Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS POR BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO – UM ESTUDO DE CASO DE ALDEIA VELHA, SILVA JARDIM, RJ

Érika Rocha Guimarães

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientadores: Monica Pertel
Caio de Teves Inácio

Rio de Janeiro
Julho de 2019

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS POR BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO – UM ESTUDO DE CASO DE ALDEIA VELHA, SILVA JARDIM, RJ

Érika Rocha Guimarães

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Examinada por:

_____

Prof.ª Monica Pertel, D. Sc.

_____

Prof. Caio de Teves Inácio, D. Sc.

_____

Prof.ª Heloisa Teixeira Firmo, D. Sc.

_____

Prof. Renan Finamore Gomes da Silva, D. Sc.

.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO, 2019

Guimarães, Érika Rocha.

Avaliação do Tratamento de Efluentes Domésticos por Bacia de Evapotranspiração – Um Estudo de Caso de Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ / Érika Rocha Guimarães. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica 2019.

xi, 79 p.; il.; 29,7 cm.

Orientadores: Monica Pertel e Caio de Teves Inácio.

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Ambiental, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 63-73.

1. Bacia de Evapotranspiração. 2. Tratamento de Esgoto. 3. Efluente Doméstico. 4. Saneamento.

I. Pertel, Monica *et al*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Engenharia Ambiental. III. Avaliação do Tratamento de Efluentes Domésticos por Bacia de Evapotranspiração – Um Estudo de Caso de Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por tudo. Pelo amor que me ensinaram a ter pela Terra e pela terra, eu os agradeço. Agradeço ao meu irmão, por me desafiar a ser melhor e por comemorar em silêncio as minhas conquistas. Agradeço aos meus primos e tios, por me fazerem saber de onde eu vim. Agradeço à família Capistrano Pita, por ser minha também.

Agradeço aos meus amigos do Pedro II, por serem eternos. Um agradecimento especial ao Guilherme Mapelli, por ser meu irmão de alma. Agradeço aos amigos da UFF, que fizeram um semestre de estudos resultarem em uma grande amizade. Agradeço às amigas da UFRJ, Ana Beatriz Machado, Juliana Brito e Natália Biondo, que fizeram da faculdade um ambiente mais leve e divertido.

Agradeço ao CNPQ, ao ex-presidente Lula e à ex-presidenta Dilma, por incentivarem o ingresso de alunos de colégios públicos ao ensino superior e a intercâmbios acadêmicos, possibilitando experiências que eu demoraria muito a sonhar ter. Agradeço aos amigos que fiz no Programa Ciência sem Fronteiras, incontáveis amigos-irmãos. Agradeço aos amigos do Cepel pela experiência e pelas gargalhadas.

Agradeço aos meus orientadores, Monica Pertel e Caio Teves, por toda ajuda. Agradeço aos companheiros de Aldeia Velha, por me apresentarem à permacultura e me possibilitarem a coleta de amostras. Agradeço à Embrapa, ao LEMA e ao LTA, pela imensa colaboração com as análises das amostras.

E por fim, agradeço ao meu nego, Ivenis Italo Capistrano Pita, por só me fazer bem. Obrigada por me impulsionar a ser melhor e a me encontrar. Você é incrível. Te amo!

“Lá onde a lei

Seja o amor

E usufruir do bom, do mel e do melhor

Seja comum

Pra qualquer um

Seja quem for”

Gilberto Gil e José Domingos de Moraes

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS POR BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO – UM ESTUDO DE CASO DE ALDEIA VELHA, SILVA JARDIM, RJ

Érika Rocha Guimarães

Julho/2019

Orientadores: Monica Pertel e Caio de Teves Inácio

Curso: Engenharia Ambiental

Bacias de Evapotranspiração (BETs) apresentam-se como uma das alternativas para o tratamento de esgoto doméstico em áreas onde não há rede coletora de esgoto e/ou não há tratamento apropriado, podendo evitar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar uma BET localizada no distrito de Aldeia Velha, município de Silva Jardim, RJ nos aspectos: tratamento de efluente, fertilidade de solo e custo de construção. Para a avaliação do tratamento de efluentes, foram feitas coletas de dois pontos de inspeção (PI-1, localizado na camada de brita, e PI-2, localizado na câmara de pneus), onde havia efluente para ser coletado. A partir das análises, verificou-se melhorias dos parâmetros pH, relação DQO/DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato e nitrogênio total Kjeldahl. Para avaliação da fertilidade do solo, foram feitas coletas de solo dentro e no entorno da BET, e os resultados obtidos foram comparados entre si. A partir das análises, verificou-se uma melhoria significativa dos parâmetros: pH, relação Ca:Mg, potássio, fósforo, soma de bases trocáveis (Valor S), capacidade de troca catiônica (Valor T), saturação por bases (Valor V), manganês e zinco. Para avaliação do custo de construção, o custo aproximado estimado de uma BET de alvenaria para uma família de 4 pessoas foi comparado com o custo para coleta de esgoto do distrito, apresentado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim. A partir da comparação, verificou-se que o custo de coleta apresentado pelo plano é suficiente para a construção de 3051 unidades para famílias de 4 pessoas. Desta forma, a BET do presente estudo é uma possível solução para locais não contemplados por rede coletora e/ou tratamento de esgoto.

Palavras-chave: Bacia de Evapotranspiração, Tratamento de Esgoto, Efluente Doméstico, Saneamento.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Engineer.

EVALUATION OF THE TREATMENT OF DOMESTIC EFFLUENT BY EVAPOTRANSPIRATION BEDS – A CASE STUDY OF ALDEIA VELHA, SILVA JARDIM, RJ

Érika Rocha Guimarães

July/2019

Advisors: Monica Pertel and Caio de Teves Inácio

Course: Environmental Engineering

Evapotranspiration beds (BETs) are presented as one of the alternatives for the treatment of domestic sewage in areas where there is no sewage collection system and/or there is no appropriate treatment, preventing negative impacts on the environment and public health. In this way, this aims to evaluate a BET located in the district of Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ, in the aspects of: effluent treatment, soil fertility and implementation cost. In order to evaluate the effluent treatment, two inspection points were analysed (PI-1, located in the gravel layer, and PI-2, located in the tire chamber). From the analyses, the parameters pH, COD / BOD ratio, total coliforms, *Escherichia coli*, orthophosphate, nitrate and Kjeldahl total nitrogen were verified. In order to evaluate soil fertility, soil samples were collected in and around the BET, and the results were compared to each other. From the analyses, a significant improvement of the parameters was observed: pH, Ca:Mg ratio, potassium, phosphorus, sum of exchangeable bases (S value), cation exchange capacity (T value), base saturation, manganese and zinc. In order to evaluate the implementation cost of a masonry BET suitable for 4 persons, the estimated cost was compared to the cost for collect sewage from the district presented by the Municipal Plan of Basic Sanitation of Silva Jardim. From this comparison, it was verified that the collection cost presented by the Municipal plan is sufficient for the construction of 3051 units for families of 4 people. In this way, the BET of this study is a possible solution for sites not covered by the collection network and/or sewage treatment.

Keywords: Evapotranspiration Bed, Wastewater Treatment, Domestic Effluent, Sanitation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 4
2.1. OBJETIVO GERAL 4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO 5
3.2. CONSEQUÊNCIAS DO DESPEJO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM CORPOS HÍDRICOS 11
3.3. TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS..... 13
3.4. SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS 15
3.5. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS 19
4. MATERIAL E METODOLOGIA 35
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 35
4.1.1. DIMENSIONAMENTO UTILIZADO NA ÁREA DE ESTUDO 36
4.1.2. CONSTRUÇÃO DA BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO 37
4.2. ANÁLISE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES 41
4.2.1. COLETA DE AMOSTRAS 41
4.2.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS 43
4.3. ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO 45
4.3.1. COLETA DE AMOSTRAS 46
4.3.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS 46
4.4. ANÁLISE DE CUSTOS 47
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 48
5.1. ANÁLISE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES 48
5.2. ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO 53
5.3. ANÁLISE DE CUSTOS 58
6. CONCLUSÃO 62
7. RECOMENDAÇÕES 63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64
APÊNDICE 1 76
APÊNDICE 2 78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Histórico de internações por doenças de veiculação hídrica no Brasil e em cada região. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 2. Desenho esquemático do funcionamento de uma fossa séptica. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 3. Desenho esquemático de um sumidouro ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 4. Desenho esquemático de vala de infiltração. .. **Error! Bookmark not defined.**
Figura 5. Foto de um exemplo de fossa absorvente..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 6. Desenho esquemático do funcionamento de um Sistema Alagado Construído. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 7. Desenho esquemático do funcionamento de um Reator Anaeróbio Compacto. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 8. Desenho esquemático do funcionamento de um Filtro Anaeróbio..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 9. Desenho esquemático do funcionamento de um Filtro de Areia..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 10. Desenho esquemático do funcionamento de um vermifiltro. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 11. Desenho esquemático do funcionamento de um biodigestor. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 12. Desenho esquemático do funcionamento de um reator anaeróbio compartimentado. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 13. Desenho esquemático de um círculo de bananeiras. 28
Figura 14. Desenho esquemático de uma fossa séptica biodigestora.**Error! Bookmark not defined.**
Figura 15. Desenho esquemático de uma bacia de evapotranspiração (Vista lateral à esquerda e vista frontal à direita). ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 16. Imagem de satélite do terreno onde a BET localiza-se.**Error! Bookmark not defined.**
Figura 17. Foto da BET utilizada no presente estudo (16/07/2018).**Error! Bookmark not defined.**
Figura 18. Etapa inicial finalizada (2015). 38
Figura 19. Câmara de pneus e instalação do PI-2 finalizados (2015). 38
Figura 20. Camada de brita, tela mosqueteiro e instalação dos PIs finalizados (2015). 39
Figura 21. Plantio de mudas (2015). 39

Figura 22. a. Bananeira; b. Cana-do-brejo (31/07/2018). 40
Figura 23. a. Papiro; b. Taioba (31/07/2018)..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 24. Desenho esquemático da BET..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 25. a. Ponto de Inspeção 1 (PI-1); b. Ponto de Inspeção 2 (PI-2); c. Ponto de Inspeção 3 (PI-3), onde a coleta não pode ser feita. 42
Figura 26. Amostra do PI-1 à esquerda e do PI-2 à direita.**Error! Bookmark not defined.**
Figura 27. Extração em Soxhlet para análise de óleos e graxas, realizada no LTA. ... 44
Figura 28. Disposição dos pontos de coleta de solo. ..... **Error! Bookmark not defined.**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias climáticas modeladas para o distrito de Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ. 36
Tabela 2. Resultados das análises dos parâmetros pH, temperatura, cor, DQO, DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato, NTK, sólidos sedimentáveis e óleos e graxas dos efluentes coletados na câmara de pneus (PI-2) e na camada de brita (PI-1), durante as viagens a campo realizadas nas datas 16/07/2018, 23/07/2018 e 30/07/2018..... 49
Tabela 3. Resultados dos cálculos de variação percentual dos parâmetros pH, temperatura, cor, DQO, DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato, NTK, sólidos sedimentáveis e óleos e graxas dos efluentes coletados na camada de brita (PI-1), quando comparados aos da câmara de pneus (PI-2), durante as viagens a campo realizadas nas datas 16/07/2018, 23/07/2018 e 30/07/2018.. 50
Tabela 4. Resultados da análise de fertilidade do solo, representada pelos parâmetros pH H_2O, carbono, nitrogênio, C:N, Al, Ca, Mg, Ca:Mg, sódio, potássio, acidez total, fósforo, Valores S, T e V, Cu, Fe, Mn, Zn, nas amostras coletadas em uniplicata dentro da BET durante a terceira viagem a campo (30/07/2018) e os resultados do cálculo da média destes valores e do desvio padrão. 54
Tabela 5. Resultados da análise de fertilidade do solo, representada pelos parâmetros pH H_2O, carbono, nitrogênio, C:N, Al, Ca, Mg, Ca:Mg, sódio, potássio, acidez total, fósforo, Valores S, T e V, Cu, Fe, Mn, Zn, nas amostras coletadas em uniplicata fora da BET durante a terceira viagem a campo (30/07/2018) e os resultados do cálculo da média destes valores e do desvio padrão. 55
Tabela 6. Estimativa de custo de construção de uma BET para 4 usuários, feita em alvenaria. 60

1. INTRODUÇÃO

Saneamento básico, de acordo com o Art. 3º da Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais. Sendo assim, está relacionado à saúde e bem estar do ser humano, à preservação do meio ambiente e às atividades econômicas desenvolvidas no país.

No Brasil, saneamento básico é um direito garantido pela Constituição Federal, entretanto dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento - SNIS (2017), indicam que, apesar de 83,5% da população brasileira ter acesso à rede de distribuição de água, apenas 52,4% da população é contemplada pela rede coletora de esgoto. Além disso, dados apresentados pela Agência Nacional de Águas – ANA (2017) indicam que apenas 43% da população brasileira tem seu esgoto coletado e tratado; cerca de 18% é contemplado por rede coletora de esgoto, entretanto não há tratamento; outros 12% utilizam solução individual para o tratamento de esgoto; e 27% não possui rede coletora nem tratamento.

Embora o percentual da população brasileira contemplada por tratamento de esgoto ainda se encontre baixo, muitos investimentos tem sido feitos para elevar esse número. De acordo com a Conjuntura apresentada pela ANA (2017), entre 2007 e 2015, cerca de R$30 bilhões foram investidos pelo setor público para o tratamento de esgoto. Além disso, até 2033 serão investidos aproximadamente R$180 bilhões neste seguimento. Estes investimentos objetivam atingir as metas estipuladas pelo Plano Nacional de Saneamento básico (Plansab) até 2030. Entre elas estão: a redução do índice de perdas de água tratada de 41% para 32%; a universalização do abastecimento de água; e a ampliação da rede coletora e do sistema de tratamento de esgotos, contemplando assim 90% dos domicílios do país (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013). De acordo com estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (n.d.), ainda que as metas do Plansab sejam atingidas, os indicadores das áreas rurais ainda permaneceriam abaixo do desejado, com previsão de 62% da população rural contemplada por rede coleta de esgoto. Este estudo indica que a maioria dos investimentos são feitos em áreas urbanas.

A maior parte desses investimentos deverão ser feitos em zonas rurais, pois estas são mais afetadas pela falta de saneamento básico. Segundo o Censo Demográfico realizado pelo IBGE (2010), no Brasil, cerca de 30 milhões de pessoas moram em zonas

rurais, o equivalente a 16% da população do país. Destas, somente 5,1% tem seus esgotos coletados pela rede, 2,7% utilizam fossa séptica ligada à rede coletora e 23,5% utilizam fossa séptica sem ligação com a rede coletora. Outros 68,7% lançam seus dejetos em cursos d'água ou no solo a céu aberto. Devido à inexistência de rede coletora de esgoto, associada às grandes distâncias entre os domicílios em zonas rurais, muitas famílias acabam por recorrer a outras soluções para o tratamento de seus dejetos, estando suscetíveis a não atender às condições mínimas para lançamento exigidos pela legislação e podendo acarretar danos à saúde da população e ao meio ambiente.

A utilização de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados tem se mostrado como uma alternativa viável para zonas rurais não contempladas pela rede coletora de esgotos e/ou pelo tratamento dos mesmos. Grande parte das residências rurais apresentam segregação de água negra, composta basicamente por efluente da bacia sanitária, e água cinza, proveniente de chuveiros, pias, tanques e máquinas de lavar roupa (REBÊLO, 2011; PIRES, 2012). A segregação dos efluentes como descrito acima permite uma variedade maior de soluções em tratamento de esgoto, além de aumentar a eficiência da remoção de nutrientes e da reciclagem de água (OTTERPOHL, 2001). Para isso, é importante enfatizar que alternativas de sistemas de tratamento de esgotos domésticos devem ser compatíveis com a realidade do local, propondo a utilização de materiais de fácil acesso, infraestrutura de simples construção e manutenção, podendo ser erguidos e operados por mão de obra não especializada ou, até mesmo, pelos próprios usuários (PIRES, 2012).

Bacias ou Tanques de Evapotranspiração (BETs ou TEvaps, respectivamente) apresentam-se como uma das alternativas para o tratamento de esgoto doméstico em áreas onde não há rede coletora de esgoto e/ou não há tratamento apropriado, sendo uma possível solução para zonas rurais do Brasil. Ainda pouco difundidas no país, as BETs propõem o tratamento de águas fecais em apenas um tanque estanque, através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, mineralização e aproveitamento dos nutrientes pelas raízes das plantas e evaporação da água pelas folhas e diretamente pelo solo. Criada pelo permacultor americano Tom Watson, a BET é um sistema fechado e, desde que bem dimensionada, construída e manejada, possibilita o tratamento da água negra, evitando a contaminação do solo e de corpos hídricos (EMATER-MG, n.d.).

Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar uma BET localizada no distrito de Aldeia Velha, Silva Jardim-RJ, sob as óticas da alteração do efluente dentro da bacia, da melhoria do solo em comparação com o solo ao redor e da análise de seu custo de

construção. Este tema foi escolhido após a participação da autora no curso de saneamento ecológico ofertado pela Associação de Permacultores da Mata Atlântica (APEMA) em 2017. Durante este curso, verificou-se a aceitação da BET por parte da população de Aldeia Velha, visto que apenas na Rua Luiz Augusto Victer existem três casas com este sistema de tratamento de esgoto. A BET do presente estudo foi escolhida, pois, entre as três unidades existentes, esta era utilizada com mais frequência e provavelmente teria o maior nível de efluente em seu interior para a realização da coleta.

Este trabalho é dividido em oito capítulos, sendo este primeiro, introdutório; o segundo capítulo corresponde aos objetivos; no Capítulo 3 é apresentada a revisão bibliográfica; o quarto capítulo detalha a metodologia utilizada; o Capítulo 5 traz os resultados obtidos; no Capítulo 6 são feitas conclusões; no Capítulo 7 são apresentadas as recomendações para estudos futuros; e por último, o Capítulo 8 expõe as referências bibliográficas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar experimentalmente o tratamento de esgoto doméstico por meio de bacia de evapotranspiração.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para este trabalho foram:

- Analisar os efeitos do tratamento que cada camada da Bacia de Evapotranspiração gera para o efluente em seu interior;
- Verificar a melhoria, se houver, da fertilidade solo da Bacia de Evapotranspiração;
- Avaliar a viabilidade econômica da implementação de Bacias de Evapotranspiração como tratamento de esgoto doméstico;
- Verificar a possibilidade de aplicação de Bacia de Evapotranspiração como uma solução para locais não contemplados por rede coletora e/ou tratamento de esgoto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, o esgoto doméstico será caracterizado, de acordo com parâmetros físicos, químicos e biológicos; serão apresentadas as consequências do despejo irregular dos mesmos em corpos hídricos à luz do meio ambiente, da saúde pública e da economia; e serão explorados diversos tipos de tratamentos compatíveis com zonas rurais.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Segundo a ABNT NBR 9648/1986, entende-se por esgoto doméstico o efluente líquido resultante de atividades de higiene e necessidades fisiológicas humanas. Suas características quantitativas e qualitativas são função do uso ao qual a água foi destinada. Estes usos podem variar de acordo com os hábitos da população, clima e situação socioeconômica do local.

Em geral, quanto maior o consumo de água de uma população, maior é a quantidade de esgoto por ela gerada. A razão destes dois volumes (volume de esgoto/volume de água) determina o coeficiente de retorno, podendo variar de 60% a 100%. Usualmente, considera-se que o volume de esgoto doméstico gerado corresponde a 80% da água consumida (VON SPERLING, 2016).

Do ponto de vista qualitativo, o esgoto doméstico contém cerca de 99,9% de água, sendo os demais 0,1% compostos por microrganismos, sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos. Esta pequena fração é responsável pela necessidade de tratamento do esgoto doméstico (VON SPERLING, 2016).

Segundo Nuvolari (2003), esgotos domésticos são compostos por:

- Água;
- Sabões e detergentes;
- Gorduras;
- Mucos e células de descamação da pele;
- Fibras vegetais e animais;
- Ureia, amoníaco e ácido úrico;
- Cloreto de sódio;
- Fosfatos;
- Sulfatos;

- Carbonatos;
- Vermes, bactérias, vírus, leveduras, entre outros;
- Cabelos, areia, plásticos, sementes, entre outros.

A caracterização do esgoto é realizada por meio da determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Estes parâmetros são utilizados na determinação do caráter poluidor do esgoto, sendo cruciais para o tratamento dos mesmos e para o cumprimento de normas ambientais relacionadas ao lançamento destes efluentes em corpos d'água, por exemplo.

As principais características físicas do esgoto doméstico podem ser determinadas através de quatro parâmetros: temperatura, cor, turbidez e odor (VON SPERLING, 2016).

A temperatura do esgoto doméstico pode variar conformes as estações do ano, sendo sempre ligeiramente superior à temperatura da água de abastecimento. A temperatura do esgoto influenciará na solubilidade dos gases no meio, na viscosidade do efluente e na atividade microbiana. Aumentos de temperatura levam ao aumento da taxa de reações biológicas e químicas, diminuem a solubilidade de gases, como o oxigênio dissolvido, e aumentam a liberação de gases, podendo acarretar mau cheiro (ARCHELLA *et al.*, 2003; VON SPERLING, 2016). A temperatura é uma das condições estipuladas pela Resolução CONAMA 430/2011 para o lançamento de efluentes em corpo receptor, devendo ser inferior a 40ºC e não exceder a 3ºC no limite da zona de mistura.

