

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN - RS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Geana Cristina These

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA UNIFAMILIAR DE BAIXO CUSTO
PARA TRATAMENTO DE ESGOTO: TANQUE SÉPTICO E FILTRO
ANAERÓBIO ECONÔMICO**

Frederico Westphalen, RS
2021

Geana Cristina These

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA UNIFAMILIAR DE BAIXO CUSTO
PARA TRATAMENTO DE ESGOTO: TANQUE SÉPTICO E FILTRO
ANAERÓBIO ECONÔMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia ambiental e sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen (UFSM-FW), como requisito para obtenção do título **de Engenheira Ambiental e Sanitarista.**

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Samara Terezinha Decezaro

Frederico Westphalen, RS
2021

Geana Cristina These

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA UNIFAMILIAR DE BAIXO CUSTO
PARA TRATAMENTO DE ESGOTO: TANQUE SÉPTICO E FILTRO
ANAERÓBIO ECONÔMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia ambiental e sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen (UFSM-FW), como requisito para obtenção do título de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Aprovado em 17 de agosto de 2021:

Samara Terezinha Decezaro, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Raphael Corrêa Medeiros, Dr. (UFSM)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meus caminhos.

À minha mãe Noemia These por me ensinar a ser forte e acreditar em mim, por me amparar quando tudo parecia estar dando errado, pelo amor incondicional, paciência e compreensão nos momentos desafiadores;

Ao meu pai Aldino These que sempre me fez enxergar que eu posso e consigo tudo aquilo em que eu me dedicar e por ter sempre as palavras certas nos momentos certos, grata por todo amor e carinho;

À minha irmã Sofia Lara, que sofreu junto comigo a distância e sempre entendeu a minha ausência, és o maior amor da minha vida;

À minha orientadora, professora Samara Terezinha Decezaro, que não mediu esforços para que esse trabalho fosse realizado. Pelas caronas nos dias de coleta, o auxílio em todas as análises no laboratório, por me incentivar e confiar em mim e por ser sempre muito solícita, humana e dedicada;

Ao professor Alexandre Couto Rodrigues, que fez a ponte com a Emater/Ascar, direcionando essa pesquisa para mim, grata pela confiança;

Aos extensionistas da Emater/Ascar RS, em especial a Marlete e o Carlos, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, obrigada pelas idas até Caiçara e por estarem disponíveis para nos auxiliar;

Aos proprietários da residência onde o sistema foi instalado.

Às laboratoristas, Fernanda e Michele, que me auxiliaram em todas as análises em laboratório;

Aos meus amigos, obrigada por me incentivarem, entenderem meus dias ruins e me mostrarem diariamente o que eu mesma não conseguia ver, sem eles teria sido muito mais difícil;

Aos meus colegas, em especial ao Mauricio e Cassiano, que sempre me aconselharam e me deram suporte para subir os degraus da graduação;

À Universidade pública, gratuita e de qualidade, pela oportunidade de desenvolver e concretizar este estudo;

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, grata pelos ensinamentos, pelas trocas sinceras, pela amizade e carinho.

RESUMO

DESEMPENHO DE UM SISTEMA UNIFAMILIAR DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO: TANQUE SÉPTICO E FILTRO ANAERÓBIO ECONÔMICO

AUTORA: Geana Cristina These

ORIENTADORA: Samara Terezinha Decezaro

O tratamento de esgoto doméstico é um pilar do saneamento básico que poucas pessoas têm acesso no país. Isso fica ainda mais restrito quando se fala da comunidade rural, onde se torna difícil a cobertura por rede de coleta de esgoto para o tratamento convencional. Frente a isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgoto doméstico descentralizado, utilizando material de baixo custo, tornando o sistema acessível para locais com tratamento de esgoto inadequado ou inexistente. Foi instalado um sistema contendo tanque séptico e filtro anaeróbio econômico TSFAE e vala de infiltração para disposição final do efluente. O sistema foi feito com três bombonas de polietileno em série, sendo as duas primeiras utilizadas para o tanque séptico (duas câmaras em série) e a última para o filtro anaeróbio, que foi preenchido com meio suporte de pedras. O sistema recebeu o esgoto não segregado de uma residência composta por quatro pessoas. Foram realizadas amostragens e análises de esgoto bruto e tratado durante um período de 16 meses para avaliar a eficiência de cada unidade e a eficiência total do sistema. As eficiências médias de remoção obtidas no sistema foram de 67 %, 54 %, 67 %, 62 %, para DBO, DQO, ST e SST, respectivamente. Para NTK, P-PO₄³⁻, Coliformes Totais e *E. coli* as eficiências médias de remoção foram de 35%, 50%, 1,35 log e 0,96 log, respectivamente. Os valores obtidos ficaram dentro da faixa esperada pela literatura, exceto DQO, o único parâmetro que teve remoção abaixo do esperado. No entanto, como as concentrações no esgoto bruto foram elevadas (esgoto forte), o efluente final apresentou concentrações superiores às permitidas pela legislação brasileira. O sistema TSFAE constitui uma alternativa acessível e eficiente, sendo bastante atrativa devido ao baixo custo, fácil implementação e operação.

