULO DE PROPRIEDADE JÁ ENTEGRUE*

Fonte: Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos de Maricá/RJ, 2020.

Outro aspecto a ser levado em consideração, diz respeito à baixa cobertura de redes de esgotamento sanitário no município. Estima-se que o número de habitantes atendidos por redes direcionadas a alguma ETE, seja inferior a 10%, como disposto na Tabela 4.

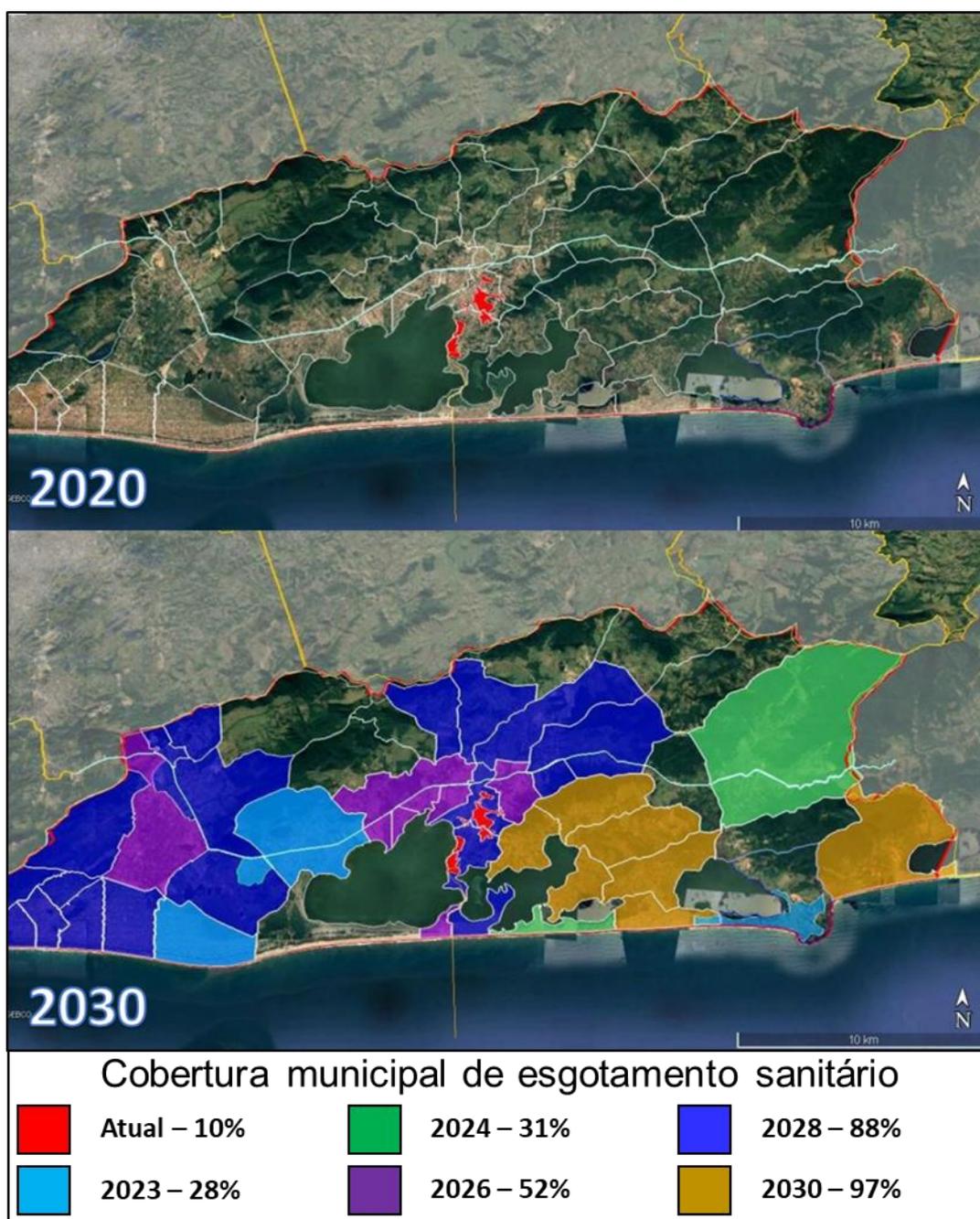
Tabela 4 - População atendida por Sistema.

SISTEMAS	POPULAÇÃO	%
ETE MARICÁ	2970	1,81%
MCMV INOÃ	5061	3,08%
MCMV ITAIPUAÇU	4331	2,63%
ETE PEDREIRAS	715	0,43%
SISTEMA BR MUMBUCA	1573	0,96%
SISTEMA BR ARAÇATIBA SB 2	464	0,28%
SISTEMA BR ARAÇATIBA SB 4	860	0,52%
TOTAL	15974	9,71%
POPULAÇÃO TOTAL DE MARICÁ	164504	100,00%

Fonte: SANEMAR – Companhia de Saneamento de Maricá, 2020.

Por conta da baixa cobertura de redes de esgotamento, a PMM (Prefeitura Municipal de Maricá), como forma de pensar a destinação dos efluentes residenciais, publicou o decreto municipal n° 291, em 08 de março de 2019, que exige a presença de fossa, filtro e sumidouro onde não há rede e aponta diretrizes para a instalação das mesmas. A medida é paliativa, enquanto a SANEMAR projeta e executa as redes de esgotamento em todo o município. A previsão é que Maricá atinja 97% da população contemplada por redes de esgotamento até 2030.

Figura 14: Estimativa da área coberta por rede de esgotamento sanitário atual e prevista.



Fonte: SANEMAR, 2020.

A figura 14 mostra a estimativa de cobertura por redes de esgoto, ao decorrer dos anos. O percentual não contemplado com as redes futuras são, exatamente, áreas isoladas urbanas e rurais, áreas onde o sistema de Biossistemas Integrados poderia ser aplicado. Apesar disso, este estudo contempla somente as áreas isoladas urbanas com o intuito de servir de parâmetro para se estudar, futuramente, a aplicação em comunidades mais populosas.

4.2 Dimensionamento do Biodigestor

Como visto no item 2.2.8, o “Biossistema Integrado” é iniciado por um Biodigestor (item 2.2.7). Na tentativa de melhorar o processo de tratamento do esgoto, será aumentado o número de câmaras de decantação, projetando o biodigestor nos moldes de um Reator Anaeróbio Compartimentado (item 2.2.6).