A cor, o odor e a turbidez indicam o estado de decomposição do esgoto. Esgotos mais frescos em geral apresentam coloração ligeiramente cinza, pouco odor e maior turbidez. Esgotos em estágio evoluído de decomposição comumente apresentam coloração cinza escura ou preta; odor fétido, devido ao gás sulfídrico e outros; e menor turbidez (VON SPERLING, 2016).

A cor tem sua fonte em sólidos dissolvidos, enquanto turbidez, em sólidos em suspensão. A cor de origem não industrial pode não apresentar risco à saúde, porém a aplicação de cloro em água com cor devido à alta concentração de matéria orgânica pode gerar substâncias cancerígenas, como o clorofórmio. Já a turbidez de origem natural pode não apresentar risco à saúde. Por outro lado, turbidez de origem antropogênica pode ser resultado da presença de compostos tóxicos e de patógenos.

Além disso, elevados níveis de turbidez podem reduzir a entrada de luz em corpos hídricos, reduzindo a fotossíntese, levando ao consumo do oxigênio dissolvido. O odor tem sua fonte em sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e gases dissolvidos. O odor, por si só, não representa risco à saúde de quem consome água de um corpo hídrico, entretanto é o maior motivo para reclamações de consumidores de água de abastecimento (VON SPERLING, 2016). A Resolução CONAMA 430/2011 não impõe valores máximos de cor, turbidez e odor para despejo de efluentes em corpos hídricos.

De acordo com Von Sperling (2016), as principais características químicas dos esgotos domésticos são: pH, sólidos totais, matéria orgânica, alcalinidade e acidez, óleos e graxas, cloretos, nitrogênio total e fósforo.

O pH indica o caráter ácido ou básico do efluente. Processos de oxidação biológica tendem a reduzir o pH. Valores de pH fora da neutralidade comprometem a vida de organismos aquáticos, como peixes, e microrganismos que atuam no tratamento biológico de esgoto (VON SPERLING, 2016). Para lançamento de esgoto diretamente em corpo receptor, o pH deve estar entre 5 e 9 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 2011). Para reúso de esgoto doméstico em aquicultura, indica-se que o pH esteja entre 6 e 9 (SANTOS *et al.*, 2011). Já para reúso em produção vegetal, indica-se pH entre 6,0 e 6,5, pois valores superiores a esta faixa podem reduzir o crescimento da cultura, pela precipitação de elementos e consequente indisponibilidade dos mesmos (CUBA *et al.*, 2015).

Os sólidos totais podem ser classificados em orgânicos ou inorgânicos, suspensos, dissolvidos ou sedimentáveis (VON SPERLING, 2016). Sólidos impedem a penetração da luz, o que consequentemente reduz a taxa de fotossíntese, resultando na diminuição da disponibilidade de oxigênio dissolvido para a vida aquática (LOUGON *et al*., 2009). A Resolução CONAMA 430/2011 estipula limites para o lançamento de efluentes apenas para os sólidos sedimentáveis. Em mananciais com velocidade de circulação aproximadamente nula, como lagos e lagoas, os sólidos sedimentáveis devem estar virtualmente ausentes. Para demais corpos hídricos, o limite estabelecido pela norma é de 1 ml/l em teste de 1 hora em cone Inmhoff.

A matéria orgânica compreende uma mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos, como proteínas, carboidratos e lipídios. Um dos problemas relacionados a grandes cargas de matéria orgânica em corpos hídricos é que, quando decompostas por microrganismos, o oxigênio dissolvido na água é consumido. Este parâmetro pode

ser determinado por medidas indiretas – DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio medida em 5 dias a 20ºC), DQO (Demanda Química de Oxigênio) ou DBO última (Demanda Última de Oxigênio) - ou por medidas diretas – COT (Carbono Orgânico Total). Em termos de DBO, esgotos domésticos brutos costumam apresentar valores em torno de 300 mg/l (VON SPERLING, 2016). A Resolução CONAMA 430/2011 utiliza a DBO_5 como parâmetro limitante de matéria orgânica, estabelecendo o mínimo 60% de remoção de DBO. Para reúso de esgoto doméstico em aquicultura, indica-se que a DBO esteja entre 40 e 80 mg/l (SANTOS *et al.*, 2011). Já para reúso de esgoto doméstico na produção vegetal, indica-se que a DBO não ultrapasse 30 mg/l para plantas consumidas cozidas e 10 mg/l para plantas consumidas cruas (US EPA, 2004).

A alcalinidade é o indicador da capacidade tampão do meio – resistência a alterações do pH - conferida pela presença de íon hidroxila, carbonatos e bicarbonatos. A alcalinidade está inter-relacionada ao pH e ao teor de gás carbônico. Desta forma, este parâmetro é utilizado, entre outras coisas, para o controle da operação de estações de tratamento de água, visto que a alcalinidade altera reações que geram incrustações e corrosões, bem como a eficiência do processo de coagulação (VON SPERLING, 2016). Este parâmetro encontra-se entre os fatores que mais influenciam o desempenho do tratamento anaeróbio dos esgotos (REBÊLO, 2011). Por outro lado, a acidez é o indicador da capacidade do meio em resistir a alterações do pH geradas por bases. Deve-se principalmente à presença de gás carbônico livre, que ocorre em faixas de pH entre 4,5 e 8,2. Em altos níveis, este parâmetro pode gerar paladar desagradável à água e corrosão em tubulações (VON SPERLING, 2016).

Os óleos e graxas presentes nos esgotos domésticos são provenientes principalmente da produção de alimentos. Compreendem a fração da matéria orgânica solúvel em hexanos (VON SPERLING, 2016). A Resolução CONAMA 430/2011 limita o descarte em corpos hídricos em 20 mg/L para óleos minerais e 50 mg/L para óleos vegetais e gorduras animais. O lançamento de óleos e graxas diretamente na rede coletora, sem o pré-tratamento por caixas de gordura, pode ocasionar formação de escumas, aderência às paredes da tubulação, diminuição das seções úteis e maus odores (ARCHELA *et al.*, 2003).

Os cloretos presentes nos esgotos domésticos são oriundos dos sistemas de abastecimento de água, de atividades humanas como limpeza de sanitários e lavagem de roupas com alvejantes (VON SPERLING, 2016) e da urina humana (REBÊLO, 2011).

Entre os cloretos, o tetracloreto de carbono é o único que apresenta padrão de lançamento em corpos hídricos da Resolução CONAMA 430/2011, sendo este limitado a 1,0 mg/L.

O nitrogênio, imprescindível para o desenvolvimento de microrganismos no tratamento biológico de esgotos e para o crescimento vegetal na agricultura, é subdividido em nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. Quando em altas concentrações em corpos hídricos, o nitrogênio pode provocar o crescimento excessivo de algas, resultando na eutrofização do meio. Sua forma amoniacal, produzida pela decomposição do nitrogênio orgânico (REBÊLO, 2011), é tóxica para os peixes (VON SPERLING, 2016). A Resolução CONAMA 430/2011 utiliza o nitrogênio orgânico juntamente com a amônia para compor o parâmetro Nitrogênio Amoniacal Total ou Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). Este parâmetro encontra-se limitado por esta Resolução para lançamentos de efluentes a 20 mg/L. Para reúso de esgoto doméstico em aquicultura, indica-se que a amônia total seja no máximo 5 mg/l (SANTOS *et al.*, 2011).

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um nutriente essencial para a agricultura e para o desenvolvimento de microrganismos no tratamento biológico de esgotos. Proveniente principalmente do uso de detergentes (NUVOLARI, 2003), este nutriente não se encontra limitado pela Resolução CONAMA 430/2011. Apesar disso, o órgão ambiental competente poderá definir padrões específicos para este nutriente em áreas com histórico de floração de cianobactérias (Resolução CONAMA 430/2011). Para reúso de esgoto doméstico em aquicultura, indica-se que o fósforo total seja no máximo 0,5 mg/l (SANTOS *et al.*, 2011).

As principais características biológicas do esgoto doméstico são os microrganismos: bactérias, protozoários, helmintos, fungos e vírus (VON SPERLING, 2016).

As bactérias são organismos unicelulares procariontes com variadas formas e tamanhos. Nos esgotos, elas podem ser prejudiciais, causando principalmente doenças intestinais, ou benéficas, sendo responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2016). Entre as bactérias mais encontradas no esgoto doméstico, pode-se citar: *Escherichia coli* e *Enterococos*. Em um ranking apresentado pela OMS (2000), as bactérias estão na segunda posição de patogênicos mais causadores de infecções, precedidas pelos helmintos e seguidas pelos vírus. De acordo com a Resolução Conama nº274/2000, ambos são evidências de contaminação fecal quando encontrados em corpos hídricos. Entretanto, a confirmação da contaminação fecal não

indica que esta seja proveniente de fezes humanas, visto que estas bactérias são encontradas também em fezes de outros animais (VON SPERLING, 2005).

Os protozoários são organismos unicelulares procariontes, em sua maioria são aeróbios ou facultativos. São importantes para o controle da quantidade de microrganismos presentes no esgoto, visto que estes se alimentam de bactérias, algas, entre outros (VON SPERLING, 2016). Alguns protozoários presentes nos efluentes domésticos são patogênicos, entre eles: *Giardia lamblia*, conhecida por causar a infecção giardíase (PAULINO *et al*., 2001). De acordo com Von Sperling (2005), cistos de protozoários são removidos em tratamentos de esgoto durante etapas físicas, como sedimentação e filtração.

Os helmintos, popularmente conhecidos como vermes, são organismos pluricelulares de vida livre ou parasitas de plantas e animais. Helmintos parasitas podem penetrar seu hospedeiro passivamente, pela ingestão de água ou alimento contaminado, ou ativamente, pela pele (MUÑOS & FERNANDES, 2013). De acordo com Von Sperling (2005), assim como cistos de protozoários, ovos de helmintos são removidos por mecanismos físicos durante o tratamento de esgoto.

Os fungos são organismos multicelulares aeróbios heterótrofos com grande importância para a decomposição da matéria orgânica (VON SPERLING, 2016). Devido a sua capacidade de resistir a grandes variações de temperatura, pH, umidade e concentração de oxigênio, juntamente com a produção de enzimas extracelulares que facilitam a biodegradação de organopoluentes os fungos tem sido utilizados no tratamento biológico de águas residuárias contendo substâncias persistentes (RODRIGUES, 2006).

Os vírus são organismos parasitas, causadores de doenças e de difícil remoção durante o tratamento de água e esgoto. De acordo com Von Sperling (2016), a concentração destes microrganismos no esgoto doméstico sem tratamento é da ordem de 10^2 a 10^4 organismos em cada 100 ml. A legislação vigente não estabelece limites de concentração de agentes virais para análise de tratamento de esgoto, entretanto, segundo Assis (2016), vírus podem sobreviver ao tratamento secundário de esgotos. Além disso, o estudo indica que não há relação entre presença de coliformes termotolerantes e contaminação por vírus entéricos.

3.2. CONSEQUÊNCIAS DO DESPEJO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM CORPOS HÍDRICOS

Os baixos índices de coleta e tratamento de efluentes domésticos comprometem a qualidade dos corpos hídricos, resultando em impactos negativos à saúde da população e podendo inviabilizar o seu uso a jusante, sobretudo para abastecimento humano. A capacidade de autodepuração do corpo hídrico receptor do efluente doméstico depende, entre outros fatores, da concentração do efluente despejado e das vazões tanto do manancial quanto do efluente, podendo comprometer a utilização a jusante, de acordo com o tipo de uso que se deseja. Desta forma, faz-se necessária a articulação dos setores de recursos hídricos, tendo em vista que a coleta e tratamento de forma adequada melhoram a qualidade da água e promovem a disponibilidade desta para diversos usos e em diferentes locais do mesmo corpo hídrico (SNIRH, 2017).

Além de promover os diversos usos dos corpos hídricos, melhorias no saneamento básico resultam diretamente em progressos na saúde pública, minimizando os casos de doenças de veiculação hídrica. A **Error! Reference source not found.** apresenta a tendência de redução de internações por doenças de veiculação hídrica, como: febre tifoide e paratifoide, cólera, shiguelose, amebíase, diarreia e demais doenças infecciosas do intestino (SNIRH, 2017).

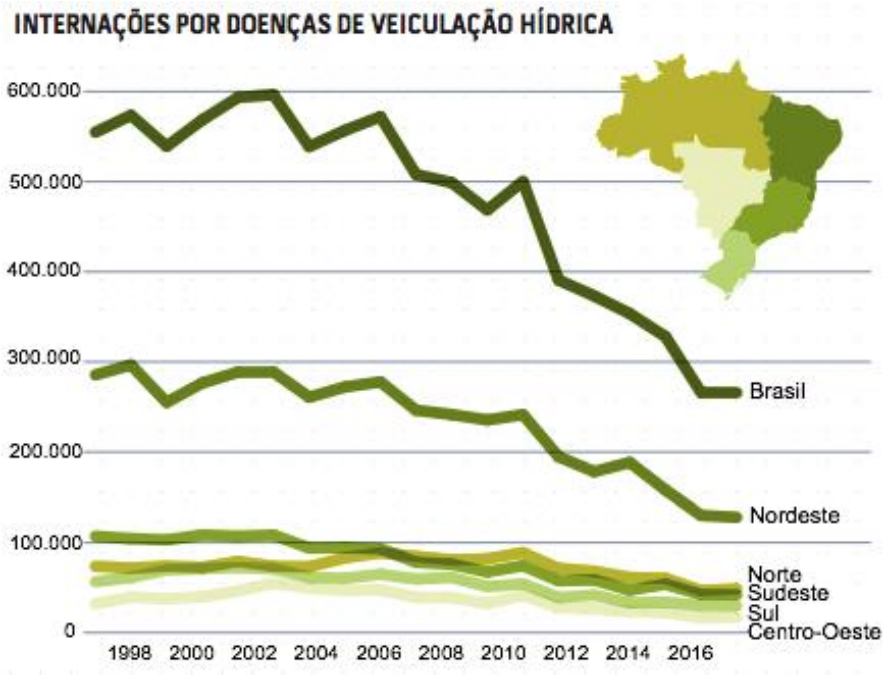

Figura 1. Histórico de internações por doenças de veiculação hídrica no Brasil e em cada região. Fonte: SNIRH (2017, p. 71).

De acordo com estudo apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2015), a deficiência ou inexistência de esgotamento sanitário e de acesso à água potável são a causa de cerca

de 65% das internações hospitalares de crianças com menos de 10 anos. Segundo Guimarães *et al*. (2013), uma das formas de se reverter a precariedade dos sistemas de saúde é investir em saneamento básico, reduzindo assim a incidência de diversas doenças de veiculação hídrica e evitando gastos com estas internações. De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (2018), estima-se que para cada US$ 1,00 investido em saneamento, US$ 6,00 retornam para a sociedade, resultado da diminuição de mortes prematuras, redução de custos com saúde e aumento da produtividade dos trabalhadores. As principais doenças causadas por despejo inadequado de efluentes, suas formas de transmissão e de prevenção são apresentadas pelo Quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Doenças causadas pelo despejo inadequado de efluentes.

Grupo de doenças	**Doenças**	**Transmissão**	**Prevenção**
Feco-oral não bacteriano	- Diarreia por vírus; - Disenteria amebiana; - Giardíase; - Hepatite (tipo B); - Poliomielite.	- Ingestão de organismo patogênico	- Implantar sistema de tratamento de água; - Melhorar instalações sanitárias; - Promover educação sanitária.
Feco-oral bacteriano	- Diarreia e disenteria bacteriana (ex.: cólera); - Febre tifoide e paratifoide.	- Ingestão ou contato com organismo patogênico; - Transmissão interpessoal.	- Implantar sistema de tratamento de água e de esgoto; - Melhorar instalações sanitárias; - Promover educação sanitária.
Helmintos transmitidos pelo solo	- Ancilostomíase; - Ascaridiose; - Tricuríase	- Ingestão ou contato com organismo patogênico	- Evitar o contato da pele com o solo; - Higienizar instalações sanitárias; - Implantar sistema de tratamento de esgoto
Helmintos transmitidos pela água	- Esquistossomose	- Contato da pele com água contaminada pelo	- Combater o hospedeiro transmissor da doença; - Evitar contato com a água contaminada;

		organismo patogênico	- Implantar sistema de tratamento de esgoto; - Melhorar instalações sanitárias
Tênias	- Cisticercose; - Teníase	- Ingestão de carne mal cozida de animais contaminados	- Cozinhar bem as carnes; - Implantar sistema de tratamento de água; - Melhorar instalações sanitárias.
Transmitidas por vetores	- Filariose (elefantíase)	- Picada do inseto contaminado	- Combater insetos transmissores

Fonte: Adaptado de Silva (2014).

No Brasil, cada R$ 1,00 investido em saneamento gera uma redução de R$ 4,00 nos custos com saúde (INSTITUTO TRATA BRASIL, n.d). Em 2013 foram contabilizadas no país cerca de 340 mil internações por infecções gastrintestinais. Se 100% da população tivesse seu efluente doméstico coletado, estima-se que este número cairia para 265 mil internações, aproximadamente. No Sistema Único de Saúde (SUS), o custo diário para cada internação por infecção gastrintestinal é de R$ 355,71. Sendo assim, se 100% da população fosse contemplada por rede coletora de esgoto, o SUS economizaria no mínimo R$ 26,6 milhões por ano.

A maneira mais eficiente de reduzir as incidências destas doenças e, consequentemente, reduzir os gastos com internações é evitando a transmissão. Isto se dá através do tratamento adequado dos efluentes domésticos, impedindo o contato com o homem e com vetores, não poluindo o solo e a água, evitando geração de maus odores e mau aspecto ao local (SILVA, 2014).

Pode-se perceber que investimentos em saneamento básico geram impactos positivos para o meio ambiente, para a saúde pública e para a economia de recursos, proporcionando maior qualidade de vida para a população. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias alternativas e de baixo custo é imprescindível, especialmente para zonas rurais.

3.3. TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS

Em zonas rurais, a implantação de sistemas centralizados de tratamento de esgoto é pouco viável devido ao alto custo de instalação, à baixa densidade demográfica nestas

áreas e à carência de mão de obra especializada para gestão do tratamento. Desta forma, os métodos de tratamento de esgoto doméstico costumam basear-se em soluções descentralizadas.

Soluções descentralizadas de tratamento de esgoto doméstico contribuem para a sustentabilidade do local onde são instaladas e possibilitam o reúso da água e aproveitamento de nutrientes na produção agrícola (METCALF & EDDY, 2003). Além disso, estes sistemas apresentam vantagens nos âmbitos ambiental, social, econômico e operacional.

No âmbito ambiental, os sistemas descentralizados requerem menos insumos e energia durante o processo de construção e operação, reduzem o risco de poluição do solo e de corpos hídricos, e possibilitam o aproveitamento de água e de nutrientes, podendo melhorar as condições ecológicas locais (BUENO, 2017).

No âmbito social, estes sistemas reduzem a transmissão de doenças de veiculação hídrica, promovendo a melhoria da saúde da população local, além de contribuírem para a segurança alimentar, gerada pelo aproveitamento de água e nutrientes na produção de alimentos. De acordo com Tonetti *et al*. (2018), estes sistemas costumam ser bem aceitos pela população local e por entidades de fiscalização, são adaptáveis a diversas culturas e ajudam a compor o paisagismo.

Do ponto de vista econômico, os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico são compactos, apresentam baixo custo de instalação e operação, e podem gerar renda através do reaproveitamento e venda de seus subprodutos, como biogás e adubos, por exemplo (TONETTI *et al*., 2018).

No âmbito operacional, estes sistemas dispensam a construção de redes coletoras de esgoto e de elevatórias, visto que recolhem esgoto de locais próximos e possibilitam a ampliação ao longo do tempo, sendo considerados sistemas bastante flexíveis (BUENO, 2017).

De acordo com Bregnhoj (2005), os aspectos mais relevantes a serem analisados em alternativas de tratamento de esgoto doméstico em zonas rurais são:

- Aspectos culturais: os projetos devem estar de acordo com a cultura e os hábitos de higiene da população local;

- Aspectos tecnológicos: os projetos devem ser simples, possibilitando a construção e manutenção pela população local, porém devem ser robustos o bastante para terem maior eficiência e durabilidade;
- Aspectos socioeconômicos: os projetos devem ser compatíveis com a possibilidade financeira da população local;
- Aspectos institucionais: os projetos devem ter o apoio de órgãos competentes e atender às legislações locais.

3.4. SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS

Existem diversos tipos de tratamento descentralizados de esgoto doméstico, entretanto os tipos mais utilizados em regiões isoladas do Brasil não são os mais eficientes. As fossas sépticas e as fossas absorventes são os métodos mais utilizados no país (IBGE, 2013).

3.4.1. FOSSAS SÉPTICAS

Fossas sépticas são os sistemas de tratamento de esgoto mais utilizados em zonas rurais onde não há coleta de esgoto domiciliar (IBGE, 2010). Estas unidades de tratamento de efluentes domésticos combinam os tratamentos físico e biológico para a estabilização da matéria orgânica. São compostas por uma ou duas câmaras, feitas em alvenaria ou concreto, em formato cilíndrico ou prismática retangular (SILVA, 2014).

O tratamento por fossas sépticas (**Error! Reference source not found.**) consiste na separação de sólidos sedimentáveis, que se deslocam para o fundo do tanque, onde ocorre a digestão anaeróbica da matéria orgânica e o acúmulo de lodo no interior da câmara, seguido da última etapa que consiste na infiltração do efluente no solo. Sobre o acúmulo de lodo na câmara, anualmente, cerca de 90% do lodo acumulado no interior da câmara deve ser coletado por caminhão “limpa-fossa” (LARSEN, 2010). Já sobre a infiltração do efluente no solo, os métodos mais utilizados são sumidouros e valas de infiltração (PERES, 2010). De acordo com Frigo & Salvador (n.d.), fossas sépticas demonstram a remoção de 50 a 60% da DBO do efluente, necessitando de um tratamento complementar. Além disso, estas fossas apresentam baixa remoção de patógenos e de nutrientes.