Palavras-chave: Filtro Anaeróbio. Tanque Séptico Econômico. Tecnologias alternativas. Tratamento descentralizado de esgoto.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF A LOW COST SINGLE-FAMILY SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT: SEPTIC TANK AND ECONOMIC ANAEROBIC FILTER

AUTHOR: Geana Cristina These

ADVISOR: Samara Terezinha Decezaro

Domestic wastewater treatment is a pillar of basic sanitation that, currently, few people have access to in the country. This is even more restricted when we talk about rural communities, where it is difficult to cover the wastewater collection network for conventional treatment. Therefore, the objective of this study was to evaluate the performance of a decentralized domestic wastewater treatment system, using low cost material, making the system accessible to places with inadequate or nonexistent wastewater treatment. A system containing a septic tank and a cost-effective anaerobic filter (STCAF) and an infiltration trench for final disposal of the effluent was installed. The STCAF system was made with three polyethylene containers straight, the first two being used for the septic tank (two chambers in a row) and the last one for the anaerobic filter, which was filled till half with a stone support. The system received unsegregated wastewater from a four-person household. Sampling and analysis of raw and treated wastewater were performed over a period of 16 months to evaluate the efficiency of each unit and the total efficiency of the system. The average removal efficiencies obtained in the STCAF system were 67%, 54%, 67%, 62%, for BOD, COD, TS and TSS, respectively. For TKN, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, total coliforms and *E. coli* the average removal efficiencies were 35%, 50%, 1.35 log and 0.96 log, respectively. The values obtained were within the range expected by the literature, except COD, the only parameter that had removal below expectations. However, as the concentrations in the raw wastewater were high (strong wastewater), the final effluent presented concentrations higher than those allowed by the Brazilian legislation. The STCAF system constitutes an accessible and efficient alternative, being quite attractive due to its low cost, easy implementation and operation.

Keywords: Alternative Technologies. Anaerobic Filter. Decentralized wastewater treatment. Economic Septic Tank.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	SITUAÇÃO ATUAL DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL	11
3.2	TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO SANITÁRIO	12
3.3	SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ZONA RURAL	14
3.4	TANQUE SÉPTICO	17
3.4.1	Funcionamento do Tanque Séptico	18
3.5	FILTRO ANAERÓBIO PÓS TANQUE SÉPTICO	19
3.6	DISPOSIÇÃO FINAL – VALA DE INFILTRAÇÃO	22
4	METODOLOGIA	25
4.1	INSTALAÇÃO DO SISTEMA	27
4.2	COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISE	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	TEMPERATURA E PH	32
5.2	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO E DQO	33
5.3	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS	38
5.4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PARA NITROGÊNIO E FÓSFORO	40
5.5	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PARA REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E <i>E.coli</i>	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7	SUGESTÕES	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A	53

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico compreende os serviços de abastecimento de água, coleta, tratamento e disposição final de esgoto, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além de drenagem e manejo de águas pluviais (BRASIL, 2007). Se tratando de coleta e tratamento de esgoto, o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS (2019) apresenta que apenas 54% da população total do país é atendida com rede coletora de esgoto.