Entretanto, o dimensionamento será feito baseado nas premissas da norma NBR 7229/93, que estipula o volume do tanque da seguinte forma:

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

Sendo:

V = volume útil, em litros

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 5)

T = período de detenção, em dias (ver Tabela 6)

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (ver Tabela 7)

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 5)

As informações necessárias para o dimensionamento do tanque estão dispostas nas tabelas a seguir:

Tabela 5 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

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 7229/93

Tabela 6 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7229/93

Tabela 7 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

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

Fonte: NBR 7229/93

O número de habitantes será obtido através da análise das comunidades cadastradas pela Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos do município de Maricá/RJ.

Como se tratam de residências de padrão baixo, em uma localidade com temperatura mínima anual entre 10°C e 20°C, serão utilizados os seguintes parâmetros para projetar, pensando em intervalo de limpeza de 1 ano para comunidades com 500 habitantes:

$N = 500$ habitantes

$C = 100$ litros/pessoa x dia

$T = 0,5$ dias

$K = 65$

$L_f = 1$ litro/pessoa x dia

Portanto,

$$V = 1000 + 500 \times (100 \times 0,5 + 65 \times 1)$$

$$V = 58500 \text{ litros ou } 58,5 \text{ m}^3$$

A NBR 7229/93 ainda dispõe sobre parâmetros geométricos para construção dos tanques, como pode ser observado na tabela a seguir:

Tabela 8 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229/93

Utilizando a maior Profundidade útil possível, pode-se estabelecer a Área útil dividindo o volume encontrado anteriormente pela altura útil da Tabela 8. Quanto às dimensões, o item 5.9 da NBR 7229/93, estabelece que a relação comprimento/largura deve estar entre as proporções de 1:2 e 1:4. A mesma norma, em seu item 5.11, estabelece proporção volumétrica de 1:2 entre as câmaras de entrada e saída. Com essas informações é possível adotar que:

Área útil:

$$\frac{58,5}{2,80} \cong 21 \text{ m}^2$$

Largura adotada: 3,00 metros

Comprimento adotado: 7,00 metros

Proporção comprimento/largura:

$$\frac{7,00}{3,00} = 2,33 \text{ (dentro da margem estabelecida)}$$

Volume da primeira Câmara:

$$\frac{2,00 \times 58,5}{3,00} = 39 \text{ m}^3$$

Volume da segunda Câmara:

$$58,5 - 39 = 19,5 \text{ m}^3$$

Como a largura adotada foi de 3,00 metros, pode-se estabelecer a Área Útil e o comprimento de cada câmara:

Área útil da Câmara 1:

$$\frac{39,00}{2,80} = 13,92 \text{ m}^2$$

Comprimento da Câmara 1:

$$\frac{13,92}{3,00} \cong 4,65 \text{ m}$$

Área útil da Câmara 2:

$$\frac{19,50}{2,80} = 6,96 \text{ m}^2$$

Comprimento da Câmara 2:

$$\frac{6,96}{3,00} \cong 2,35 \text{ m}$$

Outro aspecto a ser dimensionado é a intercomunicação entre as câmaras, que terá área igual a 5% da área útil da parede divisória entre as câmaras (NBR 7229/93). Ou seja: $0,05 \times 3,00 \times 2,80 = 0,42 \text{ m}^2$

Como a mesma norma estabelece a altura mínima de abertura como 0,30 metros, tem-se que a largura útil da abertura será de 1,40 m. Toda as dimensões calculadas anteriormente são resumidas na tabela 9, a seguir:

Tabela 9 - Dimensões de cada compartimento do biodigestor.

DIMENSÕES DO BIODIGESTOR				
ÁREA	COMPRIMENTO ÚTIL (m)	LARGURA ÚTIL (m)	ALTURA ÚTIL (m)	ÁREA ÚTIL (m²)
Câmara I	4,65	3,00	2,80	13,95
Câmara II	2,35	3,00	2,80	7,05
Abertura entre Câmaras	-	1,40	0,30	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado da NBR 7229/93.