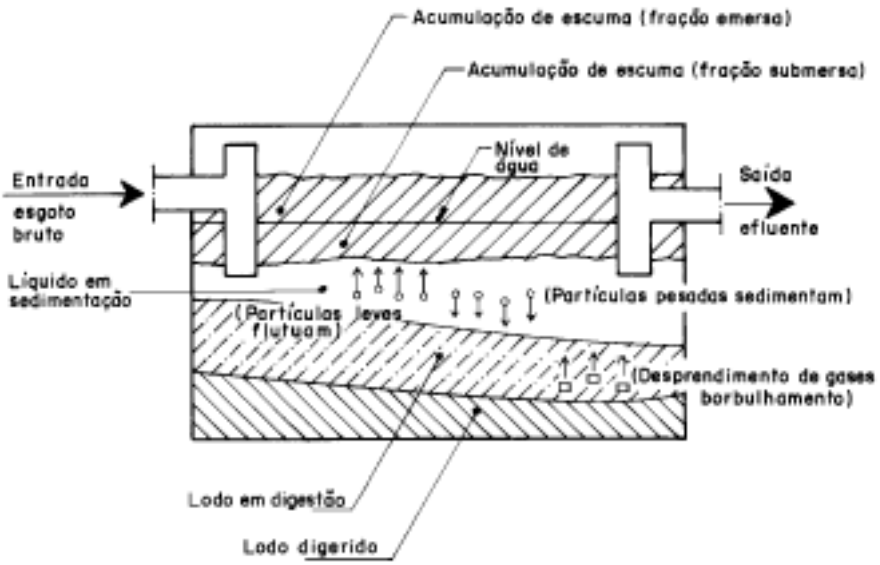

Figura 2. Desenho esquemático do funcionamento de uma fossa séptica. Fonte: ABNT NBR 7229/1993.

Os sumidouros (**Error! Reference source not found.**) são uma das formas de disposição do efluente proveniente da fossa séptica. Eles consistem em poços de infiltração do efluente localizados após o tratamento realizado pela fossa séptica. Estes poços de infiltração podem ser feitos de tijolo furado, anéis de concreto com furos ou com alvenaria com espaços livres para infiltração (SILVA, 2014).

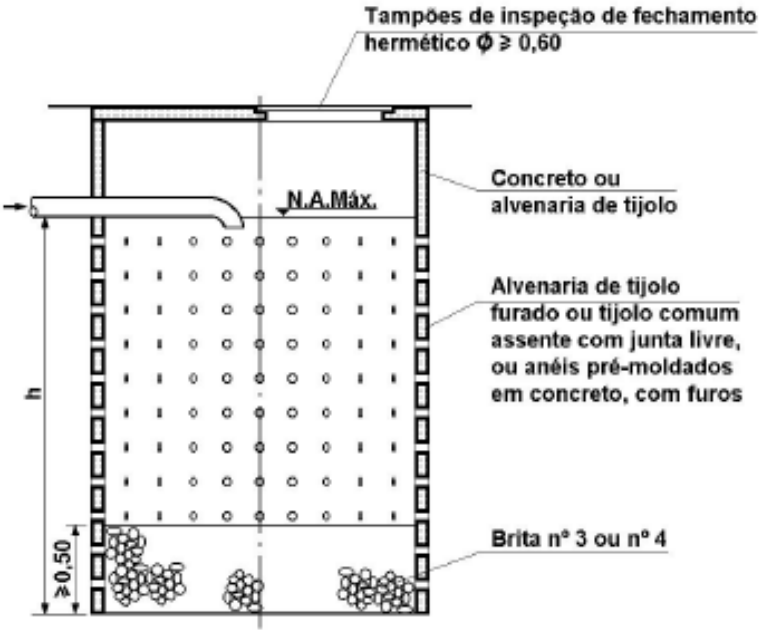

Figura 3. Desenho esquemático de um sumidouro. Fonte: Silva (2014).

Outra forma de disposição final dos efluentes provenientes de fossas sépticas é por valas de infiltração. Valas de infiltração fazem o despejo destes efluentes por meio de tubos perfurados, enterrados em valas escavadas no solo do terreno, envoltos por brita (**Error! Reference source not found.**). Nesta forma de disposição, o efluente da fossa

séptica é distribuído ao longo da vala pelos orifícios feitos no tubo; em seguida, passa pela brita; e, por último, infiltra no solo (Coelho & Duarte, n.d.).

Figura 4. Desenho esquemático de vala de infiltração. Fonte: Silva (2014).

3.4.2. FOSSAS ABSORVENTES

Fossas absorventes ou rudimentares são uma forma de tratamento de esgoto que combina as funções de uma fossa séptica com um sumidouro em um mesmo sistema. Este sistema é composto por apenas um poço sem impermeabilização (**Error! Reference source not found.**) ou com revestimento parcial, onde o esgoto doméstico é despejado sem qualquer pré tratamento. Neste sistema ocorre a separação de sólidos sedimentáveis, que deslocam-se por gravidade para o fundo da fossa absorvente, onde a matéria orgânica é digerida de maneira anaeróbica e o lodo acumula-se. O efluente

deste tratamento infiltra no solo desta mesma câmara, não sendo necessária a construção de sumidouro (TONETTI *et al*., 2018).

Figura 5. Foto de um exemplo de fossa absorvente. Fonte: Colégio Web.

Visto que as fossas absorventes funcionam como uma fossa séptica e um sumidouro na mesma câmara, há um acúmulo maior de sólidos sobre o solo onde ocorre a infiltração do efluente tratado. Este acúmulo de sólidos no interior da câmara reduz a capacidade de infiltração deste solo, gerando a necessidade de retirada de lodo com maior frequência, quando comparada à fossa séptica (FUNASA, 2015).

As fossas absorventes são geralmente construídas sem a avaliação necessária das condições do local de instalação, como análises do solo, a fim de verificar se o mesmo é capaz de infiltrar a quantidade de efluente gerada, ou verificação do nível do lençol freático, com a finalidade de evitar a contaminação da água subterrânea. Além disso, em muitos casos, as fossas absorventes não são mantidas devidamente tampadas, possibilitando a proliferação de vetores e a entrada de água da chuva, por exemplo (TONETTI *et al*., 2018). Devido à estas questões, as fossas absorventes tornam-se pouco eficientes e inseguras, podendo gerar muito impactos. De acordo com Faustino (2007), elas são consideradas as principais responsáveis pela contaminação de lençóis freáticos por coliformes fecais em zonas rurais.

3.5. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONAS RURAIS

Devido à baixa abrangência de serviços de coleta e tratamento de esgoto doméstico em locais isolados e em zonas rurais, muitas tecnologias alternativas vem sendo desenvolvidas pelo mundo. Estas tecnologias buscam melhorar as condições de higiene destas comunidades e da saúde da população. Estas soluções devem ser economicamente viáveis, apresentando baixo custo de instalação e manutenção, sendo construídas com materiais de fácil acesso; devem ser socialmente apropriadas, respeitando a cultura e o conhecimento locais; e ser ambientalmente sustentáveis, compatíveis com o ambiente local e minimizando os impactos ao meio ambiente.

No presente estudo, os seguintes sistemas alternativos de tratamento de esgoto doméstico serão apresentados sucintamente, seguidos da apresentação mais aprofundada do sistema de tratamento que é o objeto desta pesquisa, a Bacia de Evapotranspiração:

- Sistema alagado construído (SAC);
- Reator anaeróbio compacto;
- Filtro anaeróbio;
- Filtro de areia;
- Vermifiltro;
- Biodigestor;
- Reator anaeróbio compartimentado;
- Círculo de bananeiras; e
- Fossa séptica biodigestora.

Diante das diversas tecnologias existentes, a seleção do melhor método de tratamento do esgoto doméstico deve levar em conta a quantidade de pessoas que o sistema irá atender, a área disponível para a instalação, a eficiência na remoção de matéria orgânica, a necessidade e a frequência de remoção de lodo gerado, a frequência de manutenção necessária, o custo de instalação e de manutenção do sistema, a necessidade de pré-tratamento e o tipo de esgoto a ser tratado (águas cinza, águas fecais ou esgoto doméstico não segregado) (TONETTI *et al*., 2018). As definições de águas cinza e águas fecais são:

- Águas cinza: esgoto proveniente de chuveiros, lavatórios, tanques, pias, máquinas de lavar roupa e louça. As águas cinza compõem o maior volume do esgoto gerado em um domicílio e são compostas majoritariamente por água e sabão (GALBIATI, 2009). Águas cinza apresentam elevados teores de sulfatos, matéria orgânica e moderada contaminação fecal (GONÇALVES, 2006). Devido ao alto teor de matéria orgânica e gorduras presentes no efluente de pias de cozinha, alguns autores consideram esta água residuária como água negra (GALBIATI, 2009 apud REBOUÇAS *et al*., 2007).

- Águas fecais: popularmente conhecidas como águas negras, termo o qual será evitado no presente estudo por apresentar conotação racista. Representa esgoto proveniente de bacias sanitárias, composto majoritariamente por água, fezes, urinas e papel higiênico. Águas fecais representam o menor volume dos esgotos domésticos, entretanto contém a maior parte dos nutrientes e patógenos (OTTERPOHL *et al*., 2002). Entre estes nutrientes encontram-se fósforo, potássio e nitrogênio, nutrientes essenciais para a agricultura e na forma ideal para este uso: superfosfato, íons de potássio e uréia. Uma pessoa adulta gera por ano cerca de 400 g de fósforo, 900 g de potássio e 4 kg de nitrogênio em 400 l de urina. Nas fezes, esses números são menores: cerca de 180 g de fósforo, 370 g de potássio e 550 g de nitrogênio (ESREY *et al*., 1998).

3.5.1. SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO

Os Sistemas Alagados Construídos (SACs) (Figura 6), também conhecidos como Sistemas de Zonas de Raízes e internacionalmente chamados *wetlands*, são sistemas de tratamento de águas cinza ou de esgoto doméstico não segregado após uma etapa de pré-tratamento. Para o tratamento de águas cinza, deve haver um pré-tratamento para a separação de gorduras e de sólidos grosseiros, como cabelos. O pré-tratamento da água cinza pode ser realizado por uma caixa de gordura e uma caixa de retenção de sólidos grosseiros. Já para o tratamento de esgoto doméstico não segregado, deve haver uma etapa anterior para remoção de sólidos sedimentáveis que implicariam no entupimento do SAC e na necessidade de troca do material filtrante. Este pré-tratamento

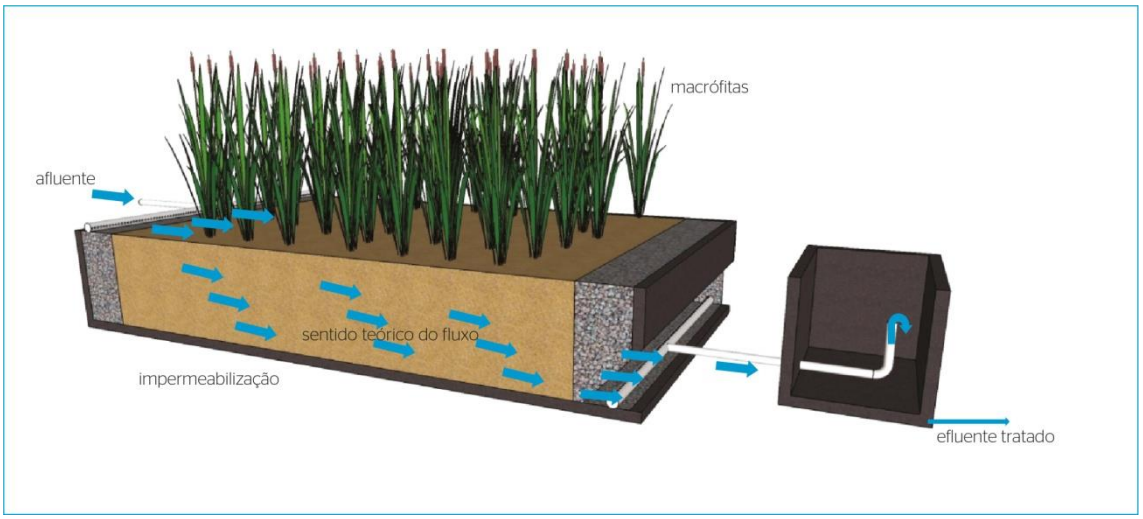

Figura 6. Desenho esquemático do funcionamento de um Sistema Alagado Construído. Fonte: SEZERINO *et al*. (2015).

pode ser realizado por fossa séptica, biodigestor ou reator anaeróbio compartimentado (TONETTI *et al*., 2018).

Os SACs são comumente construídos em formato retangular, escavados no solo e impermeabilizados com alvenaria ou mantas. O fluxo do efluente pode ser vertical ascendente ou horizontal subsuperficial. Em ambos os casos, há quatro regiões de tratamento: uma delas, onde plantas áquaticas (ex. Taboa e papiro) estão localizadas, é responsável pela remoção de matéria orgânica e nutrientes; uma região preenchida com brita nº 3 ou 4, a fim de evitar entupimentos; seguida por uma região preenchida com areia ou brita nº 1 ou 2, onde há a coleta do efluente tratado; e a última região, chamada zona de saída, preenchida novamente com brita nº 3 ou 4, onde a tubulação é responsável por manter o nível do efluente abaixo da superfície, a fim de evitar a proliferação de insetos (SEZERINO *et al*., 2015).

3.5.2. REATOR ANAERÓBIO COMPACTO

Reatores anaeróbios compactos de fluxo ascendentes, bastante conhecidos como reatores UASB (do inglês, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), são sistemas de tratamento de águas fecais ou de esgoto doméstico não segregado, havendo necessidade de pré-tratamento apenas em casos cujo efluente tem alta concentração de gorduras, sendo recomendável a instalação de caixa de gordura precedendo o reator (JORDÃO & PESSOA, 2011).

O reator é composto de uma câmara, onde o esgoto ou água negra adentram pelo fundo e, em um fluxo ascendente, ocorre a formação de lodo e a degradação anaeróbia do

mesmo, reduzindo a concentração de matéria orgânica e formando biogás. Na parte superior desta câmara, há defletores para a separação do biogás e dos sólidos da parte líquida (**Error! Reference source not found.**). Este líquido, dependendo da concentração final de nutrientes e de matéria orgânica, poderão ser direcionados à infiltração no solo - por valas de infiltração, por exemplo - ou direcionados a um filtro de areia, filtro anaeróbio ou SAC (FREITAS, 2012).

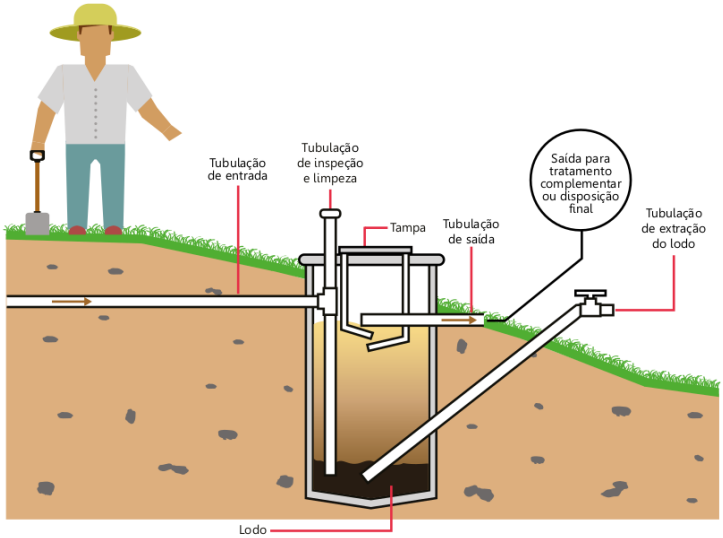

Figura 7. Desenho esquemático do funcionamento de um Reator Anaeróbio Compacto. Fonte: TONETTI *et al*. (2018).

O lodo acumulado no fundo do reator deve ser anualmente retirado, podendo ser diretamente destinado a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou a um aterro por um caminhão limpa-fossa. Uma alternativa mais proveitosa para a destinação do lodo é o reaproveitamento, após o desague, para recuperação de solos degradados, para uso agrícola ou para produção de tijolos, cerâmicas, agregados leves e cimento (TONETTI *et al*., 2018).

3.5.3. FILTRO ANAERÓBIO

Filtros anaeróbios consistem em um tanque de seção circular ou retangular, geralmente de fluxo ascendente, composto por leito fixo submerso, feito de brita, por exemplo, onde, nos interstícios, são formados biofilmes pelas bactérias (Figura 8). Durante o tempo de retenção do efluente no filtro, ocorre sedimentação, movida pela gravidade, e digestão anaeróbia, por meio das bactérias formadoras do biofilme. Filtros anaeróbios são considerados um tratamento primário de efluentes e são capazes de remover apenas 60% da matéria orgânica (TONETTI *et al*., 2018).

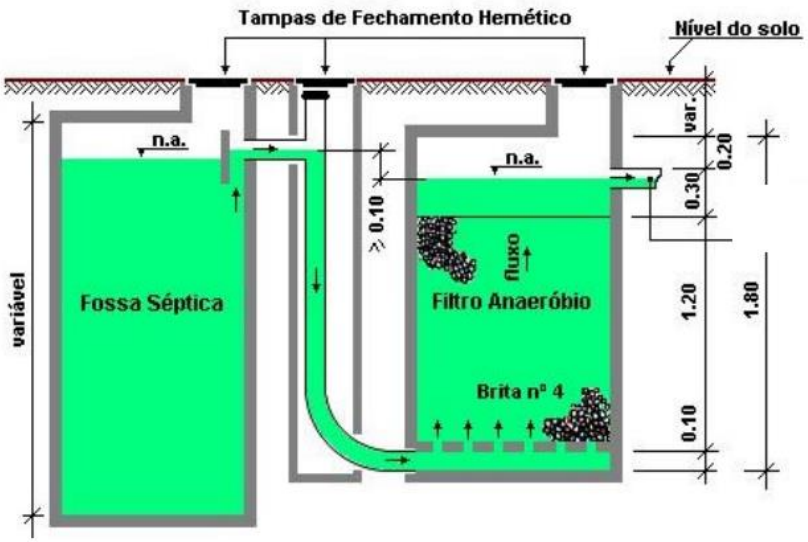

Figura 8. Desenho esquemático do funcionamento de um Filtro Anaeróbio. Fonte: FRIGO & SALVADOR (n.d.)

A fim de evitar colmatação do filtro e melhorar a eficiência do tratamento, usualmente estes são precedidos por uma fossa séptca. O conjunto fossa-filtro resulta em um tratamento com remoção de cerca de 80% da matéria orgânica. Apesar disso, faz-se necessário um tratamento complementar, visto que este conjunto apresenta baixa remoção de nutrientes e patógenos. Este complemento poderá ser realizado por sistemas alagados construídos ou sistemas de infiltração no solo, como valas de infiltração. Assim como em fossas sépticas, em filtros anaeróbios há acúmulo de lodo no fundo e periodicamente precisa ser retirado (FRIGO & SALVADOR, n.d.).

3.5.4. FILTRO DE AREIA

Filtros de areia são sistemas de tratamento de esgoto pré-tratado por fossa séptica ou por filtro anaeróbio. Este sistema é composto de uma câmara, onde o efluente pré-tratado entra por cima, sendo despejado sobre uma placa para distribuição do efluente sobre a camada de areia, e com o fluxo descendente transpassa esta camada de areia, seguida de uma camada de brita ou seixo (**Error! Reference source not found.**). Nesta última camada, o efluente é coletado por uma tubulação perfurada e este segue para o descarte final, o qual deve ser avaliado de acordo com sua qualidade e limites estabelecidos pelos órgãos ambientais (TONETTI *et al*., 2018).

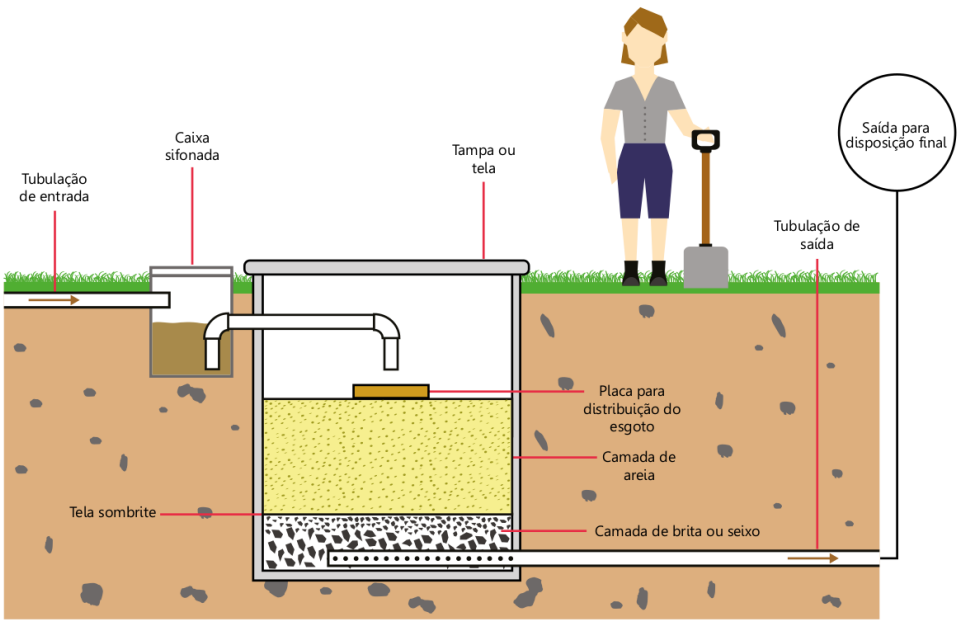

Figura 9. Desenho esquemático do funcionamento de um Filtro de Areia. Fonte: TONETTI *et al*. (2018).