A Lei 14.026 de julho de 2020 atualiza o Marco Legal do Saneamento, a Lei 11.445 de 2007, e tem como objetivo mudar esse cenário, trazendo a universalização do saneamento até 2035 (BRASIL, 2020), porém, para isso, muitos desafios devem ser vencidos, visto que locais pertencentes a comunidades isoladas ou rurais são os mais desfavorecidos frente a coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Rural – PNSR (2019), áreas rurais próximas a centros urbanos ou adensamentos isolados são as que tem maior índice de atendimento com rede coletora de esgoto ou tecnologias consideradas eficientes e adequadas, onde menos de 40% da população tem atendimento. Esse número diminui quando se refere a áreas mais distantes de adensamentos isolados ou aglomerações, com somente cerca de 15% da população destas áreas com atendimento adequado.

Diante desta situação e da dificuldade que se tem de atender essa população com a coleta e tratamento de esgoto convencional e centralizado, visto a distância de centros urbanos e estações de tratamento de esgoto, uma das possibilidades é adotar sistemas descentralizados de esgoto, que podem ser individuais ou coletivos. Sistemas descentralizados de esgoto possibilitam o tratamento e disposição do esgoto tratado no próprio domicílio em que é gerado (FUNASA, 2020).

Muitos sistemas descentralizados vêm sendo estudados e difundidos atualmente. A ideia que esses sistemas trazem é a de baixo custo, de fácil instalação e operação, não necessitando operadores técnicos diariamente nestes locais. As tecnologias descentralizadas para o tratamento de esgoto são bem variadas, e, segundo o PNSR (2019), a tecnologia adequada deve ser escolhida dependendo de fatores locais, como a disponibilidade hídrica, a profundidade do lençol freático, e se o tratamento terá a separação de águas cinzas e negras ou não.

O Tanque Séptico (TS) é uma unidade empregada no tratamento descentralizado de esgotos que já existe há muito tempo e se encontra em muitas residências do país para o tratamento de esgoto doméstico. O projeto, construção e operação desse sistema é relatado na NBR 7229/1993 (ABNT, 1993) e a NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) trata sobre algumas das possibilidades para tratamento complementar de efluentes de tanques sépticos, como o filtro anaeróbio, e também de disposição final, como as valas de infiltração.

Nos tanques sépticos, as eficiências médias de remoção de sólidos suspensos e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são de 50% e 30%, respectivamente (JORDÃO; PESSÔA, 2011). Já nos filtros anaeróbios, as eficiências para remoção de DBO variam de 70 a 85%, segundo os mesmos autores. Portanto, a configuração de tanque séptico seguida de filtro anaeróbio constitui-se numa tecnologia muito atrativa para remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos, principalmente em locais desprovidos de rede de coleta, oferecendo como principais vantagens o baixo custo de implantação e operação e a grande simplicidade operacional.

A tecnologia descentralizada desta pesquisa é composta por um sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e vala de infiltração. Para reduzir os custos de implantação do sistema, optou-se por construir o sistema com materiais alternativos. Assim, o sistema utilizou três bombonas de polietileno em série, as duas primeiras projetadas para funcionarem como tanque séptico e a terceira como filtro anaeróbio, que foi preenchido com pedras como meio filtrante. Assim, o trabalho se justifica com o intuito de avaliar a eficiência de um sistema composto por tanque séptico e filtro anaeróbio constituído de material alternativo, com vista à difusão de tecnologias de baixo custo a fim de contribuir com a universalização do saneamento, diminuir a desigualdade social e auxiliar no desenvolvimento sustentável da comunidade rural.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgoto doméstico composto por tanque séptico e filtro anaeróbio econômico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalação e acompanhamento do sistema;
- Monitoramento físico-químico do esgoto bruto e tratado para avaliar o desempenho do sistema quanto a remoção de matéria orgânica carbonácea, sólidos (totais e suspensos), fósforo, nitrogênio e coliformes (totais e *E. coli*);
- Comparar o sistema com outras tecnologias de baixo custo para tratamento de esgoto descentralizado e;
- Avaliar a qualidade do efluente final quanto ao atendimento aos padrões de lançamento da legislação brasileira vigente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