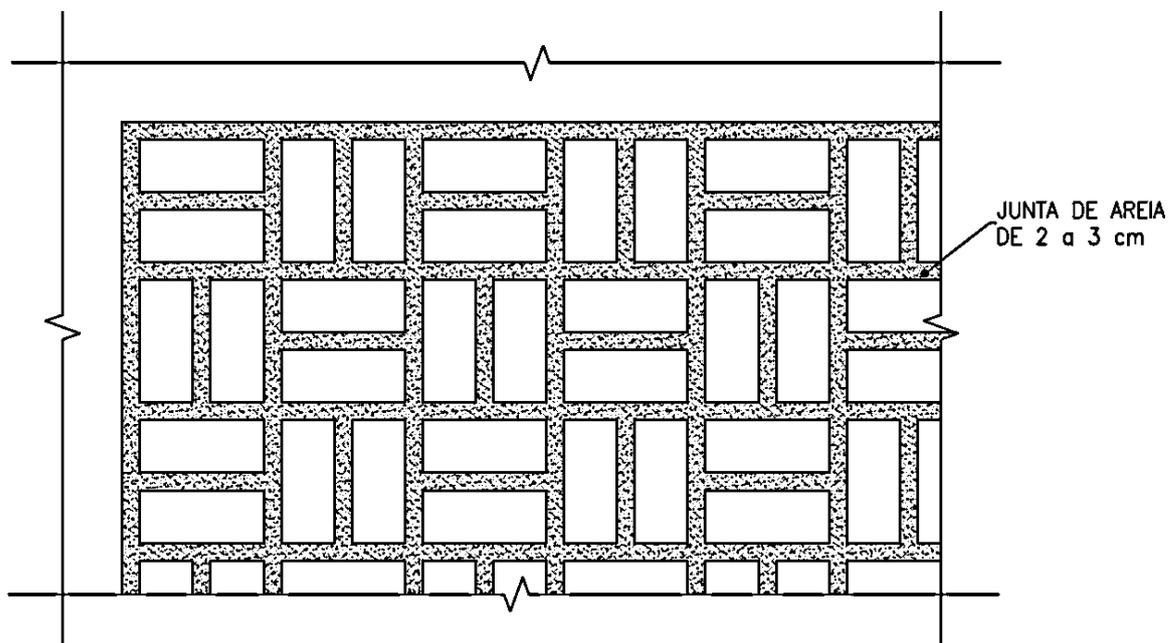
4.3 Dimensionamento do Leito de Secagem

Levando em consideração a dificuldade de utilização de caminhões “limpa-fossa” em áreas isoladas urbanas, buscando minimizar a necessidade de operação e simplificar o modelo de tratamento, projetou-se anexo ao módulo de tratamento, um leito de secagem para o lodo, estimando-se o volume de lodo gerado e considerando um tempo de remoção de lodo do leito de 15 dias (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Ao se realizar o balanço de massa, seria possível obter alguns parâmetros, tais como: Carga de sólidos em suspensão (kg/dia), carga de demanda bioquímica de oxigênio (kg/dia), carga de demanda química de oxigênio (kg/dia), produção de lodo fresco e seco, dentre outros. No entanto, esse balanço apresenta estimativa satisfatória quando existe mais de um método de tratamento no sistema e, levando em conta somente o biodigestor, as estimativas não seriam razoáveis. Por esse motivo, para calcular a quantidade de Lodo gerado no processo, utilizou-se como referencial o disposto na Tabela 5.

A camada drenante é constituída de camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem. A camada suporte, normalmente, é constituída de tijolos recozidos, assentados em níveis, com afastamento de 2 a 3 cm, preenchido com areia grossa, como a Figura 15 representa. O meio filtrante é constituído por camada de pedras de granulometrias diferentes e arrumadas, de modo que a camada inferior tenha granulometria maior do que a da camada superior (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Figura 15: Espaçamento e disposição dos tijolos no leito de secagem.



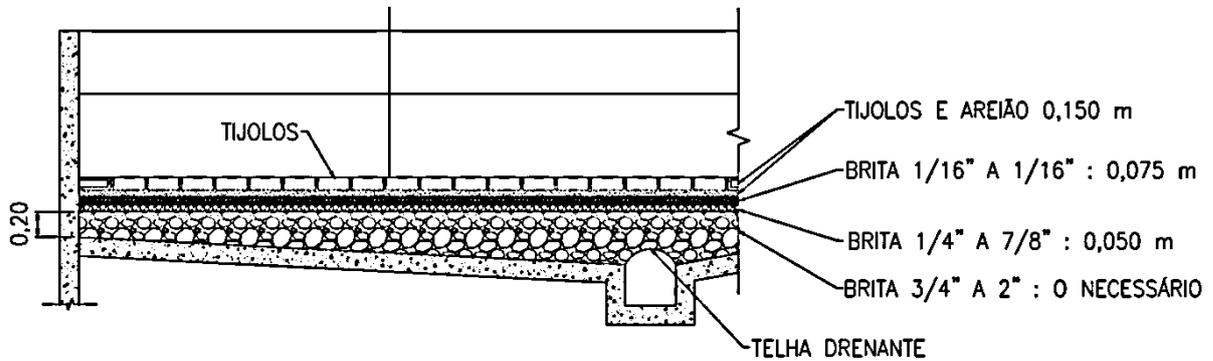
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de JORDÃO E PESSÔA, 2014.

Ainda segundo Jordão e Pessôa (2014), normalmente o meio filtrante é constituído das seguintes camadas:

- Superior; uma camada com espessura de 7,5 a 15,0 cm, constituída de areia com o diâmetro efetivo de 0,3 a 1,2 mm e grau de uniformidade igual ou superior a 5;
- Média: assentada sob a camada de areia, constituída de três camadas de brita, sendo a inferior de pedra de mão ou pedra 4 com espessura mínima de 15 cm (somente como suporte e nivelamento); a intermediária de brita 3 e 4 com espessura de 20 a 30 cm, e a superior de brita 1 e 2, com espessura de 10 a 15 cm;
- Tijolos: sobre a camada de areia deverão ser colocados tijolos recozidos (5 x 7,5 x 15 cm) de 2 a 3 cm tomadas com areia do mesmo tipo da camada superior; a área total de drenagem das juntas não deve ser inferior a 15% da área total do leito de secagem;
- Fundo: o fundo do leito de secagem deve ser plano e impermeável, com inclinação mínima de 1% no sentido do coletor de escoamento líquido drenado;

Os leitos de secagem deverão ter uma folga (borda livre) de 10 a 25 cm, além do nível máximo atingido pelo lodo digerido, como mostra a figura 16, a seguir:

Figura 16: Disposição das camadas do leito de secagem.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de JORDÃO E PESSÔA, 2014.

De posse dessas informações, é possível prever um leito de secagem em formato de “L”, com um metro de largura anexo ao maior lado do biodigestor, e 3 metros de largura anexo ao lado menor do biodigestor. Com isso, a área total seria de aproximadamente de 19m² (1x7+3x4). Como a borda livre deve possuir entre 10 e 25 cm, seria possível fazê-lo com 60 cm de profundidade, sendo 40 cm para o lodo e borda livre de 20 cm.

$$V_{\text{leito}} = A_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} \quad (2)$$

$$V_{\text{leito}} = A_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} = 19 \times 0,40 = 7,6\text{m}^3$$

Esse volume atenderia o volume de lodo retirado do biodigestor, que, como descreve a Tabela 5, seria de 1L/(hab.dia). Logo, para uma população de 500 habitantes em um período de 15 dias, seria retirado um volume de 7500 litros, o equivalente a 7,5m³.

4.4 Estimativa de Biogás gerado

A unidade é projetada com contribuição de 100L/(hab.dia) e, para no máximo, 500 habitantes. Como o traçado da rede de esgoto que levará o efluente ao Biosistema Integrado não faz parte do escopo deste estudo, estimou-se a vazão considerando a média diária de contribuição. Portanto:

$$Q_{\text{med}} = \frac{N \times C}{86400} \quad (3)$$

$$Q_{\text{med}} = \frac{500 \times 100}{86400} = 0,58 \text{L.s}^{-1} = 50,11 \text{m}^3/\text{dia}$$

A estimativa da produção de biogás, é feita levando em consideração a vazão média (Q_{med}) e a produção unitária de biogás ($P_{\text{biogás}}$), adotando 85,6 NLbiogás·m⁻³esgoto, como o valor médio para um cenário típico de produção de biogás (LOBATO et al., 2012). Portanto:

$$Q_{\text{biogás}} = Q_{\text{med}} \times P_{\text{biogás}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{biogás}} = Q_{\text{med}} \times P_{\text{biogás}} = \frac{50,11 \times 85,6}{1000} = 4,29 \text{Nm}^3/\text{dia}$$

Para promover a dessulfuração do biogás e permitir seu uso, diferentes técnicas podem ser utilizadas, a depender da disposição de espaço no local, tecnologia adotada, dentro outros parâmetros.