Em casos em que um mesmo filtro de areia é utilizado por mais de uma família, torna-se necessária a instalação de uma caixa sifonada anterior ao filtro de areia. A função desta caixa sifonada é evitar a colmatação da superfície da areia, promovendo o despejo intermitente, ou seja, com intervalos entre os despejos de esgoto. A geração de esgoto de uma só família é naturalmente intermitente, não sendo necessária a instalação de caixa sifonada (ABNT NBR 13969, 1997).

3.5.5. VERMIFILTRO

Vermifiltros são unidades de tratamento de esgoto doméstico pré-tratado por fossa séptica. Estas unidades são compostas por uma câmara, onde o esgoto pré-tratado é despejado sobre uma placa para distribuição do efluente sobre a camada de serragem, húmus e minhocas, e, em fluxo descendente, o efluente passa pela última camada, composta por brita ou seixo (**Error! Reference source not found.**). Na última camada do vermifiltro, o efluente é coletado e, assim como no filtro de areia, deverá ser destinado de acordo com sua qualidade e padrões estabelecidos pela legislação. O pré-tratamento por fossa séptica é necessário para remoção de produtos de limpeza eventualmente utilizados na residência, os quais poderiam inviabilizar o tratamento por minhocas (PUREZA & CASTAGNA, 2015).

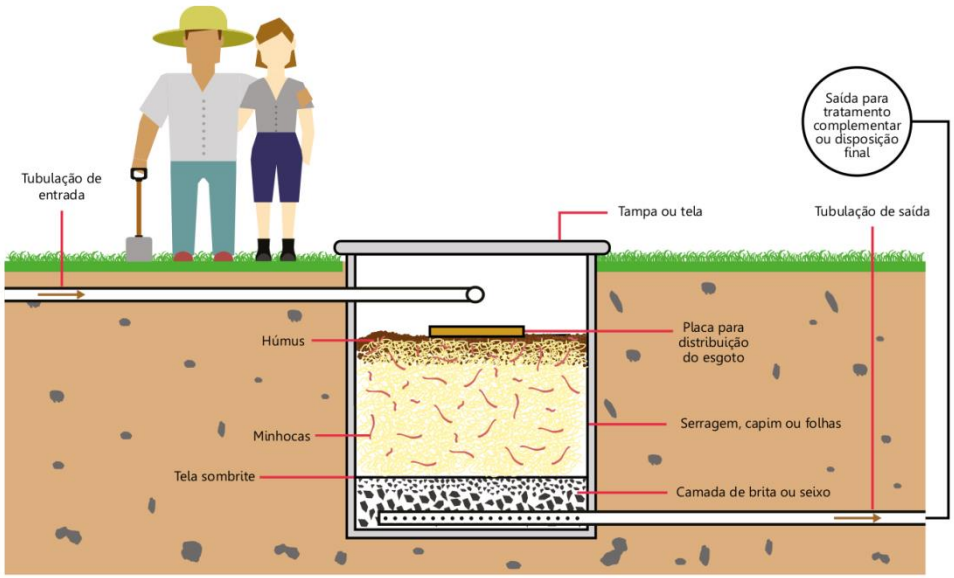

Figura 10. Desenho esquemático do funcionamento de um vermifiltro. Fonte: TONETTI et al. (2018).

Na camada de superior do vermifiltro, as minhocas fazem a remoção da matéria orgânica e a transformação do esgoto em um vermicomposto, do qual uma parte deve ser retirada semestralmente, seca ao ar e pode ser utilizada como adubo para plantas não alimentícias. Na parte inferior, microrganismos são responsáveis pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica do esgoto (TONETTI *et al*., 2018).

3.5.6. BIODIGESTOR

O biodigestor é um sistema responsável pelo tratamento de esgoto doméstico, esterco, água negra e residos sólidos orgânicos, em conjunto ou separadamente. Sua estrutura consiste em uma caixa fechada, responsável pelo armazenamento dos rejeitos e pela digestão anaeróbia, e um reservatório onde o biogás produzido durante o processo de digestão é armazenado para posterior consumo (**Error! Reference source not found.**) (TONETTI *et al*., 2018).

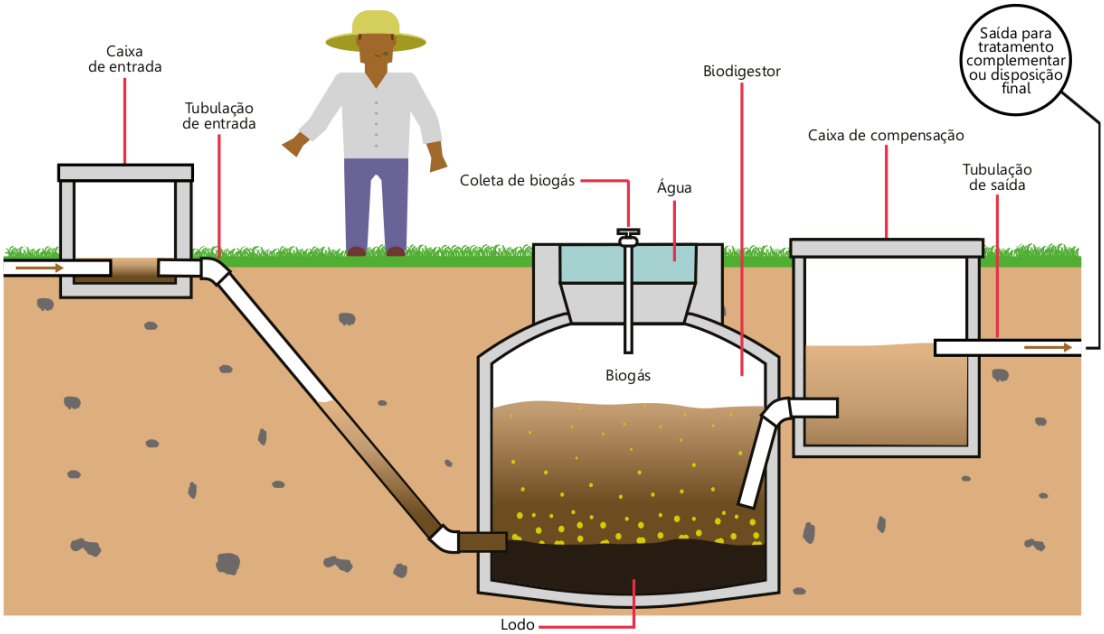

Figura 11. Desenho esquemático do funcionamento de um biodigestor. Fonte: TONETTI *et al.* (2018).

Existem diversos tipos de biodigestores instalados no Brasil. A principal diferença entre os modelos são o material de fabricação: O biodigestor chinês é construído com tijolos; o biodigestor sertanejo é composto por placas de concreto; já o biodigestor canadense consiste em um lagoa coberta por uma lona. A principal vantagem do uso do biodigestor para o tratamento de esgoto é a utilização do biogás para atividades diversas (gás de cozinha, iluminação e aquecimento de água). Entretanto, sua implementação requer um design específico para cada caso e mão de obra qualificada. Além disso, patógenos não são completamente eliminados durante a digestão anaeróbia e sua produção de biogás é seriamente impactada em temperaturas menores que 15°C (TILLEY, *et al*., 2014; TONETTI *et al*., 2018).

3.5.7. REATOR ANAERÓBIO COMPARTIMENTADO

Reatores anaeróbios compartimentados são sistemas indicados para o tratamento de águas fecais ou esgoto doméstico não segregado, desde que este seja bastante concentrado, não recebendo água de calhas, por exemplo. Estes sistemas são semelhantes às fossas sépticas, porém compostos por mais de uma câmara (**Error! Reference source not found.**). A tubulação despeja o esgoto doméstico no fundo das câmaras e passa para a próxima câmara pela parte superior. Durante o tempo que o esgoto fica em cada câmara, este é sedimentado e é decomposto por microrganismos

presentes no lodo que se acumula no fundo de cada câmara do reator (GONÇALVES, 2006).

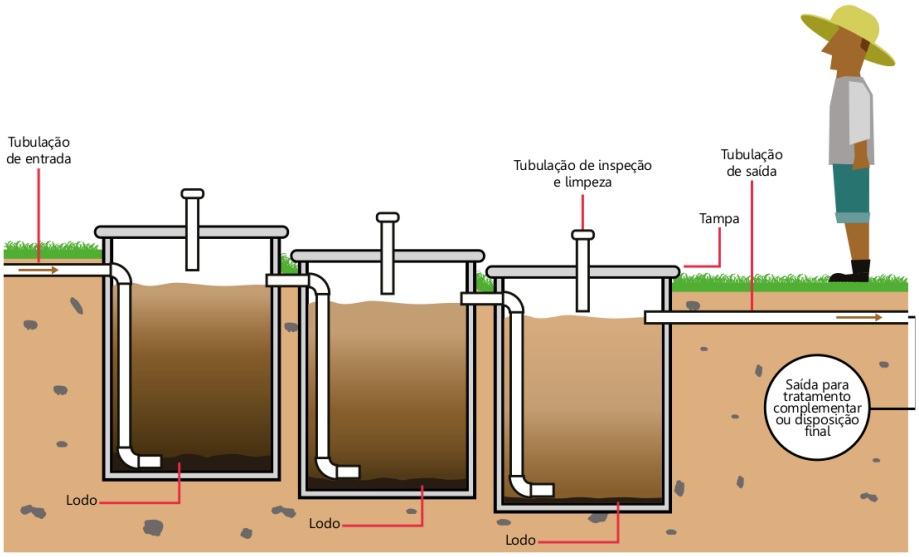

Figura 12. Desenho esquemático do funcionamento de um reator anaeróbio compartimentado. Fonte: TONETTI *et al.* (2018).

Assim como em fossas sépticas, nos reatores anaeróbios compartimentados parte do lodo deve ser retirada periodicamente. E tendo em vista que a maior concentração de sólidos sedimentáveis, formadores do lodo, é recebida pela primeira câmara, esta pode ser construída com um volume maior do que as câmaras seguintes (TONETTI *et al.*, 2018).

Existem duas principais vantagens da utilização de reator anaeróbio compartimentado, quando comparado à fossas sépticas, o tempo de tratamento e a separação de microrganismos acidogênicos e metanogênicos. O tempo de tratamento nos reatores é maior, fazendo com que o efluente tenha melhor qualidade. E a separação em várias câmaras propicia a separação dos microganismos, predominando os acidogênicos no primeiro compartimento e os metanogênicos nos seguintes, possibilitando que os microrgaismos metanogênicos recebam o efluente com o pH e temperatura estabilizados anteriormente na câmara dos microrganismos acidogênicos (REBÊLO, 2011).

3.5.8. CÍRCULO DE BANANEIRAS

O círculo de bananeiras é uma alternativa para tratamento de água cinza, mas também pode ser considerado uma etapa do tratamento de esgoto doméstico. Esse tratamento consiste em uma vala circundada por bananeiras. O esgoto pré-tratado ou a água cinza

é despejada no centro da vala, em meio a galhos secos e palha (). Os dejetos orgânicos são consumidos pelos microrganismos presentes no solo, enquanto que a água e os nutrientes do esgoto são reaproveitados pelas plantas ao redor da vala. Geralmente, as bananeiras são as plantas escolhidas, porém qualquer planta que se desenvolva bem em locais úmidos e ricos em nutrientes podem ser utilizadas (TONETTI *et al*., 2018).

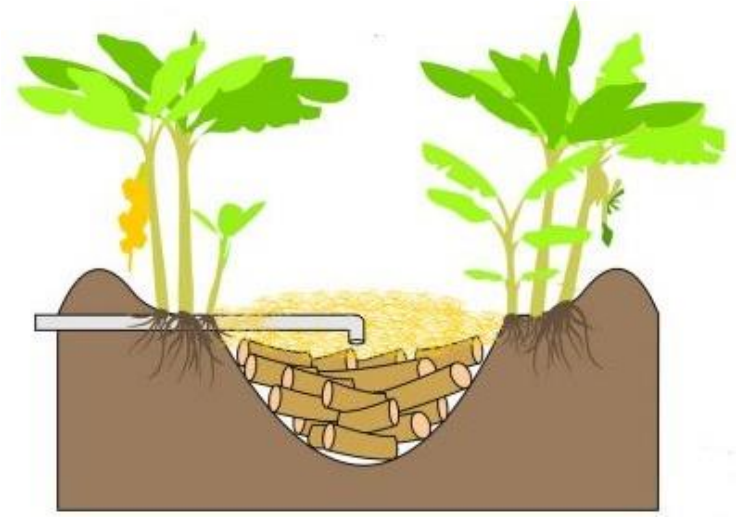

Figura 13. Desenho esquemático de um círculo de bananeiras. Fonte: Ambiental da Terra.

Algumas particularidades desse sistema devem ser mencionadas: a fim de minimizar o risco de contaminações, o sistema deve ser instalado em locais distantes do lençol freático; caso o solo seja arenoso, uma camada de argila deve ser adicionada no fundo da vala para dificultar a infiltração, possibilitando um maior tempo de contato para que os microrganismos decomponham os dejetos orgânicos presentes na vala; é necessário um pré-tratamento com o uso de uma caixa de gordura em locais onde o esgoto apresente alto teor de gordura (ex. Despejo de óleos de fritura), pois esta diminui a efetividade do círculo de bananeiras e impede o bom funcionamento dos processos biológicos (VIEIRA *et al*., 2006; TONETTI *et al*., 2018).

3.5.9. FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

A fossa séptica biodigestora é uma tecnologia brasileira, criada pela Embrapa em 2001. Esse sistema trata a água proveniente de vasos sanitários em 3 tanques conectados entre si (**Error! Reference source not found.**). Seu processo consiste na degradação da matéria orgânica e seu rejeito é um biofertilizante que pode ser aplicado em árvores frutíferas e outras culturas. A degradação da matéria orgânica é feita na ausência de

oxigênio, e a adição de esterco bovino a cada 30 dias auxilia na manutenção da comunidade de microrganismos do sistema (TONETTI *et al*., 2018).

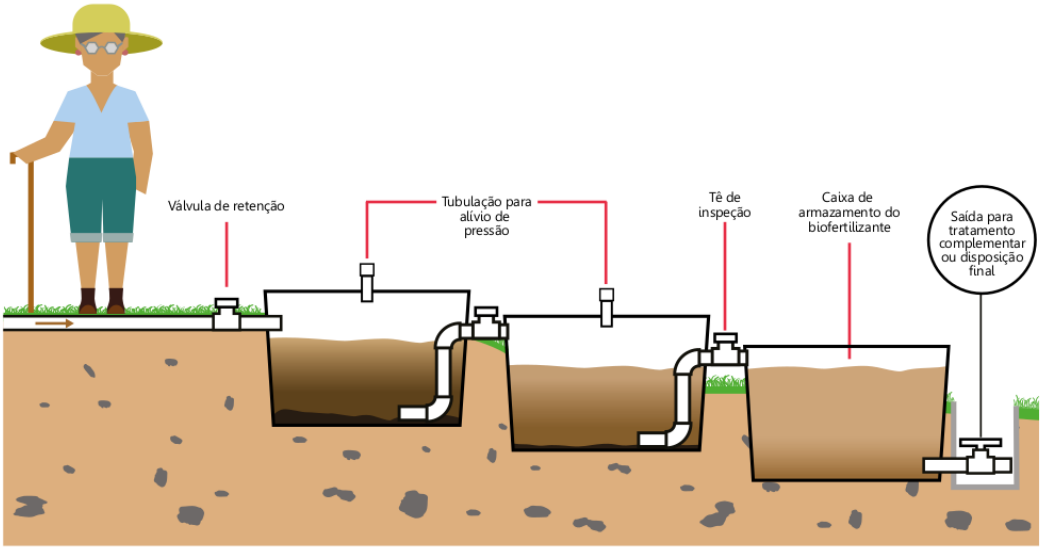

Figura 14. Desenho esquemático de uma fossa séptica biodigestora. Fonte: TONETTI *et al.* (2018).

A fossa séptica biodigestora deve ser utilizada em locais onde o uso do vaso sanitário seja frequente. A instalação desse sistema em casas de veraneio não é recomendada, pois o aporte de matéria orgânica no sistema tem que ser regular para a manutenção da colônia de bactérias, responsáveis pelo consumo dessa matéria orgânica. Além do aporte regular de matéria orgânica, a temperatura também exerce um papel fundamental na manutenção da colônia de bactérias. A temperatura ótima para as bactérias presentes no esterco bovino é de 36°C, sendo assim, é recomendado que as tampas dos tanques sejam pintadas da cor preta para a manutenção de uma temperatura entre 30° e 37°C (GALINDO *et al*., 2010).

3.5.10. BACIAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Bacias de evapotranspiração (BETs), também conhecidas como fossas verdes, fossas de bananeiras e tanques de evapotranspiração (TEvap), são sistemas de tratamento e reúso de águas fecais e não exigem um pré-tratamento. BETs são compostas por um grande compartimento impermeabilizado, geralmente construído em alvenaria de maneira estanque, entretanto, em locais de clima bastante chuvoso, por precaução, recomenda-se a instalação de uma saída do efluente sobressalente para um círculo de bananeiras (TONETTI *et al*., 2018) ou para um sistema de infiltração (COSTA, 2014), a fim de evitar o extravasamento. Desta forma, este sistema é indicado para regiões

quentes que tenham índices pluviométricos abaixo das taxas de evapotranspiração esperada para a BET (COSTA, 2014).

A evapotranspiração compreende os processos de evaporação da água do solo e transpiração das plantas. Estes processos dependem, entre outros fatores, da radiação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Um dos métodos para estimar a evapotranspiração é calculando o balanço hídrico do solo, contabilizando a entrada e a saída de água do sistema (COSTA, 2014). A evapotranspiração poderia ser contabilizada em uma BET Destiladora, ou seja, em uma Bacia de Evapotranspiração coberta por uma cúpula feita em material transparente, como uma estufa, onde toda a água evapotranspirada seria coletada para futura contabilização.

Antes da construção de uma BET, duas etapas são muito importantes: a definição do local e o dimensionamento. Para a definição da localização da BET, três aspectos são muito relevantes: radiação solar, relevo e segurança. A evapotranspiração depende, entre outros fatores, da radiação solar, desta forma, deve-se construir BETs em locais contemplados por muitas horas de sol (VIEIRA, 2010). Além disso, em construções de BETs no hemisfério sul, a EMATER-MG (n.d.) recomenda que ela seja construída orientada para o norte. Sobre o relevo, não deve-se escolher um local com altitude tão baixa em relação ao seu redor, para evitar risco de inundações, e deve-se escolher um local com pequeno declive, suficiente para que o esgoto desça por gravidade, mas não tão íngreme a ponto de estar em risco de deslizamento (COSTA, 2014). Sobre a segurança, indica-se que seja utilizada a ABNT NBR 7229/1993 (Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos), visto que ainda não há normas técnicas para bacia de evapotranspiração. Desta forma, o local escolhido deve ter afastamento horizontal mínimo de: 1,5 m de construções, limites de terreno, ramais prediais de água, sumidouros e valas de infiltração; 3,0 m de árvores e de pontos de abastecimento público de água; 15,0 m de poços freáticos e corpos d'água (ABNT NBR 7229, 1993).

Após a escolha do local, encontra-se a etapa de dimensionamento. Ainda não existem normas específicas para o dimensionamento de BETs, entretanto, a fim de não gerar extravasamentos da BET, espera-se que o dimensionamento seja regido pelo balanço hídrico, pelo qual toda a água negra gerada somada à pluviosidade do local sejam evapotranspirados:

$$Geração\ de\ água\ negra + Pluviosidade = Evapotranspiração$$

Segundo a estimativa de geração de água negra por pessoa feita por Costa (2014), em uma bacia sanitária com caixa acoplada são utilizados 6 l de água por descarga e estima-se que uma pessoa utilize a bacia 5 vezes por dia, totalizando 30 l de água por dia por pessoa.

Para estimativa da pluviosidade, deve-se verificar a precipitação média diária de estações meteorológicas próximas ao local. O volume de chuva que incidirá sobre a BET deve ser estimado a partir da multiplicação da precipitação média diária com a área superficial da BET (COSTA, 2014).

Estudos indicam o cálculo de 2 m³ por usuário em uma bacia de 1 a 1,5 m de profundidade. Desta forma, para uma BET com 2 m de largura e 1 m de profundidade, deve ser adicionado 1 m de comprimento para cada usuário (SANTOS, 2013; EMATER-MG, n.d.). Em locais onde a população flutuante oscila, como em escolas ou estabelecimentos comerciais, indica-se a construção de BETs sequenciais (COSTA, 2014). Desta forma, a BET seguinte somente receberá o efluente que extravasar da BET anterior.