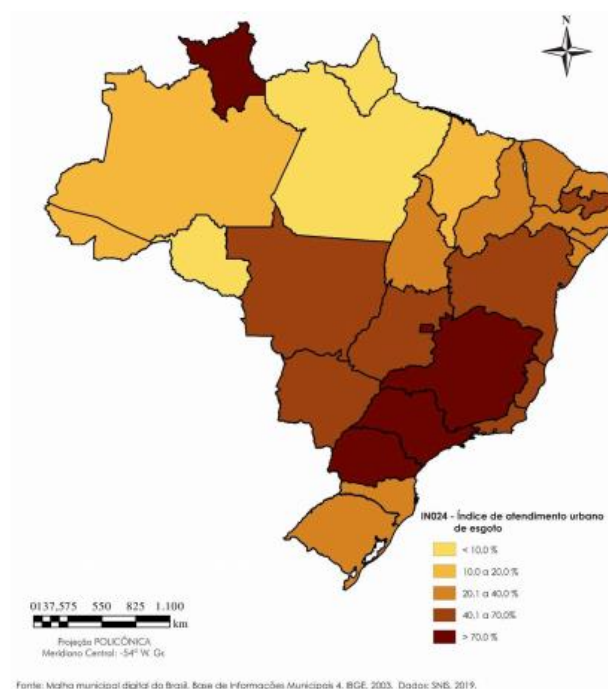
3.1 SITUAÇÃO ATUAL DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

O SNIS apresenta o diagnóstico com o nível de atendimento de água e esgoto dos municípios brasileiros. Conforme o relatório de 2019, apenas 54% da população total do país é atendida com rede coletora de esgoto e, deste esgoto coletado, somente 78,5% recebe tratamento, com isso, 51% de todo esgoto gerado não recebe tratamento (SNIS, 2019).

Conforme o SNIS (2019), o índice médio de atendimento por rede coletora de esgoto acima de 70% foi alcançado apenas no Distrito Federal e nos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Roraima. O índice de municípios com 100% de atendimento por esgotamento sanitário na zona urbana corresponde a apenas 10,6% da população do país.

A Figura 1 apresenta o índice de atendimento por rede coletora de esgoto na zona urbana dos estados do Brasil.

Figura 1 – Mapa de atendimento urbano com rede coletora de esgoto



Fonte: SNIS (2019).

Se tratando de comunidade rural, o Plano Nacional de Saneamento Rural divide o atendimento de esgotamento sanitário em três grandes grupos, que são: População que recebe o atendimento adequado de esgotamento sanitário, ou seja, que possui rede coletora de esgoto seguida de tratamento, fossa séptica ou fossa seca; População que tem o atendimento precário, tendo a rede coletora de esgoto, porém, não seguida de tratamento ou que possui fossa rudimentar; e, pessoas sem atendimento que são aquelas que não se enquadram nas outras duas e utilizam práticas de saneamento consideradas inadequadas (BRASIL, 2019).

Segundo o PNSR (2019), as áreas rurais que têm maior atendimento de rede coletora de esgoto ou outra tecnologia considerada adequada são aquelas que estão mais próximas dos centros urbanos ou que estão em adensamentos isolados, com 37,5% e 39,7% respectivamente. Populações com menos adensamento isolado ou sem aglomerações tem apenas cerca de 15,2% e 13,6% de atendimento adequado de esgotamento sanitário, respectivamente. Por sua vez, esses locais apresentam maior porcentagem de atendimento precário, de aproximadamente 63% e 52,5%, respectivamente, ou ainda, nenhum atendimento.

3.2 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO SANITÁRIO

O termo esgoto caracteriza despejos vindos de diferentes usos e fontes, podendo ser de origem doméstica, industrial, comercial, de utilidade pública, de áreas agrícolas, entre outras (JORDÃO; PÊSSOA, 2011). Segundo Von Sperling (2007), a característica dos esgotos se dá em função do uso da água, que pode variar dependendo do clima, questão social e econômica, hábitos populacionais e da forma que o uso é exercido.

Jordão e Pessôa (2011) dividem o esgoto em duas classes, esgoto sanitário e esgoto industrial. O esgoto sanitário é aquele que provém principalmente das residências, edifícios comerciais, instalações que contenham banheiros, lavanderias, cozinhas ou de qualquer utilização de água para uso doméstico. Este esgoto é composto principalmente por urina, fezes, água de banho, restos de comida, sabão, detergente e águas de lavagem. Também, junta-se a esse esgoto, uma parcela de águas pluviais e águas de infiltração. Já os efluentes industriais são muito diferentes entre si e vem de usos distintos da água, assim, suas características estão baseadas no processo produtivo no qual a água é submetido.