A oxidação biológica, a partir da microaeração, apresenta grande potencial de aplicação, principalmente, por ser uma técnica com baixo custo de operação e não necessitar do emprego de produtos químicos, além de permitir a operação do sistema em temperatura e pressão ambientes. A microaeração ou micro-oxigenação consiste na injeção de pequenas quantidades de oxigênio (O₂) em reatores anaeróbios, usualmente a partir do ar atmosférico (ABES, 2021).

- Produção unitária de biogás* ($P_{\text{biogás}}$): 85,6 NLbiogás·m⁻³esgoto
- Concentração média de H₂S no biogás (CH₂S): 1.500 ppm_v (2,09 g·m⁻³)
- Massa Molar de H₂S (MM_{H₂S}): 34g/mol

- Massa Molar de O₂ (MM_{O2}): 32g/mol
- Concentração média de O₂ no ar (C_{O2}): 21%
- Condições de pressão e temperatura: 1 atm e 25 °C

Nota:

*Valor médio para um cenário típico de produção de biogás (Lobato et al., 2012).

Cálculo da vazão média de esgoto bruto:

$$Q_{med} = 50,11m^3/dia$$

Estimativa da produção de biogás (Q_{biogás}):

$$Q_{biogás} = 4,29Nm^3/dia$$

Cálculo da produção de H₂S (Q_{H2S}):

$$Q_{H2S} = Q_{biogás} \times C_{H2S} \quad (5)$$

$$Q_{H2S} = Q_{biogás} \times C_{H2S} = 4,29 \times 0,0015 = 0,0065L/dia$$

Cálculo da demanda de O₂ para a oxidação parcial de H₂S a SO :

$$\eta_{O2} = 0,5 \times \eta_{H2S} \quad (6)$$

$$\eta_{O2} = 0,5 \times \eta_{H2S} = 0,5 \times 22,1 = 11 \text{ mol/dia}$$

$$m_{O2} = MM_{O2} \times \eta_{O2} \quad (7)$$

$$m_{O2} = MM_{O2} \times \eta_{O2} = 32 \times 11 = 353,3 \text{ g/dia}$$

Cálculo da vazão de O₂ e ar pela equação geral dos gases (Q_{O2} e Q_{ar})

$$Q_{O2} = \frac{\eta_{O2} \times R \times T}{P} \quad (8)$$

$$Q_{O2} = \frac{11 \times 0,082 \times 298}{1} = 269 \text{ L/dia}$$

$$Q_{ar} = \frac{Q_{O_2}}{C_{O_2}} \quad (9)$$

$$Q_{ar} = \frac{269}{0,21} = 1281 \text{ L/dia}$$

Cálculo das relações Q_{O_2}/Q_{med} e Q_{ar}/Q_{med} :

$$\frac{Q_{O_2}}{Q_{med}} = \frac{269}{50110} = 0,0054 \text{ L}_{O_2} \cdot \text{L}^{-1} \text{alimentação}$$

São necessários 0,0054L de O_2 para cada litro de esgoto para promover a remoção de H_2S do biogás

$$\frac{Q_{ar}}{Q_{med}} = \frac{1281}{50110} = 0,0256 \text{ L}_{ar} \cdot \text{L}^{-1} \text{alimentação}$$

São necessários 0,0256L de ar atmosférico para cada litro de esgoto para promover a remoção de H_2S do biogás

A relação anterior, permite comparar o volume de O_2 e de ar atmosférico necessários para promover a dessulfuração do biogás, o que infere constatar que é necessário um volume maior de ar atmosférico do que de O_2 , porém a escolha deve ser feita em relação ao custo operacional, tendo em vista que o O_2 é financeiramente menos viável.

Outra técnica de dessulfuração, e mais indicada pela praticidade e capacidade de remoção de umidade e H_2S , a adsorção apresenta grande potencial de aplicação em sistemas de conversão de energia, principalmente, por ser uma técnica simplificada e possibilitar a remoção seletiva do H_2S com elevadas eficiências. A adsorção refere-se ao processo de transferência de massa entre substâncias (adsorvato) existentes em fluidos líquidos ou gasosos e superfícies sólidas (adsorvente). As moléculas entram em contato com a superfície de um adsorvente e se ligam via forças moleculares. Durante o processo de dessulfuração em coluna de leito fixo, as concentrações de H_2S na fase gasosa (biogás) e na fase sólida (adsorvente) variam com o tempo e com a posição no leito (ABES, 2021).

Os adsorventes (geralmente carvão mineral) considerados para este cálculo foram resíduos da siderurgia, que possuem alta eficiência com valor de mercado mais acessível. SANTOS (2018), dispôs em seus estudos, dados referentes a este tipo de tecnologia.

Dados:

- Produção unitária de biogás* ($P_{\text{biogás}}$): $85,6 \text{ NLbiogás} \cdot \text{m}^{-3} \text{ esgoto}$
- Capacidade de adsorção do adsorvente** ($q_{\text{adsorvente}}$): $0,011 \text{ kgH}_2\text{S} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ adsorvente}$
- Densidade aparente do adsorvente (ρ): $590 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Velocidade superficial do gás*** (v_g): $3,1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ($2.678,4 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$)
- Concentração média de H_2S no biogás (CH_2S): 1.500 ppmv ($2,09 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$)
- Tempo para substituição do adsorvente: 360 dias
- Condições de pressão e temperatura: 1 atm e $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Notas:

*Valor médio para um cenário típico de produção de biogás (Lobato et al., 2012).

**Adsorvente produzido a partir de resíduo da siderurgia (Santos, 2018).

***Faixa de valores típicos de velocidade superficial do gás: carvão ativado: 5 a $50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (US, 2001); esponja de ferro: 1 a $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (ANEROUSIS E WHITMAN, 1985; ZICARI, 2003).