Uma forma menos empírica de dimensionamento do sistema foi utilizada por Galbiati (2009), através da Equação 1:

$$A = \frac{n \times Q_d}{ET_0 \times k_{BET} - P \times k_i} \qquad (1)$$

Onde:

A: área superficial do tanque, em m²;

n: número médio de usuários;

Q_d: vazão diária por pessoa, em l/dia, de acordo com o tipo de descarga e número de utilizações diárias;

k_{BET}: coeficiente da BET, varia de acordo com insolação e vento locais;

ET_0: evapotranspiração média do local, em mm/dia;

P: pluviosidade média local, em mm/dia;

k_i: coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

Após a escolha do local e o dimensionamento, encontra-se a etapa de construção. A BET é construída com a escavação, manual ou mecânica, do solo; seguida da impermeabilização das paredes e do fundo, geralmente feita em alvenaria ou ferro-cimento, deixando parte das paredes acima do nível do solo, a fim de evitar a entrada de água oriunda de escoamento superficial. Em seguida, o fundo é preenchido por

pneus inservíveis ou blocos cerâmicos vazados, formando uma câmara linear, responsável pela primeira etapa do tratamento. Para preencher a lateral desta câmara, utiliza-se entulho. Sobre esta primeira camada, são depositados em camadas britas e areia, nesta ordem, com a redução da granulometria, formando uma camada filtrante ascendente. Acima desta camada, é depositada uma camada de solo, onde são plantadas espécies de plantas com alta taxa de evapotranspiração, como bananeiras (*Musa sp.*), cana-do-brejo (*Costus spicatus*), lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*), caeté banana (*Heliconia sp.*). Usualmente, o solo utilizado nesta camada provem da escavação para a construção da BET, entretanto este deve ser mais arenoso do que argiloso, para permitir maior evaporação (EMATER-MG, n.d., GALBIATI, 2009). Ao longo das 3 camadas, recomenda-se a instalação de poços de inspeção, feitos com tubulação de 100 mm de diâmetro. O poço de inspeção ligado à camada mais profunda - a câmara de pneus ou blocos cerâmicos - poderá ser utilizado caso seja necessária a remoção de lodo por caminhão limpa-fossa (TONETTI *et al*., 2018).

Durante o funcionamento da BET, a água negra entra na caixa estanque por uma tubulação pelo fundo, distribuindo o esgoto por dentro da câmara de pneus ou blocos cerâmicos (**Error! Reference source not found.**). Nesta câmara, ocorre a sedimentação dos sólidos e início da decomposição anaeróbia do esgoto (TONETTI *et al*., 2018). Conforme o nível do esgoto dentro da BET aumenta, o líquido preenche camadas superiores a esta câmara (COSTA, 2014).

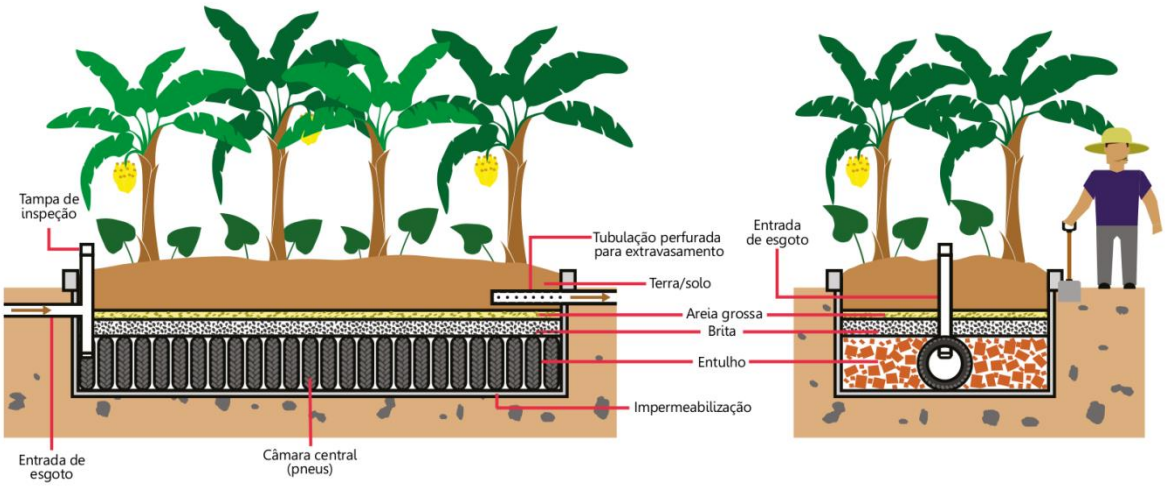

Figura 15. Desenho esquemático de uma bacia de evapotranspiração (Vista lateral à esquerda e vista frontal à direita). Fonte: TONETTI *et al.* (2018).

Na camada superior à câmara, as diferentes granulometrias fazem a filtração do esgoto, bem como se desenvolvem microrganismos que realizam a decomposição aeróbia do

esgoto (TONETTI *et al*., 2018). Com o aumento do volume de esgoto dentro da BET, pela capilaridade do solo e pela diferença de pressão realizada pelas raízes das plantas, o esgoto consegue atingir a última camada COSTA, 2014).

Na última camada, os nutrientes presentes no esgoto tratado nas camadas inferiores são incorporados à biomassa das plantas e a água é evapotranspirada, pela evaporação diretamente do solo e pela evapotranspiração das folhas das plantas (COSTA, 2014). Apesar da presença de nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico representar um problema de difícil solução, para a agricultura e piscicultura, estes nutrientes são essenciais para o cultivo de plantas e desenvolvimento dos animais aquáticos, respectivamente (REBÊLO, 2011). Seguindo a mesma lógica da agricultura, em bacias de evapotranspiração, estes nutrientes são fundamentais para o desenvolvimento das plantas utilizadas. Nas BETs, esses nutrientes deixam de ser descartados em corpos hídricos, evitando, por exemplo, a floração de algas que poderiam eutrofizar o manancial, e são reaproveitados na produção de alimentos, a partir das plantas utilizadas no sistema. Nesta camada, devem ser utilizadas plantas com maior taxa de evapotranspiração e com sistemas radiculares pouco profundos, para não danificar a estrutura da BET, como bananeiras, taiobas e lírios do brejo (TONETTI *et al*., 2018).

Estudos indicam que os alimentos produzidos em BETs não são contaminados por patógenos, entretanto recomenda-se que sejam utilizados apenas alimentos colhidos acima do nível do solo, ou seja, frutos, folhas, flores e palmitos. Não é recomendado o consumo de raízes, como inhame e gengibre (TONETTI *et al*., 2018).

A manutenção da BET compreende a remoção do excesso de mudas e retirada de partes secas das plantas (COSTA, 2014); manutenção da cobertura vegetal sobre o solo da BET, a fim de evitar que a água da chuva infiltre (VIEIRA, 2010); e eventualmente, pode ser necessária a remoção de lodo retido na câmara inferior (TONETTI *et al*., 2018).

Para o bom funcionamento de qualquer sistema de tratamento de esgoto por microrganismos, recomenda-se um cuidado maior com os produtos de higiene pessoal e produtos de limpeza das instalações. Para BETs, Costa (2014) indica a limpeza de bacias sanitárias no máximo 1 vez por semana com água sanitária, pois este produto é bactericida e pode prejudicar a digestão anaeróbia do sistema. Uma forma simples e com menor impacto ao funcionamento da BET é limpeza das instalações com vinagre e bicarbonato de sódio (SANTOS, 2013).

Visto que BETs são sistemas de tratamento pouco difundidos no Brasil, alguns permacultores elaboram um Relatório Ambiental Preliminar (RAP), a fim de explicar o funcionamento das BETs para órgãos de fiscalização (VIEIRA, 2010). Segundo a DZ 215 R-4, diretriz do estado do Rio de Janeiro para controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária, o tratamento mínimo para locais onde não há rede coletora de esgoto seja fossa séptica (ABNT NBR 7229, 1993) seguida de tratamento complementar e/ou disposição final. Quando há necessidade de tratamento complementar, a diretriz indica a utilização de filtro anaeróbio ou similar de eficiência equivalente. Para disposição de efluente em corpos hídricos ou na rede coletora de esgotos, a norma técnica NT 202 R-10 e a diretriz DZ 215 R-4 estabelecem os padrões para lançamentos no estado do Rio de Janeiro. Para disposição de efluente em solo, existe apenas uma proposta de resolução do CONAMA. Tendo em vista que BETs são sistemas estanques e, se bem dimensionadas, não precisarão direcionar seus efluentes para corpos hídricos, nem para disposição sobre o solo, elas não se enquadram em nenhuma dessas legislações.

4. MATERIAL E METODOLOGIA

Neste capítulo, primeiramente, a BET do presente estudo é caracterizada, quanto à sua localização, dimensionamento e construção. Em seguida, são apresentados os métodos de coleta e análise de efluentes e do solo. E por último, é apresentado o método de análise de custo da BET do presente estudo, onde o custo estimado para sua construção é comparado com a BET estudada por Costa (2014) e com o custo de construção da rede coletora de esgoto apresentada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no distrito de Aldeia Velha, localizado no município de Silva Jardim (RJ). A propriedade onde a bacia de evapotranspiração foi construída localiza-se na Rua Luiz Augusto Victer, 112, Aldeia Velha, Silva Jardim (22° 27' 44" S 42° 18' 28" O, 50 m). O terreno é plano, retangular e apresenta cerca de 180 m² de área, sendo cercado por outros terrenos residenciais. A Figura 16 abaixo indica a localização da casa e da BET no terreno, entretanto a imagem de satélite é anterior à construção de ambas.

Figura 16. Imagem de satélite do terreno onde a BET localiza-se. Fonte: Google Maps.

Sobre a caracerização climática da área de estudo, Valle et al. (2016) indica que há uma distribuição desigual de chuvas ao longo do ano, ocorrendo entre 70% e 80% do total de chuvas entre os meses de novembro e abril. A variação média de temperatura e a precipitação média mensal podem ser verificadas na tabela abaixo:

Tabela 1. Médias climáticas modeladas para o distrito de Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ.

Médias Climáticas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação média mensal (mm)	213,5	200,8	134,1	165,1	99,1	64,1	31,1	53	38,3	76,9	99,1	194,5
Variação média de temperatura (°C)	18 – 27	19 – 28	19 – 29	19 – 28	17 – 27	14 – 24	12 – 23	11 – 23	12 – 24	14 – 24	16 – 25	17 – 26

Fonte: Adaptado de Tempoagora.

De acordo com o último censo do IBGE (2010), 33,3% da população de Silva Jardim tem saneamento básico adequado. Separando estes dados por zonas urbana e rural, verifica-se que 43,6% da população urbana é contemplada por saneamento adequado, enquanto na zona rural este número cai para 1,8%. O IBGE considera como adequado os esgotos sanitários que são coletados pela rede, lançados em rede pluvial ou destinados a fossas sépticas (TCE-RJ, 2016), não sendo uma boa fonte para avaliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto do município. Entretanto, de acordo com o Estudo Socioeconômico 2007 de Silva Jardim (TCE-RJ, 2007), a coleta de esgoto no município contemplava apenas 23,5% das residências, 43,9% das residências destinava seus esgotos a fossas sépticas, 16,1% destinavam para fossas absorventes, 13,1% descartavam a céu aberto em valas e 2,7% lançavam em corpos hídricos, podendo ser rios ou lagoa. Do percentual de residências cujo esgoto é coletado por rede, parte do esgoto é tratada e parte é lançada em rios sem tratamento.

4.1.1. DIMENSIONAMENTO UTILIZADO NA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a proprietária do terreno onde a BET foi construída, Patrícia Depiné, não foi possível fazer a separação do efluente do banheiro da casa em águas cinza e negras. Sendo assim, esta BET (Figura 17) recebe água cinza do chuveiro e do lavatório, e água negra da bacia sanitária. Ainda segundo ela, a BET foi dimensionada para 4 moradores, entretanto desde que foi construída, em 2015, a casa foi utilizada como bar. Desta forma, a geração de águas cinza não foi tão grande quanto seria se a casa estivesse sendo utilizada como moradia, pois o uso do chuveiro é reduzido. Apesar disso, é mais difícil dimensionar BETs para utilização de um número variável de pessoas.

De acordo com o permacultor, Carlos Henrique (Curumim), ex-morador de Aldeia Velha e membro da Associação de Permacultores da Mata Atlântica (APEMA), a BET do presente estudo tem as dimensões 1,30 m de largura, 3,50 m de comprimento e 1,50 m

de profundidade, totalizado 6,83 m³ de volume interno.

Figura 17. Foto da BET utilizada no presente estudo (16/07/2018). Fonte: Arquivo pessoal.

4.1.2. CONSTRUÇÃO DA BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A BET utilizada no presente estudo foi construída em 2015, durante um curso de Saneamento Ecológico desenvolvido pela APEMA (Associação de Permacultores da Mata Atlântica). Antes do curso, houve uma etapa inicial (Figura 18), de escavação e construção da bacia. E durante o curso houve: a formação da câmara de pneus (Figura 19); instalação dos pontos de inspeção (PIs); distribuição das camadas de brita, areia (Figura 20) e reposição de parte do solo removido, formando a última camada; plantio de mudas (Figura 21); e ligação do esgoto do banheiro ao sistema.

Figura 18. Etapa inicial finalizada (2015). Fonte: Acervo da APEMA.

Figura 19. Câmara de pneus e instalação do PI-2 finalizados (2015). Fonte: Acervo da APEMA.

Figura 20. Camada de brita, tela mosqueteiro e instalação dos PIs finalizados (2015). Fonte: Acervo da APEMA.

Figura 21. Plantio de mudas (2015). Fonte: Acervo da APEMA.

Durante a viagem a campo, foi possível identificar as seguintes espécies vegetais plantadas na BET:

- Bananeira (*Musa sp.*) (Figura 22a);
- Cana-do-brejo (*Costus spicatus*) (Figura 22b);
- Papiro (*Cyperus papyrus*) (Figura 23a);
- Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) (Figura 23b).

Figura 22. a. Bananeira; b. Cana-do-brejo (31/07/2018). Fonte: Arquivo pessoal.

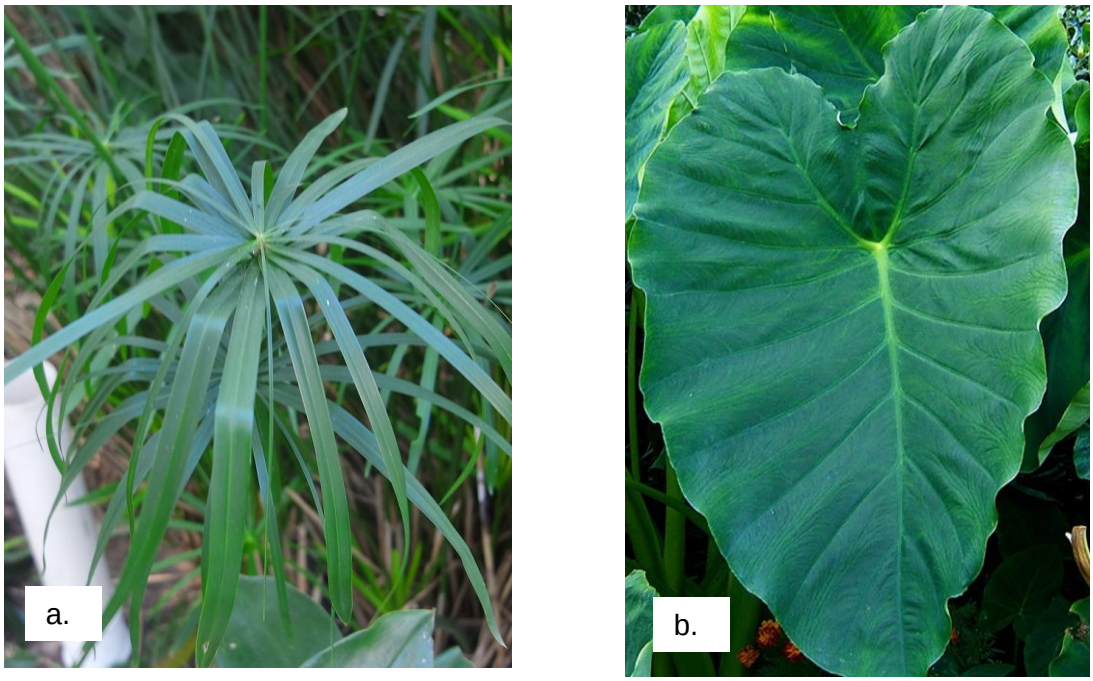

Figura 23. a. Papiro; b. Taioba (31/07/2018). Fonte: Arquivo pessoal.

4.2. ANÁLISE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES

A seguir, serão apresentados os métodos de coleta de amostras de efluente utilizados nas viagens a campo, de análise de efluentes realizados no Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente (LEMA) e no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA), assim como o método de verificação da melhoria da qualidade do efluente entre as camadas da BET.

4.2.1. COLETA DE AMOSTRAS

Para verificação do tratamento do efluente, foram realizadas viagens a campo para coleta de amostras nos dias 16/07/2018, 23/07/2018 e 31/07/2018. As coletas foram feitas por meio dos pontos de inspeção (PIs) posicionados durante a construção da BET (Figuras 24 e 25).

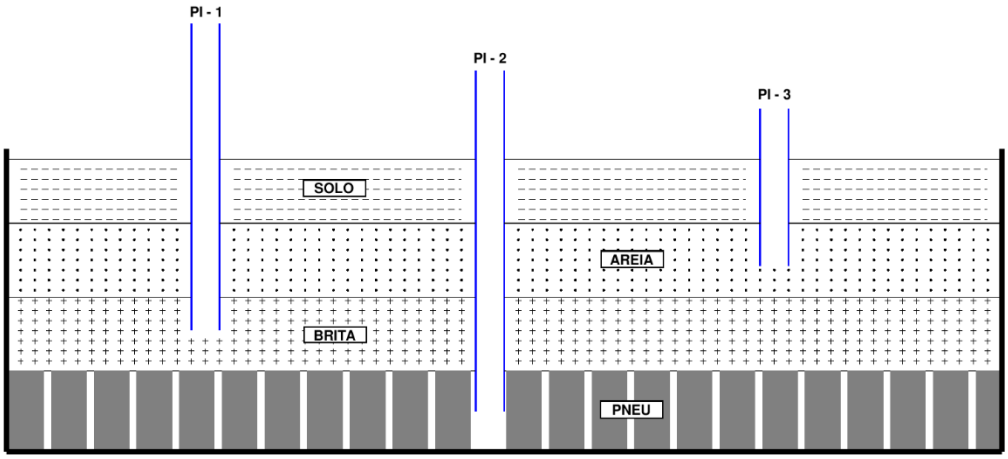

Figura 24. Desenho esquemático da BET. Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 25. a. Ponto de Inspeção 1 (PI-1); b. Ponto de Inspeção 2 (PI-2); c. Ponto de Inspeção 3 (PI-3), onde a coleta não pode ser feita. Fonte: Arquivo pessoal.

Os vidros para coleta das amostras foram cedidos pelo Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente (LEMA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Devido à profundidade da BET e à altura da tubulação dos pontos de inspeção acima da superfície da BET, foi utilizado um vidro amarrado a um barbante para a realização da

coleta. Antes de cada coleta em um novo PI, este vidro foi rinçado uma vez com água destilada e três vezes com o efluente do PI a ser coletado. Em cada PI, foram medidos localmente o pH e a temperatura. Após cada coleta, cada um dos vidros foi tampado, identificado (Figura 26) e armazenado em uma caixa de isopor com gelo. Os pontos de inspeção 1, 2 e 3 atingem as camadas de brita, a câmara de pneus e a camada de areia, respectivamente. Não foi possível coletar amostras no PI-3, pois o nível do efluente dentro da BET estava muito baixo durante as três viagens a campo.

Figura 26. Amostra do PI-1 à esquerda e do PI-2 à direita. Fonte: Arquivo pessoal.

Durante todo o transporte de Aldeia Velha até a UFRJ, a caixa de isopor com gelo foi mantida fechada, a fim de conservar a temperatura e preservar as amostras. No mesmo dia de cada coleta, as amostras foram entregues no LEMA e no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA), ambos no Centro de Tecnologia da UFRJ, Campus Ilha do Fundão, onde foram mantidas em geladeiras para início das análises no dia posterior.

4.2.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Com a finalidade de verificar as diferenças entre os efluentes nos diferentes níveis de tratamento da BET, foram analisados os parâmetros pH, temperatura, cor, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais,

Escherichia coli, orto fosfato, nitrato, NTK, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas. No efluente dos dois PIs onde foi possível realizar a coleta, foram realizadas as medições de pH e temperatura, com medidores eletrônicos, ainda no local. As análises de cor, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato, NTK e sólidos sedimentáveis foram realizadas no LEMA, enquanto as análises de óleos e graxas foram realizadas no LTA (Figura 27).

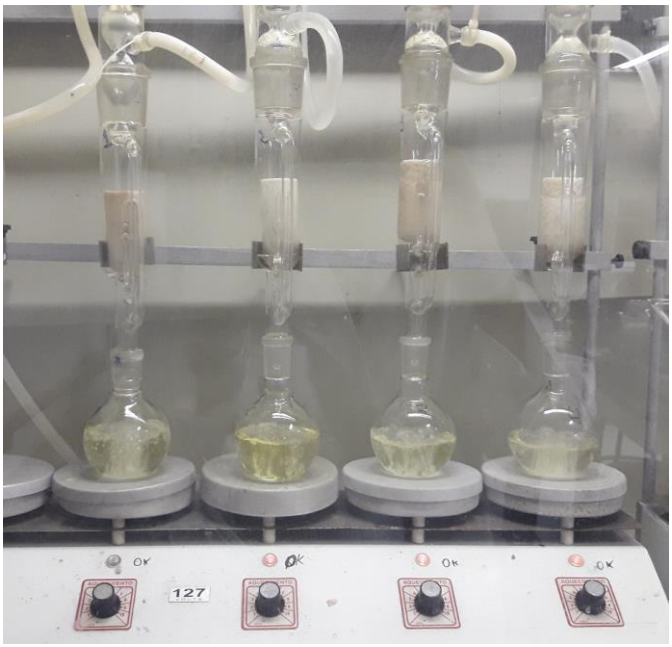

Figura 27. Extração em Soxhlet para análise de óleos e graxas, realizada no LTA. Fonte: Arquivo pessoal.