O tratamento para o esgoto sanitário após coletado nos centros urbanos é geralmente o tratamento convencional, e este, pode ser dividido em preliminar, primário, secundário e terciário ou avançado (METCALF; EDDY, 2016). Segundo os mesmos autores, o tratamento preliminar serve para remoção da parte física do esgoto, como sólidos grosseiros, areia e graxas. Já o tratamento primário, tem a função de remover sólidos suspensos e uma parte da matéria orgânica, e estes, são removidos de maneira geral através de processos físicos. O tratamento secundário remove matéria orgânica biodegradável e sólidos suspensos, e é feito, de maneira geral, por processos biológicos e químicos. Já o tratamento terciário tem como objetivos a remoção dos sólidos suspensos residuais, após o tratamento secundário, a desinfecção do efluente e a remoção de nutrientes, e pode ser realizado por meio de processos físicos, químicos e biológicos.

O tratamento de esgoto ocorre através dos processos de tratamento, que podem ser físicos, químicos e biológicos. Estes, são classificados como processos unitários, embora possam trabalhar em conjunto em alguns sistemas de tratamento (METCALF; EDDY, 2016).

Conforme Von Sperling (2007), o processo físico unitário é aquele cuja aplicabilidade se dá por forças físicas. Jordão e Pessôa (2011) explicam que neste processo há a remoção de substâncias em suspensão do esgoto, que se separam do líquido.

O processo químico unitário designa-se para aquele onde se adicionam produtos químicos e o tratamento ocorre através das reações químicas (VON SPERLING, 2007). Ainda sobre este processo, Jordão e Pessôa (2011) relatam que o processo raramente ocorre isoladamente, e que é empregado basicamente quando processos físicos e biológicos não atendam à demanda de tratamento necessária para reduzir ou remover poluentes.

Já o processo biológico unitário, segundo Von Sperling (2007), é aquele onde há a atividade biológica para remoção de contaminantes. Este processo, depende de organismos já presentes no esgoto, e predomina a transformação de componentes complexos em simples (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O grau de tratamento do esgoto a ser escolhido depende das características do esgoto, dos usos da água a jusante do lançamento, bem como das características do corpo receptor e legislações vigentes (JORDÃO; PESSÔA, 2011). Segundo os autores, o grau de tratamento deve ser compatível com os padrões de qualidade do

corpo receptor, que devem ser mantidos, bem como a capacidade de autodepuração do corpo receptor.

A legislação que determina os padrões de qualidade do efluente para lançamento em corpos receptores é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 de 2011 (BRASIL, 2011). A resolução fixa parâmetros, padrões, condições e diretrizes para a gestão do lançamento do efluente nas águas receptoras.

3.3 SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ZONA RURAL

Pela distância de centros urbanos e na ausência de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) próximas, a comunidade rural ou comunidades isoladas tem a possibilidade de adotar sistemas descentralizados tratamento de esgoto doméstico, os quais podem ser individuais ou coletivos. As soluções individuais têm a finalidade de tratar e dispor o esgoto no próprio domicílio em que o esgoto é gerado (FUNASA, 2020).

Buscam-se sistemas descentralizados que interajam bem ao meio o qual serão aplicados, que melhorem a saúde e a higiene da comunidade rural, que sejam de baixo custo e que não ultrapassem os limites da cultura e conhecimento local (TONETTI, 2018).

Bueno (2017) divide as vantagens e desvantagens dos sistemas descentralizados em quatro áreas, que são: social, econômico, ambiental e operacional. Na esfera social, as vantagens são basicamente a diminuição do risco da saúde humana, a adaptação segundo as características do local e os costumes da população, podem ser aplicados em diferentes âmbitos socioeconômicos e, geralmente são aceitos facilmente pelos usuários e órgãos fiscalizadores (BUENO, 2017).

Na área econômica, as principais vantagens são que os sistemas descentralizados geralmente não têm custo de operação e os custos de instalações e manutenção são baixos, a utilização da energia é baixa ou nula, gerando pouco ou nada de custo. Além disso, pode-se aplicar sistema de reuso da água, diminuindo o consumo de água (BUENO, 2017).