Como demonstrado em Eq. (3), a vazão média de esgoto bruto é:

$$Q_{\text{med}} = 0,58 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} = 50,11 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A estimativa da produção de biogás segue os preceitos da Eq. (4):

$$Q_{\text{biogás}} = 4,29 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

Determinação da carga de H_2S a ser tratada ($L_{\text{H}_2\text{S}}$):

$$L_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{C_{\text{H}_2\text{S}} \times Q_{\text{biogás}}}{1000} \quad (10)$$

$$L_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{2,09 \times 4,29}{1000} = 0,009 \text{ Kg}/\text{dia}$$

A massa de adsorvente necessária é determinada com base na capacidade de adsorção do material, definida pelo fabricante ou através de ensaios experimentais. O tempo para a troca ou regeneração do adsorvente também deve ser considerado no cálculo. Considerou-se um total

de 3 regenerações (SANTOS, 2018), sendo o tempo (t) entre regenerações de 90 dias. Dessa forma a massa de adsorvente poderá ser usada por 4 vezes, totalizando 360 dias para troca do material.

Determinação da massa de adsorvente necessária para a remoção da carga de H₂S afluyente (M_{adsorvente}):

$$M_{\text{adsorvente}} = \frac{L_{\text{H}_2\text{S}} \times t}{q_{\text{adsorvente}}} \quad (11)$$

$$M_{\text{adsorvente}} = \frac{0,0009 \times 90}{0,011} = 73,63 \text{ Kg}$$

Determinação do volume do leito de adsorção (V_{adsorvente}):

$$V_{\text{adsorvente}} = \frac{M_{\text{adsorvente}}}{\rho} \quad (12)$$

$$V_{\text{adsorvente}} = \frac{73,63}{590} = 0,125 \text{ m}^3$$

A NBR 12209/2011 estabelece que a altura do leito de adsorção deve, preferencialmente, estar entre 0,30 e 1,20m. Logo, serão adotados dois leitos com alturas de 1,15m, somando uma altura útil (H) total de 2,30m.

Determinação da área superficial da coluna de adsorção (A_s):

$$A_s = \frac{V_{\text{adsorvente}}}{H} \quad (13)$$

$$A_s = \frac{0,25}{2,30} = 0,054 \text{ m}^2$$

Determinação do diâmetro da coluna de adsorção (D):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A_s}{\pi}} \quad (14)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,054}{\pi}} = 0,26 \text{ m}$$

Onde não existe a possibilidade de aproveitamento do biogás, é necessário prever outro tipo de direcionamento a este subproduto, como a combustão em queimadores, por exemplo. Queimadores são componentes que promovem a destruição dos compostos presentes em um gás por meio do processo de combustão. Sendo amplamente utilizados na indústria, os queimadores são indispensáveis em estações de tratamento de esgoto (ETE) que produzem biogás. Isso porque a combustão direta do biogás em queimadores minimiza as emissões de gases tóxicos e odoríferos presentes em sua composição, como, por exemplo, o sulfeto de hidrogênio (H₂S). Adicionalmente, a queima do biogás mitiga as emissões de metano (CH₄), principal constituinte do biogás, reduzindo, conseqüentemente, as emissões de gases indutores de efeito estufa associadas ao processo anaeróbico de tratamento do esgoto. Destaca-se ainda que durante a queima do biogás, o CH₄, um gás altamente inflamável, é quimicamente convertido em compostos mais estáveis, e, portanto, tal prática reduz os riscos operacionais associados com explosões (ABES, 2021).

Para este estudo, como o dimensionamento é todo feito priorizando métodos que necessitam de pouca operacionalização, seria recomendável promover a dessulfuração através de colunas de adsorção, substituindo o adsorvente quando o mesmo perder as propriedades, após o tempo estabelecido no dimensionamento.

4.5 Dimensionamento do Sistema Alagado Construído (SAC)

Para a continuação do tratamento do esgoto, será utilizado após o biodigestor, um Sistema Alagado Construído (SAC), composto de uma zona de raízes de plantas aquáticas que degradam a carga orgânica. Importante destacar, nesse processo, um volume adicional de água gerado por escoamento superficial e, em contrapartida, a diminuição do volume de água causada por evapotranspiração. Davis (1995) elabora uma equação para dimensionamento do SAC:

$$S = Q + R + I - O - E T \quad (15)$$

S = Armazenamento

Q = fluxo superficial, incluindo águas residuais

R = contribuição da chuva

I = infiltração de rede (infiltração menos exfiltração)

O = escoamento superficial

ET = perda por evapotranspiração

A Equação anterior pode ser usada para calcular o volume de água para intervalos diários, mensais ou anuais. Balanços hídricos detalhados podem ser preparados com dados de monitoramento específicos do local. Se uma grande variação sazonal é esperada, os dados mensais são essenciais.

Uma série de fatores podem ser usados para manipular o volume de água:

- As taxas de evapotranspiração podem ser alteradas por sombreamento, quebra-ventos e a seleção e manejo da vegetação ao redor do leito;
- A contribuição da chuva depende da época do ano;
- A capacidade de armazenamento pode ser ajustada dependendo da infiltração do material usado;

As taxas de precipitação, em Maricá/RJ, pode ser extraída da tabela 10, tomada a partir da interpretação do Gráfico 1:

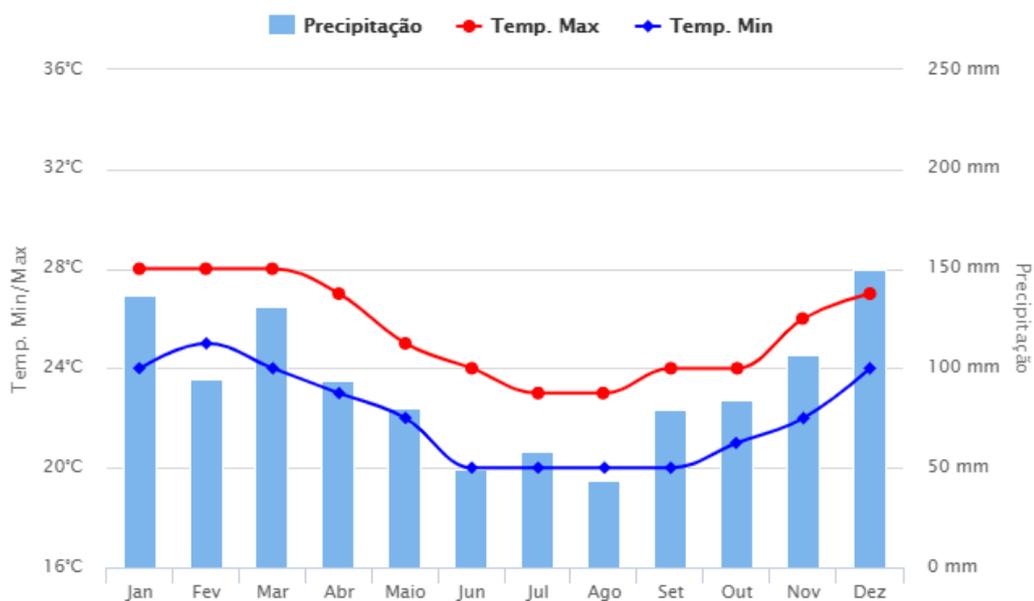


Gráfico 1: Precipitação e Temperatura em Maricá ao decorrer do ano. Fonte: Climatempo, 2021.

Os dados apresentados na Gráfico 1 demonstram o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados. Na tabela a seguir é feita a compatibilização destes dados:

Tabela 10 - Temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao decorrer do ano.

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	24°	28°	137
Fevereiro	25°	28°	95
Março	24°	28°	131
Abril	23°	27°	94
Maio	22°	25°	80
Junho	20°	24°	49
Julho	20°	23°	58
Agosto	20°	23°	44
Setembro	20°	24°	79
Outubro	21°	24°	84
Novembro	22°	26°	107
Dezembro	24°	27°	150

Fonte: Climatempo, 2021.

A Tabela 10, demonstra que a precipitação, em Maricá/RJ, atinge os maiores valores em Dezembro, com taxa média de 150 mm. Ou seja, para todo mês chove cerca de 150L/m², o que é equivalente a 5L/(m².dia) de média. A temperatura média anual (média entre as mínimas e máximas de cada mês) é de 23,8°C.

Apesar de descrito no item 2.2.5, uma área de 2m² por habitante, será previsto um SAC menor, haja vista que a principal função da construção dessa unidade, neste caso, será a utilização das plantas aquáticas como biofertilizante, pois a DBO que chega no SAC já não é tão elevada devido aos tratamentos anteriores. Diante disso, é possível pensar em um SAC, de profundidade aproximada de 0,80 metros, cujo volume consiga deter o efluente e a água de escoamento superficial por um dia para, posteriormente, passar adiante visando a irrigação de um canteiro cultivado. O cálculo dos parâmetros necessários para definição do volume do SAC é descrito a seguir:

Fluxo superficial, incluindo águas residuais, é o mesmo que o descrito em Eq. (3):

$$Q_{med} = 50,11\text{m}^3/\text{dia}$$

Contribuição da chuva:

$$R = p_{med} \times A_{SAC} \quad (16)$$

$$R = 0,005 \times A_{SAC}$$

Infiltração de rede:

O sistema não permitirá infiltração nem exfiltração, absorverá o efluente proveniente do biodigestor e do leito de secagem e o encaminhará para o canteiro cultivado.

$$I = 0$$

Escoamento superficial:

O SAC absorve a água da chuva que precipita sobre o biodigestor e sobre o leito de secagem.

$$O = p_{med} \times (A_{biodigestor} + A_{leito}) \quad (17)$$

$$O = 5 \times (21 + 19) = 200\text{L}/\text{dia} = 0,2 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$$

Onde p_{med} é a precipitação média.

Perda por evapotranspiração:

Para este cálculo, não será considerada a transpiração específica da espécie das plantas do SAC, pois a escolha da espécie das mesmas será abordada mais à frente e é particular a cada caso de aplicação, principalmente no que diz respeito à disponibilidades próximo ao local de aplicação. Por esse motivo, será utilizado o método de THORNTHWAITE(1948), que propõe, de forma simples e precisa, uma estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) mensal de um gramado como um elemento climatológico. Desse modo, ETP é tida como igual à "chuva ideal" para que uma região apresente equilíbrio hídrico (sem falta nem excesso de água) durante certo período. Thornthwaite considerou balanço hídrico de bacias hidrográficas, medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetros, e apenas a temperatura do ar como variável independente. A evapotranspiração potencial média mensal padrão (ETPp, mm.mês) para um mês de 30 dias, e cada dia tem 12 horas de fotoperíodo, é descrita pelas equações:

$$ETP_p = 16 \left(10 \frac{T_i}{I}\right)^a \quad \text{para } T_i > 0^\circ\text{C} \quad (18)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (19)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \times T_i)^{1,514} \quad \text{para } T_i > 0^\circ\text{C} \quad (20)$$

Onde:

T_i = temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$) – JAN = 26°C ; FEV = $26,5^\circ\text{C}$; MAR = 26°C ; ABR = 25°C ; MAI = $23,5^\circ\text{C}$; JUN = 22°C ; JUL = $21,5^\circ\text{C}$; AGO = $21,5^\circ\text{C}$; SET = 22°C ; OUT = $22,5^\circ\text{C}$; NOV = 24°C ; DEZ = $25,5^\circ\text{C}$.

I = índice de calor da região (média climatológica).

i = mês do ano ($i = 1$, jan; $i = 2$, fev; etc).

Portanto,

Cálculo do índice I :

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \times T_i)^{1,514} = (0,2 \times 26)^{1,514} + (0,2 \times 26,5)^{1,514} + \dots + (0,2 \times 25,5)^{1,514}$$

$$I = 12,135 + 12,490 + \dots + 11,783 = 127,936$$

Cálculo de a :