A metodologia utilizada para análise de cada um destes parâmetros medidos nos laboratórios foram:

- Cor: Método 8025 – APHA – Platinun-Cobalt Standard Method – HACH;
- DQO: Método 5220 (D) – Refluexo Fechado – SMEWW - 20ª edição;
- DBO: Método 5210 (B) – Método de diluições – SMEWW - 20ª edição;
- Coliformes totais e *Escherichia coli* (Colimetria): Método 9223 – Substrato Cromogênico – SMEWW - 20ª edição;
- Orto fosfato: Método 4500 P(E) – Ácido Ascórbico – SMEWW - 20ª edição;
- Nitrato: Método 8171 – Cadmiun Reduction Method – HACH;
- NTK: Método 4500 N_{org} (C) (Digestão/Destilação/Titulação) – SMEWW - 20ª edição;

- Sólidos sedimentáveis: Método 2540 (F) Cone de Inmhoff – SMEWW - 20ª edição;
- Óleos e Graxas: Método 5520 - Extração em Soxhlet - SMEWW - 20ª edição.

Devido à impossibilidade de coleta do esgoto que entra na BET e do efluente após o tratamento, não é possível analisar a BET como um todo e verificar a sua eficiência. Sendo assim, foi analisado o efeito que cada camada tem na melhoria da qualidade do esgoto, isto é, as amostras da camada de brita (PI-1) foram comparadas com as amostras da camada anterior, a câmara de pneus (PI-2), verificando o que foi alterado de uma camada para outra em uma mesma visita a campo. O presente estudo não é uma análise temporal do que ocorre com o esgoto com o passar do tempo, pois um estudo deste tipo não poderia ocorrer em um local onde a geração de efluente é irregular, devido às variações da quantidade de usuários do banheiro. As três coletas foram utilizadas como triplicata, a fim de aumentar a confiabilidade dos dados apresentados.

Os resultados das análises dos parâmetros não poderiam ser analisados comparando-os com a norma técnica NT 202 R-10 ou com a diretriz DZ 215 R-4, as quais estabelecem os padrões para lançamentos de efluentes no estado do Rio de Janeiro, pois as amostras foram coletadas dentro da BET, onde ocorre o acúmulo e tratamento do esgoto. Tampouco poderiam ser comparados à proposta de resolução[1] do CONAMA, a qual estabelece padrões para lançamento no solo, pelo mesmo motivo citado acima. Sendo assim, os resultados foram analisados pela variação percentual dos valores obtidos no PI-1 (camada de brita) com o PI-2 (câmara de pneus), conforme Equação 2, a fim de verificar o que foi alterado entre estas camadas. Resultados negativos indicam redução do resultado do parâmetro analisado no PI-1, em comparação com o resultado do PI-2.

$$Variação(\%) = \frac{(resultado\ do\ PI1 - resultado\ do\ PI2)}{resultado\ do\ PI2} \times 100 \qquad (2)$$

4.3. ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO

A seguir, será apresentado o método de coleta de amostras de solo utilizado e o método de análise da fertilidade do solo realizado no Laboratórios da Embrapa Solos.

[1]http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/DC2BA37B/PropResolAguasSubt_RoberMonteiro.pdf

4.3.1. COLETA DE AMOSTRAS

Com a finalidade de verificar as alterações na fertilidade do solo do sistema quando comparado ao solo fora do sistema, durante a terceira viagem a campo (30/07/2018), amostras foram coletadas até a profundidade de 20 cm, em monoplicata, removendo previamente folhas e outros detritos na superfície do solo. Ao todo, foram coletados 12 pontos, sendo 6 pontos dentro do sistema e outros 6 no entorno, conforme a Figura 28. Os pontos de coleta de amostras dentro da BET foram identificados com a letra D e os pontos do entorno, com a letra F. As amostras foram colocadas em sacos plásticos transparentes, identificadas, pesadas e fechadas. Os locais de coleta foram localizados com o auxílio de uma trena, para posterior confecção da Figura 28. A distribuição destes pontos no interior da BET e em seu entorno foi feita de forma irregular, pois havia plantas em ambos os locais.

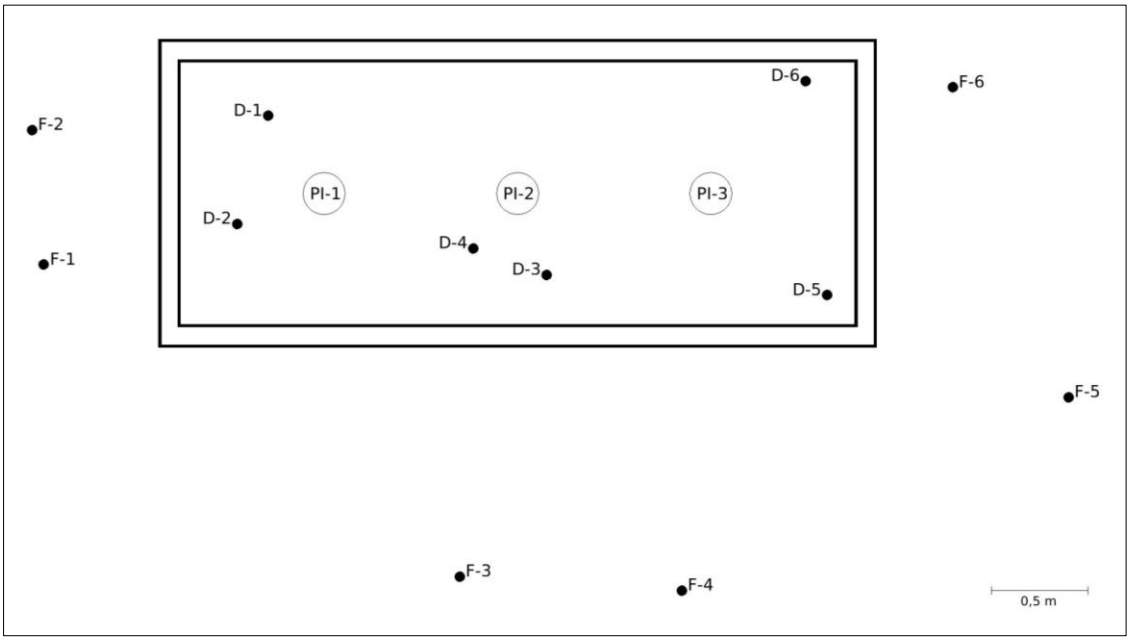

Figura 28. Disposição dos pontos de coleta de solo. Fonte: Arquivo pessoal.

4.3.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS

As análises de pH, alumínio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, acidez total, fósforo, valores S, T e V, carbono, nitrogênio, cobre, ferro, manganês e zinco foram realizadas nos Laboratórios da Embrapa Solos. Todas as análises foram feitas conforme o Método Embrapa de Análise de Solos.

Os valores obtidos foram comparados, contrastando o solo coletado dentro da BET e o solo do entorno da mesma. Esta comparação somente foi possível pois ambos os solos tinham a mesma origem.

4.4. ANÁLISE DE CUSTOS

Com a finalidade de comparar os custos de tratamentos de esgoto convencionais e centralizados com os custos de construção de uma BET, foi utilizado o Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim, elaborado em 2013 para a projeção da população para o ano de 2033. O plano estimou os custos de coleta de esgotos para cada localidade separadamente e estimou um custo único para o tratamento de todo o esgoto do município. Desta forma, não foi possível separar o custo do tratamento de esgoto apenas para o distrito de Aldeia Velha. Logo, o custo de construção de uma BET será comparado ao custo apenas para coleta do esgoto.

O custo de construção de uma BET para uma família com 4 pessoas feita em fibrocimento é apresentado no estudo realizado por Costa (2014). A BET do presente estudo foi construída em alvenaria e o custo aproximado para a construção com esta técnica foi estimado, adaptando a estimativa de Costa (2014), utilizando o sítio Construfácilrj e realizando pesquisa de preços dos materiais em sítios de lojas de construção localizadas no estado do Rio de Janeiro.

Por fim, foram calculadas quantas BETs poderiam ser construídas no modelo sugerido por Costa (2014) e pela autora com o mesmo custo de construção de rede de coleta apresentado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, primeiramente, são apresentados os resultados das análises de efluentes e os resultados encontrados são discutidos, comparando os valores obtidos do material coletado na camada de brita com o material da câmara de pneus. Em seguida, são apresentados os resultados das análises de solo e os resultados encontrados são discutidos, comparando os valores obtidos do material coletado na camada superficial de solo da BET com o material coletado em seu entorno, fora da BET. Por último, é apresentado o resultado da análise de custo da BET do presente estudo, onde o custo estimado para sua construção é comparado com a BET estudada por Costa (2014) e com o custo de construção da rede coletora de esgoto apresentada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim.

5.1. ANÁLISE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os resultados da análise de efluentes realizada em campo, no LEMA e no LTA são apresentados na Tabela 2 e Anexo 1:

Tabela 2. Resultados das análises dos parâmetros pH, temperatura, cor, DQO, DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato, NTK, sólidos sedimentáveis e óleos e graxas dos efluentes coletados na câmara de pneus (PI-2) e na camada de brita (PI-1), durante as viagens a campo realizadas nas datas 16/07/2018, 23/07/2018 e 30/07/2018.

Parâmetros	16/07/2018		23/07/2018		30/07/2018	
	PI-2 (Câmara de pneus)	PI-1 (Camada de brita)	PI-2 (Câmara de pneus)	PI-1 (Camada de brita)	PI-2 (Câmara de pneus)	PI-1 (Camada de brita)
pH	7,4	7,0	7,2	7,2	8,3	7,3
Temperatura (°C)	22,1	22,0	21,8	21,7	22,1	22,2
Cor (PtCO)	Acima da faixa	296	530	265	Acima da faixa	229
DQO (mg/L)	374	563	397	339	592	691
DBO (mg/L)	119,9	134,5	72,8	30,0	nd	138,3
DQO/DBO	3,12	4,19	5,45	11,30	-	5,00
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	46.000.000	7.500.000	150.000.000	150.000.000	11.000.000	4.600.000
Escherichia coli (NMP/100 mL)	46.000.000	1.500.000	150.000.000	93.000.000	11.000.000	4.600.000
Orto Fosfato (mg/L)	11,34	7,19	9,88	5,79	9,83	5,03
Nitrato (mg/L)	35,00	34,00	14,80	2,60	9,50	0,00
NTK (mg/L)	140,00	85,40	106,40	91,00	92,40	74,20
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	2,5	15,5	7,0	11,0	18,9	20,0
Óleos e Graxas (mg/L)	309,57	353,49	133,57	52,60	59,80	104,58

A Tabela 3 apresenta o resultado da variação percentual dos parâmetros apresentados na Tabela 2. Variações negativas indicam que houve redução do valor obtido no efluente da camada de brita, quando comparado ao efluente da câmara de pneus. O esperado é que o efluente apresente valores melhores ao passar da camada de pneus para a

camada de brita, visto que a câmara de pneus é o primeiro estágio de tratamento e a camada de brita é o segundo estágio.

Tabela 3. Resultados dos cálculos de variação percentual dos parâmetros pH, temperatura, cor, DQO, DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato, NTK, sólidos sedimentáveis e óleos e graxas dos efluentes coletados na camada de brita (PI-1), quando comparados aos da câmara de pneus (PI-2), durante as viagens a campo realizadas nas datas 16/07/2018, 23/07/2018 e 30/07/2018..

Parâmetros	Variação da Coleta 1 (16/07/2018)	Variação da Coleta 1 (23/07/2018)	Variação da Coleta 1 (30/07/2018)
pH	-5,41%	0,00%	-6,02%
Temperatura (°C)	-0,45%	-0,46%	0,45%
Cor (PtCO)	-	-50,00%	-
DQO (mg/L)	50,53%	-14,61%	16,72%
DBO (mg/L)	12,18%	-58,79%	-
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	-83,70%	0,00%	-58,18%
Escherichia coli (NMP/100 mL)	-96,74%	-38,00	-58,18%
Orto Fosfato (mg/L)	-36,60%	-41,40%	-48,83%
Nitrato (mg/L)	-2,86%	-82,43%	-100,00%
NTK (mg/L)	-39,00%	-14,47%	-19,70%
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	520,00%	57,14%	5,82%
Óleos e Graxas (mg/L)	14,19%	-60,62%	74,88%

Com base na apresentação dos resultados das Tabelas 2 e 3, os parâmetros foram analisados, verificando se houve melhoria da qualidade do efluente da camada de brita, quando comparado ao efluente do primeiro estágio de tratamento, a câmara de pneus.

Sobre os parâmetros pH e temperatura, em ambos não houve variação de grande

magnitude entre a amostra coletada na câmara de pneus e na camada de brita. Nos dias de coleta quando houve pequena variação de pH, o resultado demonstra que o pH tornou-se mais neutro na camada de brita (PI-1), indicando uma melhoria da qualidade do efluente. Em todas as amostras coletadas, a temperatura dentro da BET manteve-se praticamente constante, em torno de 22ºC, isto se deve ao fato da BET ser enterrada e o solo ser um bom um isolante térmico (SANTIAGO, 2001). Tendo em vista que a atividade microbiana está intimamente ligada à temperatura, o desempenho de tratamentos anaeróbios de esgoto é mais adequado em temperaturas superiores a 20ºC e é prejudicado em temperaturas inferiores a 16ºC (CHERNICHARO, 2007). Desta forma, as temperaturas encontradas na câmara de pneus e na camada de brita eram adequadas à atividade microbiana.

É possível observar grande variação dos valores para o parâmetro cor, quando se compara as amostras coletadas na câmara de pneus e na camada de brita. Em dois dos três dias de coleta, os valores de cor das amostras da câmara de pneus (PI-2) estavam acima da faixa de medição. Nas amostras coletadas na segunda viagem a campo foi possível verificar a remoção de cor de 50%. A diminuição dos valores de cor indica redução dos sólidos dissolvidos entre na camada de brita (PI-1). Em amostras analisadas por Pires (2012), os sólidos dissolvidos totais aumentaram entre a câmara de pneus e a camada de brita. Este acréscimo foi explicado pela hidrólise da matéria orgânica e consequente liberação de sólidos dissolvidos. Por outro lado, no presente estudo, os sólidos sedimentáveis sofreram um aumento na camada de brita em comparação com a câmara de pneus. A variação de maior magnitude chegou ao aumento de 520,0%, ocorrido na primeira coleta. O aumento de sólidos sedimentáveis na camada de brita em relação à câmara de pneus não era esperado e aponta que estes sólidos são provenientes das camadas superiores, de areia e solo, indicando o carreamento destes materiais para as camadas mais profundas. Este carreamento modifica a estrutura inicial de construção da BET, podendo no futuro comprometer seu pleno funcionamento.

Não foi possível determinar a DBO na amostra coletada na terceira semana na câmara de pneus, pois não houve deflexão entre o oxigênio dissolvido inicial e o final. Nos demais dias de coleta, as análises mostram a DBO variando, estando maior na camada de brita (PI-1) na primeira coleta e maior na câmara de pneus (PI-2) na segunda coleta. A DQO teve seu maior valor na camada de brita, em dois dos três dias de coleta. Nas duas primeiras coletas, quando foi possível determinar a DBO, a relação DQO/DBO pôde ser calculada, apresentando valores maiores na camada de brita (PI-1), quando

comparada aos valores da câmara de pneus (PI-2). Este dado demonstra que ocorreu o tratamento biológico e que a fração biodegradável do esgoto foi reduzida. É natural que a relação DQO/DBO aumente após o tratamento com microrganismos, pois a fração biodegradável é reduzida e a fração inerte prevalece (PIRES, 2012).

É possível observar uma redução da concentração de Coliformes Totais e de *Escherichia coli* entre a câmara de pneus (PI-2) e a camada de brita (PI-1). A primeira coleta apresentou a maior redução em ambos os parâmetros: diminuição de 83,7% de coliformes totais e 96,7% de *Escherichia coli*. Nas amostras da câmara de pneus, os valores encontrados para Coliformes Totais e *Escherichia coli* são da ordem de 10^6 a 10^8 NMP/100 mL. Nos trabalhos desenvolvidos por Gabialti (2009) e Pires (2012), foram detectadas concentrações médias de Coliformes Totais da ordem de 10^7 NMP/100 mL e de *Escherichia coli* de 10^6 NMP/100 mL. Já nas amostras da camada de brita, os valores encontrados são da ordem de 10^6 a 10^8 NMP/100 mL. Não foram encontrados estudos com amostras coletadas na camada de brita da BET para comparação com os valores obtidos.

É possível observar uma redução da concentração de orto fosfato entre a câmara de pneus (PI-2) e a camada de brita (PI-1). Proveniente principalmente do uso de detergentes, o fósforo é essencial para agricultura e para o desenvolvimento de microrganismos no tratamento de esgoto. A redução média de orto fosfato entre PI-1 e PI-2 foi de 42,3%. O orto fosfato pode ser reduzido dentro de uma BET pela absorção feita pela vegetação, que nas macrófitas varia entre 50 e 150 $kg.ha^{-1}.ano^{-1}$ (MATOS, 2007), ou pela imobilização em compostos orgânicos realizada no biofilme do meio filtrante (PIRES, 2012). Como as camadas analisadas estão bem abaixo da camada onde a vegetação está plantada, supõe-se que a redução de orto fosfato é resultado da imobilização em biofilme.

Assim como o fósforo, o nitrogênio é um importante nutriente para as plantas, podendo ser absorvido pelas macrófitas como amônio e nitrato. As macrófitas são capazes de remover cerca de 1000 a 2500 $kg.ha^{-1}.ano^{-1}$ de nitrogênio do solo (MATOS, 2007). Comparando a concentração de nitrato entre os pontos de inspeção, houve redução nas três coletas. A redução de nitrato da câmara de pneus (PI-2) para a camada de brita (PI-1), chegou a 100,0% na última coleta. Além da absorção de nitrato pelas plantas, outros mecanismos são capazes de reduzir a concentração de nitrato do solo: a conversão a nitrogênio gasoso, em ambientes anaeróbios ou anóxicos, e, em menor escala, a

volatilização e a adsorção (PIRES, 2012). Neste caso, supõe-se que a redução do nitrato ocorreu por conversão a nitrogênio gasoso, pois a câmara de pneus é um ambiente anaeróbio. Já o Nitrogênio Total de Kjeldahl ou Nitrogênio Amoniacal Total - somatório da amônia ao nitrogênio orgânico - sofreu redução nas três coletas, chegando a uma redução de 39,0% na primeira coleta. Por meio da hidrólise e da decomposição bacteriana, o nitrogênio orgânico é mineralizado a amônia e, nas zonas aeróbias, bactérias nitrificantes oxidam esta a nitrato (VYMAZAL, 2010).

O parâmetro óleos e graxas apresentou grande inconsistência nos valores obtidos, sendo maior na camada de brita na primeira e na última coletas, e menor na segunda coleta. As amostras coletadas nos PIs podem não ser uma boa representação de suas concentrações na camada de tratamento estudada.

5.2. ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO

Os resultados da análise de fertilidade do solo realizada na Embrapa Solos são apresentados nas Tabelas 4 e 5 e Apêndice 2:

Tabela 4. Resultados da análise de fertilidade do solo, representada pelos parâmetros pH H_2O, carbono, nitrogênio, C:N, Al, Ca, Mg, Ca:Mg, sódio, potássio, acidez total, fósforo, Valores S, T e V, Cu, Fe, Mn, Zn, nas amostras coletadas em uniplicata dentro da BET durante a terceira viagem a campo (30/07/2018) e os resultados do cálculo da média destes valores e do desvio padrão.

	Dentro da BET							
Parâmetro	**D-1**	**D-2**	**D-3**	**D-4**	**D-5**	**D-6**	**Média**	**Desvio Padrão**
pH H2O	6,7	6,5	7,1	6,9	6,8	7,2	6,8	0,3
Carbono (g/kg)	12,8	12,1	13,0	13,2	12,6	13,0	12,9	0,4
Nitrogênio (g/kg)	1,0	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,2
C : N	12,8	11	10	10,2	9	9,3	10,4	1,4
Al (cmolc/dm³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca (cmolc/dm³)	6,0	5,4	7,3	6,5	6,2	7,3	6,5	0,8
Mg (cmolc/dm³)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,1
Ca : Mg	12,00	10,80	14,60	13,00	10,33	18,25	13,16	2,93
Sódio (mg/dm³)	11,50	9,20	11,50	11,50	13,80	13,80	11,80	1,73
Potássio (mg/dm³)	81,90	78,00	81,90	120,90	152,10	85,80	100,10	29,97
Acidez Total (cmolc/dm³)	1,82	2,15	0,00	1,49	1,65	0,00	1,18	0,94
Fósforo (mg/dm³)	82,07	65,33	107,89	84,86	111,38	102,31	92,31	17,86
Valor S (cmolc/dm³)	6,76	6,14	8,06	7,36	7,25	7,98	7,26	0,73
Valor T (cmolc/dm³)	8,58	8,29	8,06	8,85	8,90	7,98	8,44	0,39
Valor V (%)	78,83	74,11	100,00	83,21	81,49	100,00	86,27	11,07
Cu (mg/dm³)	0,997	0,843	0,771	1,010	0,806	0,803	0,872	0,105
Fe (mg/dm³)	22,4	24,3	21,0	25,5	24,2	25,1	23,8	1,7
Mn (mg/dm³)	31,4	27,3	33,6	32,2	33,2	37,8	32,6	3,4
Zn (mg/dm³)	3,67	2,77	3,48	2,87	3,00	3,93	3,30	0,46

Tabela 5. Resultados da análise de fertilidade do solo, representada pelos parâmetros pH H_2O, carbono, nitrogênio, C:N, Al, Ca, Mg, Ca:Mg, sódio, potássio, acidez total, fósforo, Valores S, T e V, Cu, Fe, Mn, Zn, nas amostras coletadas em uniplicata fora da BET durante a terceira viagem a campo (30/07/2018) e os resultados do cálculo da média destes valores e do desvio padrão.