Quantos às vantagens ambientais desses sistemas, Bueno (2017) cita a necessidade de pouca área para construção a depender do sistema escolhido, a

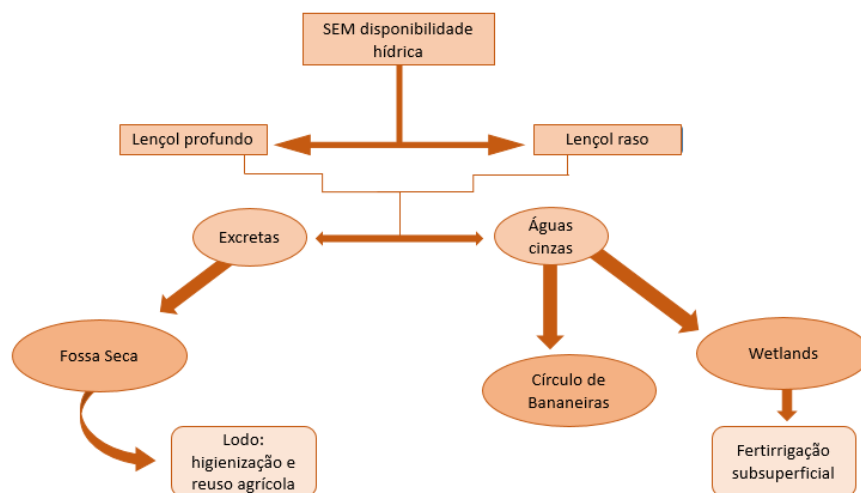
diminuição do uso dos recursos naturais, por reduzir a poluição dos mesmos e melhorar as condições ambientais do local, além de proteger o meio ambiente e diminuir a escassez de água devido ao possível reuso.

Nas vantagens operacionais estão incluídos a flexibilidade operacional dos sistemas, a construção conforme a necessidade disposta pelos usuários, podendo ser ampliado ao longo do tempo e aumento da demanda, não tem necessidade de uso de energia, ou seja, sistemas autossuficientes, tem pouca ou nula necessidade de mão de obra especializada (BUENO, 2017).

Tonetti (2018) afirma que, apesar dos sistemas descentralizados terem muitas vantagens quando comparados aos sistemas convencionais, o maior desafio frente às tecnologias é a escolha do sistema para tratamento de efluente mais adequado em cada local. Além disso, as variáveis que fazem parte da escolha são muitas e todas devem ser levadas em consideração.

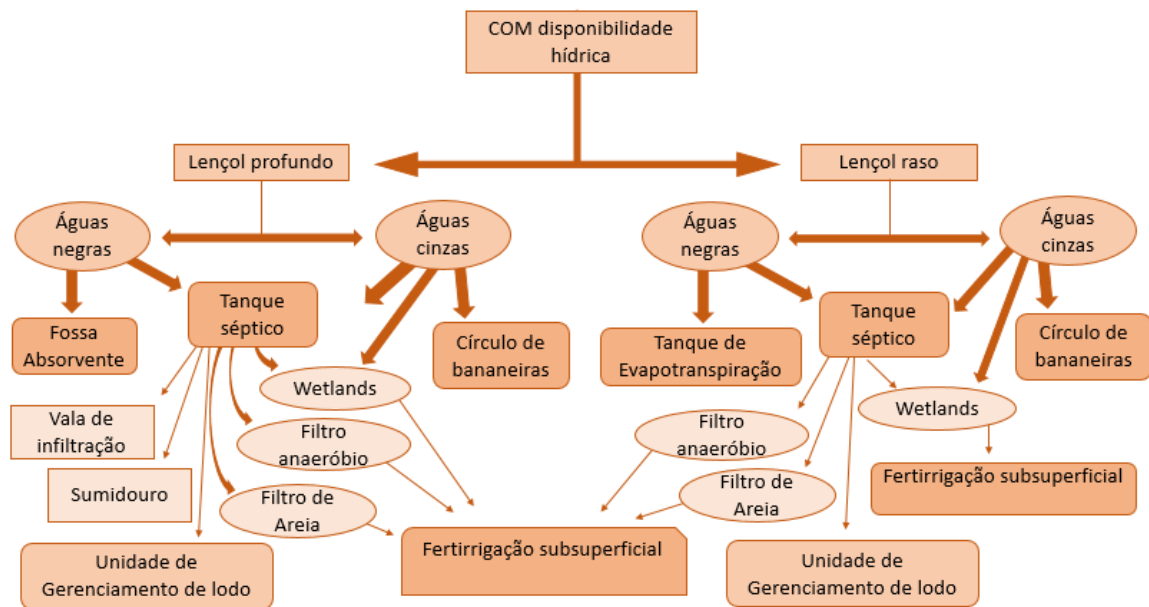
O PNSR separa as tecnologias individuais para tratamento do esgoto doméstico em alguns parâmetros que devem ser levados em consideração para a escolha da tecnologia mais adequada, que são eles: disponibilidade hídrica, profundidade do lençol freático e a separação das águas cinzas das águas fecais e de excretas (BRASIL, 2019). Nas Figuras 2 e 3, são apresentados os fluxogramas desenvolvidos no PNSR para tecnologias descentralizadas para locais sem disponibilidade hídrica e com disponibilidade hídrica, respectivamente.