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times (127,936)^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times (127,936)^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times 127,936 + 0,49239$$

$$a = 1,41345 - 1,26194 + 2,29159 + 0,49239 = 2,935$$

Cálculo da ETP_p :

$$ETP_p = 16 \left(10 \frac{T_i}{I} \right)^a$$

$$ETP_{pJAN} = 16 \left(10 \frac{26}{127,936} \right)^{2,935} = 128,29 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pFEV} = 16 \left(10 \frac{26,5}{127,936} \right)^{2,935} = 135,67 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pMAR} = 16 \left(10 \frac{26}{127,936} \right)^{2,935} = 128,29 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pABR} = 16 \left(10 \frac{25}{127,936} \right)^{2,935} = 114,34 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pMAI} = 16 \left(10 \frac{23,5}{127,936} \right)^{2,935} = 95,35 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pJUN} = 16 \left(10 \frac{22}{127,936} \right)^{2,935} = 78,56 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pJUL} = 16 \left(10 \frac{21,5}{127,936} \right)^{2,935} = 73,44 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pAGO} = 16 \left(10 \frac{21,5}{127,936} \right)^{2,935} = 73,44 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pSET} = 16 \left(10 \frac{22}{127,936} \right)^{2,935} = 78,56 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pOUT} = 16 \left(10 \frac{22,5}{127,936} \right)^{2,935} = 83,92 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pNOV} = 16 \left(10 \frac{24}{127,936} \right)^{2,935} = 101,43 \text{ mm.mês}^{-1}$$

$$ETP_{pDEZ} = 16 \left(10 \frac{25,5}{127,936} \right)^{2,935} = 121,18 \text{ mm.mês}^{-1}$$

Logo, Fevereiro é o mês que apresenta maior valor de evapotranspiração potencial média mensal (ETP_p), com $135,67 \text{ mm.mês}^{-1}$ e, conseqüentemente, vai apresentar maior valor de evapotranspiração potencial (ETP). Entretanto, a fórmula de Thornthwaite estima ETP_p para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias. Para estimar a evapotranspiração potencial mensal (ETP , mm.mês^{-1}) para um mês de ND dias, e fotoperíodo médio mensal N, há necessidade de se proceder o cálculo com o ajuste de ETP_p , através do fator de correção CORR.

$$ETP = ETP_p \times CORR \quad (21)$$

$$CORR = \frac{N \times ND}{12 \times 30} \quad (22)$$

Para o cálculo de CORR, a UNESCO (1982) criou uma tabela baseada no método de Thornthwaite, disponibilizando os valores de CORR para Latitudes variando de 5°C em 5°C . A interpolação para a Latitude média da cidade de Maricá/RJ ($22^\circ 56' \text{ S}$) está descrita na Tabela 11:

Tabela 11- Fator de correção para a latitude da cidade de Maricá/RJ.

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
20S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22° 56'S	1,16	1,01	1,05	0,96	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
25S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18

Fonte: Elaborado pelo autor. Baseado em UNESCO, 1982.

Portanto, para o mês de fevereiro, de acordo com a Eq. (21):

$$ETP = 135,67 \times 1,01 = 137,03 \text{ mm .mês}^{-1} = 4,57 \text{ mm.dia}^{-1}$$

Logo, o volume transpirado pelo SAC, é de: $4,57 \times A_{SAC} = 0,00457 \times A_{SAC} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

A área do SAC (A_{SAC}), considerando uma altura de nível d'água de 0,80m, pode ser calculada a partir da Eq. (15):

$$S = Q + R + I - O - E T$$

$$0,80 \times A_{SAC} = 50 + (0,005 \times A_{SAC}) + 0 - 0,2 - 0,00457 \times A_{SAC}$$

$$0,79957 \times A_{SAC} = 49,8$$

$$A_{SAC} = \frac{49,8}{0,79957} = 62,28 \text{ m}^2$$

Como a largura do biodigestor, somada ao leito de secagem anexo, totaliza 4m, adota-se um comprimento do SAC de:

$$\frac{62,28}{4,00} = 15,57 \text{ m}$$

Conclui-se, então, que em uma condição ideal, o SAC deveria ter, pelo menos, 4 metros de largura por 15,57 metros de comprimento, o que poderia ser minimizado, tendo em vista que a principal intenção nesse caso é o cultivo de plantas para biofertilizantes, como citado anteriormente.

O SAC mais comum é o de fluxo subsuperficial e, por esse motivo, é o adotado para esta pesquisa. Como meio suporte mais comum, se estabelece brita nº 1 e nº 2 na entrada de efluente e nº 3 e nº 4 nas camadas mais acima, como descreve o item 2.2.5.

Diversas plantas aquáticas podem ser utilizadas, dependendo do tipo de fluxo e do meio suporte, dentre elas é possível citar a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*), caniço (*Phragmites*), gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*) e, até mesmo, o aguapé (*Eichhornia*).

Martins (2008) testou a eficiência de diversas configurações de zona de raízes no tratamento de efluentes sanitários. No experimento foram utilizadas a Taboa (*Typha angustifolia*) e o caniço (*Phragmites australis*), configuradas de maneiras diversas em um fluxo contínuo. Dentre as diversas configurações e os diversos parâmetros observados, foi possível inferir que a configuração “Canhão e Taboa” promoveu 90% de remoção de DBO e 74,4% de

remoção de DQO. Por sua vez, a combinação “Taboa e Caniço” obteve as mesmas 90% de remoção de DBO e 99,99% de remoção de coliformes fecais.

Reddy et. al (1989), promoveram testes para verificar a eficiência de macrófitas emergentes e flutuantes. De forma geral, obteve-se uma redução de 88% de DBO e aumento do Oxigênio dissolvido de 2,2mg/L para 6,1mg/L nos frascos de 500ml de efluente sanitário usados como frascos de ensaio. As macrófitas utilizadas foram a arariçoba (*Hydrocotyle*), o aguapé (*Eichhornia*) e o alface d’água (*Pistia*).

4.6 Dimensionamento do Canteiro Cultivado

Após as etapas anteriores, o esgoto já apresenta remoção de DBO suficiente para ser disposto em corpos hídricos, porém como este estudo trata de comunidades urbanas isoladas, é de maior interesse que o afluente seja aproveitado no próprio terreno, cumprindo o preceito da tecnologia de Biosistemas Integrados, onde o tratamento tem caráter continuado e cíclico, ou seja: segue um processo continuado de etapas de tratamento e procura utilizar, na totalidade, os substratos do tratamento de esgotos domésticos.