	Fora da BET							
Parâmetro	**F-1**	**F-2**	**F-3**	**F-4**	**F-5**	**F-6**	**Média**	**Desvio Padrão**
pH H2O	7,0	7,3	5,8	5,9	5,8	5,6	6,2	0,7
Carbono (g/kg)	8,7	8,7	8,1	5,4	5,0	3,9	6,6	2,1
Nitrogênio (g/kg)	0,9	0,9	1,0	0,4	0,5	0,5	0,7	0,3
C : N	9,7	9,7	8,1	13,5	10	7,8	9,8	2,0
Al (cmolc/dm³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,04
Ca (cmolc/dm³)	3,7	4,5	2,7	1,4	1,4	0,9	2,4	1,4
Mg (cmolc/dm³)	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	0,5	0,3
Ca : Mg	4,1	6,4	5,4	3,5	7,0	4,5	5,16	1,37
Sódio (mg/dm³)	6,90	11,50	6,90	4,60	16,10	4,60	8,43	4,52
Potássio (mg/dm³)	300,30	296,40	93,60	81,90	78,00	46,80	149,50	116,34
Acidez Total (cmolc/dm³)	0,00	0,00	3,14	1,65	2,15	2,48	1,57	1,31
Fósforo (mg/dm³)	36,68	31,03	47,18	33,96	33,67	17,45	33,33	9,60
Valor S (cmolc/dm³)	5,40	6,01	3,47	2,03	1,87	1,24	3,34	1,98
Valor T (cmolc/dm³)	5,40	6,01	6,61	3,68	4,02	3,72	4,90	1,27
Valor V (%)	100,00	100,00	52,54	55,16	46,58	33,38	64,61	28,43
Cu (mg/dm³)	0,968	0,838	1,01	0,866	0,987	0,556	0,870	0,169
Fe (mg/dm³)	20,8	21,2	30,3	37,2	36,4	34,7	30,1	7,4
Mn (mg/dm³)	30,3	32,1	16,7	10,7	14,5	7,94	18,7	10,2
Zn (mg/dm³)	2,09	2,21	2,70	1,22	2,09	1,83	2,02	0,49

A média dos pHs das amostras coletadas dentro da BET (6,8) é maior do que a mesma fora (6,2). De acordo com o Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo, elaborado pela Embrapa (2015), ambas as médias indicam valores neutros de

pH para o solo. Em estudo realizado por Benjamin (2013), um solo coletado dentro de uma BET foi comparado com um solo do entorno da mesma e também indicou que o solo dentro estava mais básico do que o de fora, apresentando pH 7,5 e 6,7, respectivamente. Quanto maior o pH do solo, maior o percentual de cátions básicos (ex.: Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}) em relação aos cátions ácidos (ex.: H^{+}, Al^{3+}) no solo (EMBRAPA, 2015). A acidez total é ligeiramente maior nas amostras de solo fora da BET (1,57 cmolc/dm³) quando comparadas às amostras de dentro da mesma (1,18 cmolc/dm³). A acidez total é utilizada para o cálculo da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases (EMBRAPA, 2015).

O valor T representa a capacidade de troca catiônica (CTC), ou seja, quanta carga o solo conseguiria reter. Os valores médios de T para as amostras de solo dentro (8,44 cmolc/dm³) e fora da BET (4,90 cmolc/dm³) indicam que o solo dentro da BET é capaz de reter mais cargas. Os valores V ou índices de saturação por bases encontrados indicam que ambos os solos não precisam de correção, pois apresentam valores V acima de 50% (EMBRAPA, 2015). Entretanto o valor médio de V encontrado na BET (86,27%) indica que este solo é mais fértil que o solo do entorno (64,61%), pois apresenta maior proporção da capacidade de troca catiônica ocupada por bases. Já o valor S representa a soma das bases trocáveis, ou seja, o número de cargas negativas neutralizadas pelos cátions básicos Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}. A média dos valores S dentro (7,26 cmolc/dm³) e fora da BET (3,34 cmolc/dm³) indicam que mais cargas negativas foram neutralizadas dentro da BET do que fora dela, demonstrando uma melhora no solo.

Os macronutrientes (Fósforo, Potássio, Nitrogênio, Cálcio, Magnésio e Enxofre) são aqueles que as plantas requerem em maiores quantidades (BARAK, n.d.). A concentração de fósforo nas amostras de solo dentro da BET (92,31 mg/dm³) são bastante superiores às concentrações no solo fora da BET (33,33 mg/dm³). Segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC, n.d.), bananeiras são classificadas como culturas perenes, e ambas as concentrações médias encontradas são consideradas altas pelo Instituto Agronômico (IAC, n.d.) para estas plantas. Os níveis médios de potássio encontrados no solo fora da BET (149,50 mg/dm³) são maiores do que os níveis médios dentro (100,10 mg/dm3). Entretanto, o desvio padrão das amostras de fora é bem maior, pois há pontos de coleta onde a concentração de potássio é maior do que em outros pontos, demonstrando uma não homogeneidade do solo ao redor da BET. Apesar disso, em todos os pontos de coleta, dentro e fora da BET, os níveis de potássio são considerados altos de acordo com o Guia Prático para

Interpretação de Resultados de Análises de Solo, elaborado pela Embrapa (2015). Níveis altos de potássio indicam pouco intemperismo e presença de minerais primários.

A análise de algumas relações entre nutrientes é necessária, pois o excesso ou a escassez de um nutriente pode prejudicar a absorção de outro. Uma destas relações é estabelecida entre o Carbono e o Nitrogênio. A média da relação Carbono-Nitrogênio (C:N) das amostras coletadas dentro da BET (10,4) é ligeiramente maior do que a mesma fora (9,8). Conforme o Instituto Internacional de Nutrição das Plantas (do inglês, *International Plant Nutrition Institute - IPNI*) (1995), para ambos os valores encontrados na relação C:N, a mineralização rápida dos nutrientes é favorecida, isto é, as formas orgânicas dos nutrientes são rapidamente convertidas pela ação de microrganismos a formas inorgânicas, disponíveis para a nutrição das plantas.

Outra relação importante acontece entre os nutrientes cálcio e magnésio. Os níveis de cálcio encontrados nas amostras de solo dentro da BET são consideravelmente maiores que os níveis fora. As médias dos níveis de magnésio em ambos os solos é de 0,5 cmolc/dm³. Desta forma, a relação Ca:Mg estabelecida no solo dentro da BET (13,16) é bem maior do que a mesma fora (5,16). O excesso de cálcio inibe a absorção de magnésio e o contrário também ocorre. Além disso, quanto maior a concentração de cálcio no solo, maior a absorção de boro. Sendo assim, desequilíbrios na relação Ca:Mg podem provocar desequilíbrios nutricionais nas plantas e prejudicar sua produção (IPNI, 1995).

Os micronutrientes (Cloro, Ferro, Boro, Manganês, Zinco, Cobre, Molibdênio e Níquel) são aqueles que as plantas requerem em menores quantidades (BARAK, n.d.). O ferro catalisa reações de formação de clorofila e realiza o transporte de oxigênio na planta (IPNI, 1995). Os valores médios de ferro fora da BET são bastante superiores aos valores dentro da BET. De acordo com o IAC (n.d.), as médias dentro (23,8 mg/dm³) e fora da BET (30,1 mg/dm³) são consideradas altas (> 12 mg/dm³). Já o manganês atua em processos enzimáticos das plantas, atua na síntese de clorofila, acelera a germinação e maturidade, e ativa reações metabólicas importantes nos vegetais (IPNI, 1995). O solo dentro da BET é mais rico em manganês, apresentando uma média 42% maior. Conforme IAC (n.d.), as médias dentro (32,6 mg/dm³) e fora da BET (18,7 mg/dm³) são consideradas altas (> 5 mg/dm³).

O zinco é um micronutriente limitante na produção das culturas, pois auxilia a síntese de substâncias para o crescimento, a ativação de reações metabólicas, a produção de

clorofila e a formação de carboidratos (IPNI, 1995). O solo dentro da BET é mais rico em Zn, apresentando uma média 39% maior. De acordo com o IAC (n.d.), as médias dentro (3,30 mg/dm³) e fora da BET (2,02 mg/dm³) são consideradas altas (> 1,2 mg/dm³). Já o cobre é catalisador de diversos processos metabolicos vegetais e é necessário para a formação de clorofila (IPNI, 1995). Os valores médios de cobre dentro e fora da BET não apresentam grande diferença entre si. De acordo com o IAC (n.d.), as médias dentro (0,872 mg/dm³) e fora da BET (0,870 mg/dm³) são consideradas altas (> 0,8 mg/dm³).

O sódio é essencial para algumas plantas, como os cactos, e prejudicial para outras. Os níveis médios de sódio encontrados dentro da BET (11,80 mg/dm³) são maiores do que os níveis médios do solo fora (8,43 mg/dm³). Níveis altos de sódio podem levar à diminuição da disponibilidade de nutrientes, compactação do solo e aumento da resistência à penetração das raízes (LABORSOLO, 2016).

Assim como o sódio, o alumínio é um elemento prejudicial para o desenvolvimento da muitas plantas. O resultado para análise de alumínio, tanto dentro da BET quanto fora, foi nula. Em solos onde o alumínio encontra-se acima de 1,0 cmolc/dm³ pode haver inibição do crescimento do sistema radicular das plantas, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes (IPNI, 1995). A quantidade de alumínio encontrada no resultado das análises pode indicar que este encontra-se imobilizado.

Com o resultado das análises de fertilidade, verifica-se que o solo de dentro da BET, com uma origem comum ao solo do entorno, foi beneficiado, tanto pelo efluente lançado no sistema, quanto pela vegetação plantada em sua camada superior. As maiores melhorias foram a neutralização do pH, a redução da acidez, o crescimento considerável de 72% da Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou valor T), o aumento da saturação por bases (valor V), o elevado crescimento de 117% da soma das bases trocáveis (valor S), a elevação de 42% de manganês e de 39% do zinco. Como malefício, houve o aumento do sódio do solo coletado dentro da BET em comparação com o solo do entorno. O aumento de sódio pode ser proveniente de produtos de higiene pessoal como xampus com alta concentrações de sais. Indica-se, principalmente aos usuários de sistemas alternativos de tratamento de esgotos, a utilização de produtos de higiene menos agressivos ao meio ambiente.

5.3. ANÁLISE DE CUSTOS

Em 2013, foi elaborado o Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim, a

pedido da prefeitura, com a contratação da empresa prestadora de serviços de consultoria Serenco Serviços de Engenharia Consultiva Ltda. Este plano indicou que, para coletar o esgoto gerado da população estimada para o ano de 2033 da bacia de Aldeia Velha (BA 08), há necessidade de construção de rede coletora com a extensão de cerca de 7 km e custo em torno de R$ 2,7 milhões; construção de 381 ligações domiciliares de esgoto, totalizando aproximadamente R$ 340 mil; instalação de estações elevatórias, estimadas em torno de R$ 170 mil e construção de 500 m de linhas de recalque, custando R$ 160 mil. Todos estes custo somados, apenas para coletar o esgoto gerado em Aldeia Velha, totalizam R$ 3.362.892,09. O cronograma proposto indicava início das obras em 2020 e finalização em 2026. O investimento total para o município de Silva Jardim ter seu esgoto coletado e tratado a nível terciário foi estimado em aproximadamente R$ 67 milhões.

BETs geralmente são construídas pelos futuros usuários, em mutirões com apoio da comunidade ou em cursos de saneamento ecológico. Desta forma, usualmente, não há um custo de mão de obra para a construção, apenas custo de materiais. O custo de materiais para a construção da BET varia de acordo com a técnica utilizada, fibrocimento ou alvenaria, e de acordo com o tamanho.

Em uma estimativa aproximada do custo de construção de uma BET fabricada em alvenaria, para atender a uma família de 4 pessoas, com as dimensões de 2 m de largura, 1 m de profundidade e 4 m de comprimento, o custo estimado é de R$ 1.102,03, conforme Tabela 6:

Tabela 6. Estimativa de custo de construção de uma BET para 4 usuários, feita em alvenaria.

Material	Preço unitário (R$)	Quantidade	Custo (R$)
Blocos de concreto de 20x20x40 cm	R$ 2,19	250 unidades	R$ 547,50
Cimento RS (Resistente a Sulfato)	R$ 34,00	2 sacos	R$ 68,00
Tubo de PVC de 100 mm	R$ 12,18	10 m	R$ 121,80
Tubo de PVC de 40 mm	R$ 13,09	2 m	R$ 8,73
Joelhos de 45° de PVC de 100 mm	R$ 7,90	2 unidades	R$ 15,80
Pneus	-	40 unidades	-
Entulho	-	2 m³	-
Areia	R$ 91,07	2 m³	R$ 182,14
Brita 1	R$ 79,03	2 m³	R$ 158,06
Mudas de bananeira, taioba, lírio, etc.	-	-	-
Total			R$ 1.102,03

Fonte: Quantidades adaptada de Costa (2014), utilizando o sítio . Acesso em: 03 mar. 2019.

Estimativa de custo de materiais apresentada por Costa (2014) para uma BET para 4 usuários feita em fibrocimento apresentou um custo bem menor: R$ 585,00, sendo uma alternativa de método construtivo mais viável economicamente. Entretanto, não foram encontrados outros estudos de estimativas aproximadas de custo de construção de BETs.

Com o custo total, apresentado no Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim, apenas para coletar o esgoto gerado por 381 casas em Aldeia Velha são necessários R$ 3.362.892,09. Confrontando esta quantia com os custos aproximados estimados para a construção de uma BET para uma família de 4 pessoas, feita em alvenaria (R$ 1.102,03) e feita em fibrocimento (R$ 585,00), seria possível construir 3.051 e 5.748 BETs, respectivamente.

A partir do cálculo inverso, baseado nos custos aproximados estimados para a construção de BET em alvenaria e em fibrocimento, para contemplar 381 casas com coleta e tratamento de esgotos, supondo que em cada uma destas casas moram 4

pessoas e que todos os terrenos são viáveis para a construção de BETs, calculou-se o custo total aproximado de R$ 419.873,43 para alvenaria e R$ 222.885,00 para fibrocimento. Desta forma, ainda que estes custos fossem passados ao poder público, seria possível economizar cerca de R$ 2.943.018,66 ou R$ 3.140.007,09, respectivamente.

A partir destes cálculos, nota-se que o custo apenas para a construção da rede coletora de esgotos é muito elevado em comparação ao custo aproximado para construção de BETs para o tratamento dos esgotos domésticos de Aldeia Velha. Vale salientar que estes custos são estimativas aproximadas e que os preços dos materiais podem variar de acordo com o local. Considerando as suposições feitas no presente estudo, o custo aproximado estimado para construção de uma BET para 4 pessoas apresenta-se como uma alternativa economicamente mais viável do que a construção de rede coletora para posterior tratamento centralizado do esgoto de Aldeia Velha. Estudos mais aprofundados da quantidade média de pessoas por casa, da viabilidade de terrenos para construção das BETs, da vontade dos moradores em ter BETs tratando seus efluentes e do interesse do poder público em financiar as construções seriam necessários para fazer uma aproximação mais realista da possibilidade deste projeto se tornar real.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a avaliação do desempenho de uma Bacia de Evapotranspiração (BET), localizada no distrito de Aldeia Velha, Silva Jardim, RJ, sobre os aspectos: tratamento de efluente, fertilidade do solo e custo de construção.

Sob o aspecto tratamento de efluentes, somente foi possível coletar amostras nos níveis da câmara de pneus e da camada de brita. A partir das análises laboratoriais verificou-se melhorias entre estes níveis nos parâmetros: pH, relação DQO/DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, orto fosfato, nitrato e nitrogênio total Kjeldahl.

Sob o aspecto fertilidade do solo, quando comparadas as amostras de solo de dentro e de fora da BET do presente estudo, verificou-se uma melhoria significativa dos parâmetros: pH, relação Ca:Mg, potássio, fósforo, soma de bases trocáveis (Valor S), capacidade de troca catiônica (Valor T), saturação por bases (Valor V), manganês e zinco.

Sob o aspecto custo de construção, quando estimado o custo aproximado para construção de uma BET para uma família de 4 pessoas, feita em alvenaria, e comparado ao custo apresentado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim apenas para a coleta do esgoto gerado pelo distrito de Aldeia Velha, verificou-se que seria possível construir 3051 unidades para famílias de 4 pessoas.

Tendo em vista a falta de coleta e tratamento de esgoto no Brasil, aliada às consequências de seu despejo inadequado para o meio ambiente, para a saúde pública e para a economia, juntamente com os altos custos de instalação de rede coletora e de sistemas centralizados de tratamento, torna-se extremamente necessário o incentivo do poder público a soluções simples e baratas para o tratamento de esgoto doméstico, principalmente em locais isolados. Desta forma, a BET do presente estudo é uma possível solução para locais não contemplados por rede coletora e/ou tratamento de esgoto, pois trata-se de um sistema estanque, que proporciona a melhoria da qualidade do solo com um custo relativamente baixo de construção.

7. RECOMENDAÇÕES

Para estudos futuros, recomenda-se a análise de BETs destiladoras, que tenham ponto de coleta anterior à bacia e possibilidade de coleta do líquido condensado, para análise do sistema de forma completa. Adicionalmente, recomenda-se a construção de uma BET e sua análise em ambiente controlado, onde possam ser simulados diferentes climas, estações do ano e composição do esgoto que entra no sistema, a fim de verificar o desempenho do mesmo em diversas condições e estabelecer uma norma técnica para sua construção.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:** Tanques sépticos – Unidades de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1997.

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

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

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017, *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf. Acesso em: 18 mar. 2018.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998, *Standard methods for the examination of water and wastewater – SMEWW*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed., Washington.

ARCHELA, E., CARRARO, A., FERNANDES, F., BARROS, O.N. F., ARCHELA, R. S., 2003, Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. Geografia, vol. 12, n. 1, p. 517-525. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6711/6055>. Acesso em: 05 abr. 2019.

ASSIS, A. S. F., 2016, *Otimização de método de floculação orgânica de concentração viral para avaliação do impacto de tratamento por lodo ativado na estação de tratamento de esgoto Barbosa Lage, Juiz de Fora – Minas Gerais*. Tese de D. Sc. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/3648/1/andressasilvinoferreiraassis.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BARAK, P., n.d., Essential Elements for Plant Growth. Department of Soil Science, College of Agricultural and Life Sciences, University of Wisconsin, Madison, WI, Estados Unidos da América. Disponível em:

<https://soils.wisc.edu/facstaff/barak/soilscience326/primary.htm>. Acesso em: 04 abr 2019.

BENJAMIN, A. M., 2013, *Bacia de Evapotranspiração: Tratamento de efluentes domésticos e de produção de alimentos*. M. Sc. Dissertação, Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1701/3/DISSERTACAO_Bacia%20de%20evapotranspira%C3%A7%C3%A3o....pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. "Estabelece as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico; [...] e dá outras providências", publicada no DOU de 08/01/2007 e retificada em 11/01/2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em 15 mar. 2018.

BRASIL. Proposta de Resolução CONAMA – Roberto Monteiro. “Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como estabelece as condições e padrões para o controle da disposição de resíduos e efluentes em solos e dá outras providências”. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/DC2BA37B/PropResolAguasSubt_RoberMonteiro.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. “Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras”, publicada no DOU nº 18, de 25/01/2001. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272. Acesso em 19 abr. 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. “Dispõe dobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de maio de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”, publicada no DOU de 16/05/2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf. Acesso em: 12 abr. 2018.

BREGNHOJ, H., 2005, “Rural water supply and sanitation projects”. In: Lonholdt, J. (coord.) *Water and waterwater management in the tropics*, chapter 6, IWA Publishing, Alliance House, London, UK.

BUENO, D. A. C., 2017, *Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: Desempenho em operação crítica*. M. Sc. dissertação, Universidade

Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/322173/1/Bueno_DanielAugustoCamargo_M.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CHENICHARO, C. A. L., 2007, “Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias”. 2 ed. Vol. 5. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

COELHO, V. M. T., DUARTE, U., n.d., “Tratamento de esgotos domiciliares pelo processo misto lagoa primária/Fossa séptica e infiltração”, *ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*. Disponível em: < https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22962>. Acesso em: 18 fev. 2019.

COSTA, A. P., 2014, Estudo de tecnologias sociais visando o tratamento do esgoto doméstico de unidade unifamiliar – Assentamento Nova São Carlos – São Carlos/SP, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-10032015-100121/&lang=br>. Acesso em: 02 mar. 2019.

CUBA, R. da S., CARMO, J. R., SOUZA, C. F., BASTOS, R. G., 2015, *Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface*. Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Revista Ambient. Água, vol. 10, n. 3, Taubaté – Jull.-Sep. 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/html/928/92840037010/>. Acesso em: 05 abr. 2019.