Ao se considerar que a vazão de entrada de efluentes no biodigestor se aproxima à vazão afluente da zona de raízes, 50000L de água tratada seriam disponibilizadas todos dias nesse processo. Essa água poderia ser usada em agricultura local, para irrigar árvores frutíferas, por exemplo, e gerar alimentos para a comunidade. Para isso, ao se considerar que comunidades urbanas, no Brasil, geralmente são em terrenos íngremes e morros, deve-se considerar árvores que necessitam absorver bastante água para não permitir todo esse volume percorrer em terrenos possivelmente instáveis, como bananeiras, mangueiras, cacauzeiros e árvores de frutapão, por exemplo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Evidencia-se que o Biosistema Integrado, sistema de tratamento majoritariamente utilizado em áreas rurais, pode ser uma boa solução para resolver os problemas relacionados a esgotamento sanitário em comunidades urbanas, onde a ausência de participação do poder público é flagrante e as ligações às redes de esgotamento sanitário não são comuns. Solucionar a questão do esgoto a céu aberto, com um sistema contínuo e sustentável, onde todos os substratos do esgoto possam ser utilizados, contribui para o desenvolvimento da comunidade do ponto de vista alimentício, turístico e profissional, cumprindo o preceito especificado no próprio nome: Integração.

Do ponto de vista alimentício, a água de pós-tratamento, disponibilizada todos os dias, tem a capacidade de regar canteiros cultivados com árvores frutíferas. O biogás gerado também pode ser reutilizado, seja na cozinha de um centro comunitário ou, até mesmo, de uma creche.

Descrito o dimensionamento deste sistema de tratamento para 500 habitantes, em comunidades de Maricá/RJ, pode-se estudar a aplicação em comunidades maiores, buscando situar estes locais em áreas que atendam esse mesmo número de pessoas e criando, a partir dos preceitos estabelecidos nesta pesquisa, uma arquitetura que também possa gerar zonas de convivência, parques, jardins e, conseqüentemente, atrair turismo para esses locais.

Outro aspecto a ser estudado, diz respeito à geração de empregos que a implementação dessa tecnologia pode gerar. A criação de uma cooperativa seria o ideal para operacionalizar o tratamento, manusear o lodo gerado e promover a colheita das árvores frutíferas. A construção de creches ou escolas que aproveitem o biogás, por exemplo, permite a criação de empregos para servidores e professores.

Projetar um modelo padrão, o estabelecimento de premissas para reaproveitamento do gás e a comparação de seu dimensionamento com o proposto pela equação de Busswell, o estudo de outras técnicas de remoção de H_2S que possam baratear ainda mais o processo, a viabilidade da substituição do biodigestor proposto por um tanque séptico e o reaproveitamento do lodo em um biodigestor junto com o lixo comunitário, serão estudados em pesquisas futuras.

Por fim, ficam claros os benefícios que a instalação do BSI pode acarretar, tanto na função mínima de um tratamento de esgotos, que é a remoção da matéria orgânica, quanto do ponto de vista mais importante de todos: Levar dignidade a quem, de forma corriqueira, não recebe, por parte do poder público, as devidas condições de esgotamento sanitário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Coletânea de notas técnicas 1: valoração e gerenciamento de subprodutos gasosos do tratamento do esgoto, v. 1, 2021, 86 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2011. 57 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1999. 74 p.

ANEROUSIS, J. P.; WHITMAN, S. K. Iron Sponge: Still a Top Option for Sour Gas Sweetening. Oil and Gas Journal, v. 18, p. 71-76, 1985.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF: Brasil.

CLIMATEMPO. Site do Climatedpo. Disponível em:<<https://www.climatedpo.com.br/climatologia/309/marica-rj>>. Último acesso em 12/09/2021.

DAVIS, Luise. Handbook of Constructed Wetlands, a guide to creating wetlands for: agricultural, wastewater domestic, wastewater, coal mine drainage, stormwater in the Mid-Atlantic Region , v. 1, p. 30-32, 1995.

IBGE. Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/marica/panorama/>>. Último acesso em 02/08/2021.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2014. 1050 p.

LANDAU, Elena Charlotte; MOURA, Larissa (Ed.). Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais. Brasília: Embrapa, 2016. 975 p.

LOBATO, L. C.; CHERNICHARO, C. A.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. Water Science & Technology, v. 66, n. 12, p. 2745-2753, 2012.

MARTINS, L. L.; PITALUGA, D. P. S.; ALMEIDA, R.A.; Eficiência de espécies vegetais e sentidos de fluxo no tratamento de esgotos sanitários por zona de raízes. Anais do V Congresso de pesquisa, Ensino e Extensão, Campus Samambaia. 2008.

MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A.. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. Journal Of Environmental Management, [s.l.], v. 90, n. 1, p.652-659, jan. 2009. Elsevier BV.

OISC. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/biossistema-de-tratamento-de-esgoto-no-vale-encantado-rio-de-janeiro_5d434de78ff785538982ff4e>. Último acesso em 09/09/2021. 2021.

OISC. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/biossistema-integrado-em-alto-caxixe-espírito-santo_5d35d4628f2e3d10f4db38ab>. Último acesso em 09/09/2021.

OISC. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/tratamento-biologico-de-esgoto-em-comunidades-na-cidade-de-petropolis-rio-de-janeiro_5cb9e5013a41c6725c7bd942>. Último acesso em 09/09/2021.

PNAD. Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2013, volume 33. Rio de Janeiro: Ibge, 2013. 133 p.

REDDY, K, R; D'ANGELO, DEBUSK, T, A. Oxygen transport through aquatic macrophytes: The role in wastewater treatment. *J Environ Qual* 1989; 19: 261-267.

SANEMAR. Companhia de Saneamento de Maricá. 2020

SANTOS, J. M. B. Viabilidade do uso de adsorventes desenvolvidos a partir de resíduos da siderurgia e da mineração de ferro para o beneficiamento de biogás. 2018, 119 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SNIS. Site do Sistema Nacional de Informações sobre Esgoto. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Último acesso em 23/09/2021.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n.1, p. 55-94. 1948.

TONETTI, Adriano Luiz; BRASIL, Ana Lucia; MADRID, F. J. P. L. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Biblioteca/Unicamp, Campinas, SP, 2018.

UNESCO. Mexico City Declaration on Cultural Policies World Conference on Cultural Policies Mexico City, 26 July – 6 August, 1982.

U.S. Army. Corps of Engineers. Engineering and Design: Adsorption design guide. Hawaii, USA: University Press of the Pacific, 2001. 99 p.

WHO/UNICEF. Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment. Geneva: World Health Organization (who) And The United Nations Children's Fund (unicef), 2015. 90 p.

ZICARI, S. M. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow-manure compost. 2003. 132 f. Thesis (Master of science). Faculty of the Graduate School of Cornell University, New York, 2003.