EMATER-MG, n.d., *Tanque de Evapotranspiraçåo para o tratamento de efluentes do vaso sanitário domiciliar*. Disponível em: http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf. Acesso em: 28 mar. 2018.

EMBRAPA, 2013, *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro*. Embrapa, Brasília, DF. Editora Universidade Rural, Seropédica, RJ.

EMBRAPA, 2015, *Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo*. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042994/1/Doc206.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

ESREY, S. A., GOUGH, J., RAPAPORT, D., SAWYER, R., SIMPSON-HÉBERT, M., VARGAS, J., WINBLAD, U., 1998, Ecological Sanitation, Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Suécia. Disponível em: <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Ecological_Sanitation.pdf>. Acesso em 03 mar. 2019.

FASTINO, A. S., 2007, *Estudo físico-químico do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo*. M. Sc. dissertação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufscar/6439/1923.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2019.

FREITAS, E. M., 2012, *Estudo comparativo entre reatores UASB e tanque séptico, em escala unifamiliar, no tratamento de esgoto de comunidade quilombola amazônica*. M. Sc. dissertação, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6268/1/Dissertacao_EstudoComparativoReatores.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2019.

FRIGO, F., SALVADOR, N. N. B., n.d., “Alternativas sustentáveis para o esgotamento sanitário de residências e de pequenos assentamentos rurais”. Universidade de Araraquara - UNIARA, Araraquara, SP, Brasil. Disponível em: <https://www.uniara.com.br/arquivos/file/eventos/2016/vii-simposio-reforma-agraria-questoes-rurais/sessao7a/alternativas-sustentaveis-esgotamento-sanitario.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

FUNASA, 2015, Manual de Saneamento. 4. ed. Brasília, 642 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/manual-de-saneamento?inheritRedirect=false>. Acesso em 25 fev. 2019.

FUNASA, 2017, *Panorama do Saneamento Básico no Brasil*. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>. Acesso em: 22 mar. 2018.

GALINDO, N., SILVA, W. T. L., NOVAES, A. P., GODOY, L. A. de, SOARES, M. T. S., GALVANI, F., 2010, Perguntas e Respostas: Fossa Séptica Biodigestora. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 26 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/908011/perguntas-e-respostas-fossa-septica-biodigestora>. Acesso em: 02 mar. 2019.

GALBIATI, A. F., 2009, *Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração*. M. Sc. Dissertação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Disponível em: <http://fazenda.ufsc.br/files/2017/02/2009-GALBIATTI-Tratamentode-aguas-negras-por-tanque-de-evapotranspiracao.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

GONÇALVES, R. F., 2006, Uso racional de água nas edificações. 2 ed. Rio de Janeiro, Abes, 352 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303985016_Uso_racional_da_agua_nas_edificacoes>. Acesso em 02 mar. 2019.

HACH, n.d., *Water Analysis Handbook*. Disponível em: <https://www.hach.com/wah#C>. Acesso em: 05 mar. 2019.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO, n.d., *Informação sovre interpretação de análise de solo*. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. Acesso em: 10 mar. 2019.

IBGE, 2010, *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, Diretoria de pesquisas, coordenação de população e indicadores sociais. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

IBGE, 2015, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Síntese de Indicadores 2013. 2 Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 296 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/liv94414>. Acesso em: 25 fev. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL, n.d., *Saneamento é saúde*. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-e-saude>. Acesso em 23 jan. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL, n.d.b, *Saneamento rural: um enorme desafio para o Brasil*, Portal do Saneamento. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-rural-um-enorme-desafio-para-o-brasil--portal-do-saneamento>. Acesso em: 9 jan. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015, *Ociosidade das redes de esgoto tornam mais distante a universalização do saneamento básico no país*. Disponível em:

http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ociosidade/release.pdf. Acesso em: 21 jan. 2019.

IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, 1995, *Manual Internacional de Fertilidade do Solo*. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/40A703B979D0330383257FA80066C007/$FILE/Manual%20Internacional%20de%20Fertilidade%20do%20Solo.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

JORDÃO, E. P., PESSOA, C. A., 2011, Tratamento de esgotos domésticos. 6 ed., Rio de Janeiro, ABES. Disponível em: <https://www.academia.edu/35702025/Tratamento_de_esgotos_domesticos_Eduardo_Pacheco_Jordão_Constantino_Arruda_Pessoa_6a_edição>. Acesso em: 25 fev. 2019.

LABORSOLO, 2016, *Solo compactado e baixa produtividade? Verifique a presença de sódio (Na) no solo!.* Disponível em: <https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/solo-compactado-e-baixa-produtividade-verifique-a-presenca-de-sodio-na-no-solo/>. Acesso em: 04 abr 2019.

LARSEN, D., 2010, *Diagnóstico do saneamento rural através de metodologia participativa. Estudo de caso: bacia Contribuinte ao reservatório do Rio Verde, região metropolitana de Curitiba, PR*. M.Sc, dissertação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26294/Diagnostico%20do%20Saneamento%20Rural%20Atraves%20de%20Metodologia%20Participativa%20-%20Estudo%20de%20Caso%20-%20Bacia%20do%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 fev. 2019.

LOUGON, M. S., ROCHA, S. A., GUIMARÃES, H. F., LOUZADA, F. L. R. O., GARCIA, G.de O., 2009, "*Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuais geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro".* XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0142_1112_01.pdf.> Acesso em: 12 abr. 2018.

MATOS, A. T., 2007, **Disposição de águas residuárias no solo**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerias, Brasil (Caderno Didático n. 38).

METCALF & EDDY, 2003. ***Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse***. 4 ed. Boston: Mcgraw-hill.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB*. Disponível em http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoBásico-2013.pdf. Acesso em: 15 mar. 2018.

MUÑOS, S. S., FERNANDES, A. P. M., 2013, ***Principais doenças infecciosas e parasitárias e seus condicionantes em populações humanas***. 1 ed. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, Universidade de São Paulo.

NUVOLARI, A., 2003, ***Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola***. 1 ed. São Paulo, Edgard Blucher.
OMS – Organização Mundial da Saúde, 2000, Diretrizes para a qualidade microbiológica de águas residuais tratadas, utilizadas em agricultura: recomendações para a revisão das diretrizes da OMS. Boletim da Organização Mundial da Saúde.

OPAS - Organização Pan-Americana Da Saúde, *OMS pede aumento de investimentos para atingir meta de banheiro para todos*, 1 out. 2018. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5776:oms-pede-aumento-de-investimentos-para-atingir-meta-de-banheiro-para-todos&Itemid=839>. Acesso em: 24 jan. 2019.

OTTERPOHL, R., 2001, *Black, brown, yellow, grey – the new colors of sanitation*. Water 21, p.37-41. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281317212_Black_brown_yellow_grey_-_The_new_colours_of_sanitation>. Acesso em: 27 fev. 2019.

OTTERPOHL, R., BRAUN, U., OLDENBURG, M., 2002, I*novative technologies for descentralised wastewater management in urban and peri-urban areas*. 5Th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems, Istambul-Turkey, 24-26 September 2002. Disponível em: <https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OTTERPOHL%20et%20al.

%202002%20Innovative%20technologies%20for%20decentralised%20wastewater%20management%20in%20urban%20and%20periurban%20areas.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2019.

PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A., THOMAZ-SOCCOL, V., 2001, **"**Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos". **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical** [online], vol.34, n.5, pp.421-428. ISSN 0037-8682. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0037-86822001000500004&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 17 abr. 2018.

PERES, L, HUSSAR, G. J., BELI, E., 2010, "Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora", Revista de Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal - SP, v. 7, n. 1 (Jan e Fev), pp. 20-36. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1010&article=460&mode=pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

PIRES, F., 2012, *Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no assentamento rural Olga Benário-MG*. M.Sc, dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3786>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PUREZA, F., CASTAGNA, G., 2015, Como cuidar de nossas águas? Associação Amigos Biblioteca Solidária. Disponível em: <http://fluxus.eco.br/wp-content/uploads/2017/10/1.-protegendo-as-aguas.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2019.

RODRIGUES, K. A., 2006, *Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água resíduária sintética*. Tese de D. Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-24102006-093027/publico/RODRIGUES2006.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

REBÊLO, M. M. P. S., 2011, *Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas*, M. Sc., dissertação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/sites/default/files/dissertacaomarcellemariapaissilvarebelo.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

RIO DE JANEIRO (Estado). Diretriz DZ 215 R-4, Diretriz de controle de carga orgânica de biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária, de 25 de setembro de 2007. Disponível em: <http://www.resol.com.br/textos/dz-0215.r-4.htm>. Acesso em: 02 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Estado). Norma Técnica NT-202 R-10, Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos, de 4 de dezembro de 1986. Diposnível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_pres_aspres/documents/document/zwff/mda2/~edisp/inea_006744.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

SANTIAGO, C. C., 2001, ***O solo como material de construção***. 2 ed. Editora da Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/1153/1/uso%20do%20solo%20como%20material%20de%20construcao.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2019.

SANTOS, E. S., MOTA, S., SANTOS, A. B., MONTEIRO, C. A. B., FONTENELE, R. M. M., 2011, Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso do esgoto doméstico tratado na piscicultura. Eng. Sanit. Ambient., vol 16, n. 1, p. 45-54. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n1/a08v16n1>. Acesso em: 05 abr. 2019.

SANTOS, M., 2013, Fossa de Evapotranspiração – TEVAP. Disponível em: <www.prezi.com/wotkvf651oog/fossa-de-evapotranspiracao-tevap/>. Acesso em: 02 mar. 2019.

SEZERINO, P. H., BENTO, A. P., DECEZARO, S. T., MAGRI, M. E., PHILIPPI, L. S., 2015, “Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais”, ***Engenharia Sanitária e Ambiental*** v. 20, n, 1, pp. 151-158, Jan./Mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000100151&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 20 fev. 2019.

SILVA, D. F., 2014, *Tecnologia alternativa para o tratamento de efluentes domésticos da área rural*. M. Sc., dissertação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1857/1/Diani%20Fernanda%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2019.

SILVA JARDIM. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim – RJ*, de 19 de julho de 2013. Elaborado por Serenco Serviços de Engenharia Consultiva Ltda. Disponível em: <https://pmsblsj.files.wordpress.com/2013/07/apresentac3a7c3a3o-2c2ba-semin-local_silva-jardim-final.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*, 2017. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf. Acesso em: 21 jan. 2019.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2017/Diagnostico_AE2017.zip>. Acesso em 27 mar. 2019.

TCE-RJ – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria-Geral do Planejamento, *Estudo Socioeconômico – Silva Jardim*, 2007. Disponível em: <https://www.tce.rj.gov.br/documents/10180/1092024/Estudo%20Socioeconomico%202007%20silvajardim.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

TCE-RJ – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria-Geral do Planejamento, *Estudos Socioeconômicos dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro – Silva Jardim*, 2016. Disponível em: <https://www.tce.rj.gov.br/estudos-socioeconomicos1?p_auth=aF2JdZGo&p_p_id=estudosocioeconomicomunicipios_WAR_tcerjestudosocioeconomicomunicipiosportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=2&_estudosocioeconomicomunicipios_WAR_tcerjestudosocioeconomicomunicipiosportlet_doSearch=doSearch&_estudosocioeconomicomunicipios_WAR_tcerjestudosocioeconomicomunicipiosportlet_javax.portlet.action=doSearch>. Acesso em: 05 mar. 2019.

TEMPO AGORA – Aldeia Velha – Médias Climáticas. Disponível em: <https://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/rj/AldeiaVelha>. Acesso em 11 jul. 2019.

TILLEY, E., ULRICH, L., LÜTHI, C., REYMOND, P., ZURBRÜGG, C., 2014, Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2. ed. Düben-dorf, Switzerland:

Swiss Federal Institute Of Aquatic Science And Technology (eawag). Disponível em: <http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/06/Compendium-Sanitation-Systems-and-Technologies.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

TONETTI, A. L., BRASIL, A. L., MADRID, F. J. P. L., FIGUEIREDO, I. C. S., SCHNEIDER, J., CRUZ, L. M. de O., DUARTE, N. C., FERNANDES, P. M., COASACA, R. L., GARCIA, R. S., MAGALHÃES, T. M., 2018, ***Tratamento de esgotos domésticos em comunidade isoladas: referencial para a escolha de soluções***. 1 ed. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2018/11/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Dom%C3%A9sticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepdf-compressed.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

US EPA – United States Environmental Protection Agency, 2004, *Guidelines for water reuse*. Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=129543>. Acesso em 04 abr. 2019.

VALLE, I. C., FRANCELINO, M. R., PINHEIRO, H. S. K., 2016, Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872016000200295>. Acesso em: 11 jul. 2019.

VIEIRA, I., 2006, Círculo de bananeiras. Disponível em: <http://www.setelombas.com.br/2006/10/circulo-de-bananeiras/>. Acesso em: 02 mar. 2019.

VIEIRA, I., 2010, BET – Bacia de Evapotranspiração. Disponível em: <http://www.setelombas.com.br/2010/10/bacia-de-evapotranspiracao-bet/>. Acesso em: 02 mar. 2019.

VON SPERLING, M., 1996, ***Princípios básicos do tratamento de esgotos***. 2 ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M., 2005, ***Princípios do tratamento biológico das águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto***. 3 ed.

Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

VYMAZAL, J., 2010, Constructed wetlands for wastewater treatment. Water ISSN 2073-4441. Disponível em: <http://smiley.nmsu.edu/pdnwc/docs/water-02-00530_wetlands%20wastewater%20treatment.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2019.

APÊNDICE 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

RESULTADOS DE ANÁLISES

Metodologias Utilizadas:

Colimetria = Método: 9.223 – Substrato Cromogênico - SMEWW - 20°Edição

Cor = Método: 8025 – APHA – Platinun-Cobalt Standard Method – HACH

DQO = Método: 5.220 (D) – Refluxo Fechado –SMEWW - 20°Edição

DBO = Método: 5.210 (B) – Método das Diluições - SMEWW - 20°Edição

Orto Fosfato = Método: 4.500 P(E) - Ácido Ascórbico – SMEWW - 20°Edição

NTK = Método:4.500N_{org} (C) (Digestão/Destilação/Titulação)-SMEWW - 20°Edição

Nitrato = Método: 8171 – Cadmiun Reduction Method – HACH

Sólidos Sedimentáveis = Método: 2.540(F) Cone de Inmhoff - SMEWW - 20°Edição

Rio, 02 de agosto de 2018

Maria Cristina Treitler Paixão
Bióloga Responsável Técnica
LEMA/DRHIMA/POLI/UFRJ
CRB:02942/02

C.T. Bloco D 121- Cidade Universitária – Ilha do Fundão
Telefones: 3938-7980 e 3938-7981
lema@poli.ufrj.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

RESULTADOS DE ANÁLISES

Interessado: Érika Rocha Guimarães

AMOSTRAS	Ponto 1	Ponto 2
16/07		
Cor (PtCO)	296	Acima da Faixa
DQO (mg/L)	563	374
DBO (mg/L)	134,5	119,9
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	7.500.000	46.000.000
Escherichia coli (NMP/100 ml)	1.500.000	46.000.000
Orto Fosfato (mg/L)	7,19	11,34
Nitrato (mg/L)	34,00	35,00
NTK (mg/L)	85,40	140,00
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	15,5	2,5
23/07		
Cor (PtCO)	265	530
DQO (mg/L)	339	397
DBO (mg/L)	30	72,8
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	150.000.000	150.000.000
Escherichia coli (NMP/100 ml)	93.000.000	150.000.000
Orto Fosfato (mg/L)	5,79	9,88
Nitrato (mg/L)	2,60	14,80
NTK (mg/L)	91,00	106,40
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	11,0	7,0
30/7		
Cor (PtCO)	229	Acima da Faixa
DQO (mg/L)	691	592
DBO (mg/L)	138,3	nd
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	4.600.000	11.000.000
Escherichia coli (NMP/100 ml)	4.600.000	11.000.000
Orto Fosfato (mg/L)	5,03	9,83
Nitrato (mg/L)	0,00	9,50
NTK (mg/L)	74,20	92,40
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	20,0	18,9

Os resultados desta análise têm significação restrita e se aplicam somente às amostras trazidas pelo interessado.

Rio, 02 de agosto de 2018

Maria Cristina Treitler Paixão
Bióloga Responsável Técnica
LEMA/DRHIMA/POLI/UFRJ
CRB:02942/02

C.T. Bloco D 121- Cidade Universitária – Ilha do Fundão
Telefones: 3938-7980 e 3938-7981
lema@poli.ufrj.br

APÊNDICE 2

Embrapa
Solos

POLO INOVASOLOS

Data de entrada: 04/09/18
Data de saída: 24/09/18
Cliente: Caio T. Inácio/EriKa/UFRJ
Nº Atividade: 02.14.07.001.00.03.001
Local: Rio de Janeiro/RJ
Amostra: 12/solo
Série: 2916-1 a 2917-2 (Via Fertilidade)

Resultado de Nitrogênio (g/kg)

Nº	Amostra	Nitrogênio
1	1- Dentro	1,0
2	2- Dentro	1,1
3	3- Dentro	1,3
4	4- Dentro	1,3
5	5- Dentro	1,4
6	6- Dentro	1,4
7	7- Fora	0,9
8	8- Fora	0,9
9	9- Fora	1,0
10	10- Fora	0,4
11	11- Fora	0,5
12	12- Fora	0,5

Embrapa
Solos

POLO INOVASOLOS

Data de entrada: 04/09/18
Data de saída: 17/09/18
Cliente: Caio T. Inácio/EriKa/UFRJ
Nº Atividade: 02.14.07.001.00.03.001
Local: Rio de Janeiro/RJ
Amostra: 12/solo
Série: 2916-1 a 2917-2 (Via Fertilidade)

Resultado de Carbono (g/kg)

Nº	Amostra	Carbono
1	1- Dentro	12,8
2	2- Dentro	12,1
3	3- Dentro	13,0
4	4- Dentro	13,2
5	5- Dentro	12,6
6	6- Dentro	13,0
7	7- Fora	8,7
8	8- Fora	8,7
9	9- Fora	8,1
10	10- Fora	5,4
11	11- Fora	5,0
12	12- Fora	3,9

Cliente: Caio T. Inacio/Erika/UFRJ – 02.14.07.001.00.03.001
Local: Rio de Janeiro/RJ

Amostra		Cu mg/dm3	Fe mg/dm3	Mn mg/dm3	Zn mg/dm3
1	1-Dentro	0,997	22.4	31.4	3.67
2	2-Dentro	0,843	24.3	27.3	2.77
3	3-Dentro	0,771	21.0	33.6	3.48
4	4-Dentro	1,01	25.5	32.2	2.87
5	5-Dentro	0,806	24.2	33.2	3.08
6	6-Dentro	0,803	25.1	37.8	3.93
7	7-Fora	0,968	20.8	30.3	2.09
8	8-Fora	0,838	21.2	32.1	2.21
9	9-Fora	1,01	30.3	16.7	2.70
10	10-Fora	0,866	37.2	10.7	1.22
11	11-Fora	0,987	36.4	14.5	2.09
12	12-Fora	0,556	34.7	7.94	1.83

*Teor do elemento abaixo do limite da técnica utilizada.

Embrapa Solos

Resultados de Análise de Fertilidade do Solo

Código do Cliente:	1515
Nome do Cliente:	Caio T. Inácio
Nº Atividade:	02.14.07.001.00.03.001
Local:	Rio de Janeiro/RJ
Série:	2916-2917
Data de entrada:	9/4/2018
Data de saída:	9/19/2018

Expressão dos resultados:

Amostra	pH H2O	Al	Ca	Mg	Sódio	Potássio	ACIDEZ TOTAL
	01:02.5	cmolc/dm3			mg/dm3		cmolc/dm3

Série 2916

Amostra	pH H2O	Al	Ca	Mg	Sódio	Potássio	ACIDEZ TOTAL
10- Fora	5,9	0	1,4	0.4	4.60	81.90	1.65
9- Fora	5,8	0	2,7	0.5	6.90	93.60	3.14
8- Fora	7,3	0	4,5	0.7	11.50	296.40	0.00
7- Fora	7,0	0	3,7	0.9	6.90	300.30	0.00
6- Dentro	7,2	0	7,3	0.4	13.80	85.80	0.00
5- Dentro	6,8	0	6,2	0.6	13.80	152.10	1.65
4- Dentro	6,9	0	6,5	0.5	11.50	120.90	1.49
3- Dentro	7,1	0	7,3	0.5	11.50	81.90	0.00
2- Dentro	6,5	0	5,4	0.5	9.20	78.00	2.15
1- Dentro	6,7	0	6,0	0.5	11.50	81.90	1.82

Série 2917

Amostra	pH H2O	Al	Ca	Mg	Sódio	Potássio	ACIDEZ TOTAL
12- Fora	5,6	0,1	0,9	0.2	4.60	46.80	2.48
11- Fora	5,8	0	1,4	0.2	16.10	78.00	2.15

Fósforo	Valor S	Valor T	Valor V
mg/dm3	cmolc/dm3		(%)

Fósforo	Valor S	Valor T	Valor V
33.96	2.03	3.68	55.16
47.18	3.47	6.61	52.54
31.03	6.01	6.01	100.00
36.68	5.40	5.40	100.00
102.31	7.98	7.98	100.00
111.38	7.25	8.90	81.46
84.86	7.36	8.85	83.21
107.89	8.06	8.06	100.00
65.33	6.14	8.29	74.11
82.07	6.76	8.58	78.83

Fósforo	Valor S	Valor T	Valor V
17.45	1.24	3.72	33.38
33.67	1.87	4.02	46.58