Figura 2 – Fluxograma para escolha de tecnologia descentralizada para locais sem disponibilidade hídrica



Fonte: Adaptado de PNSR (2019).

Figura 3 - Fluxograma para escolha de tecnologia descentralizada para locais com disponibilidade hídrica



Fonte: Adaptado de PNSR (2019).

Várias tecnologias aplicadas aos sistemas descentralizados de esgoto têm sua instalação, operação e manutenção muito simplificados, apresentam baixo custo e mesmo assim, garantem uma boa remoção da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos. Algumas dessas tecnologias ainda não estão inseridas na legislação, porém, estão sendo muito usadas nas comunidades rurais e isoladas por terem comprovação técnica de eficiência e serem alvo de pesquisa continuamente (TONETTI, 2018).

De modo geral, algumas tecnologias disponíveis destacam-se para áreas rurais e suas características, segundo Tonetti (2018): (i) *Wetlands*, também chamados de sistemas de alagados construídos (SAC), podem receber águas cinzas e esgoto sanitário pré-tratado, demandam em média 2 m² de área per capita e tem eficiência de mais de 80% na remoção de matéria orgânica carbonácea; (ii) Círculo de bananeiras, possibilita o tratamento de águas cinzas ou serve para tratamento complementar de esgoto, demandam pouca área para construção (3 a 5 m²); (iii) Fossa verde, possui a finalidade de tratar o esgoto do vaso sanitário, demanda cerca de 2 m² *per capita* de área e tem mais de 80% de eficiência para remoção de matéria orgânica carbonácea; (iv) Tanque séptico e filtro anaeróbio são sistemas abordados pelas NBR 7229 de 1993, que dispõe sobre o projeto, construção, e operação de sistemas de tanque

séptico, e NBR 13969 de 1997 que tem como título: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Ambos têm eficiência comprovada, além de demandarem pouca área.

3.4 TANQUE SÉPTICO

Em locais onde não há rede de coleta de esgoto, a exemplo da zona rural ou comunidades isoladas, faz-se necessária a implementação de meios para que a disposição do efluente gerado evite a contaminação do solo e da água e garanta a saúde da comunidade local (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Conforme a NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), tanque séptico é “uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão” (ABNT, 1993, p. 2).

Em complemento à norma, Von Sperling (2007) diz que os tanques sépticos, também chamados de fossas sépticas, funcionam no nível de tratamento primário. Nesses sistemas ocorre a sedimentação dos sólidos em suspensão, os quais permanecem por um tempo determinado até sua estabilização e de onde serão removidos posteriormente.

Jordão e Pessôa (2011) em conformidade à norma, dizem que o tanque séptico é uma unidade que recebe efluente doméstico e tem a capacidade de tratar os esgotos com grau de tratamento compatível com sua simplicidade e custo. Nesta unidade, além da sedimentação dos sólidos em suspensão, também ocorre a transformação bioquímica de compostos presentes nos esgotos em compostos simples e estáveis.

Tonetti (2018) pondera que o tanque séptico tem a capacidade de tratar diversos tipos de esgoto, porém fica limitado ao receber águas pluviais e de algumas outras fontes que possa interferir no tratamento e exemplifica com águas de piscina e lavagens de reservatórios de água.

A eficiência do tanque séptico, se bem dimensionado, conforme Scalize e Bezerra (2020), é de sólidos em suspensão na faixa de 60%, DBO de 30 a 45% e coliformes fecais ou termotolerantes de 25 a 75%. Já de acordo com Jordão e Pessôa (2011) a eficiência para sólidos em suspensão é em torno de 50% e de DBO na faixa dos 30%, a qual pode decair com a falta de limpeza do tanque.

3.4.1 Funcionamento do Tanque Séptico

O funcionamento do tanque séptico é realizado pelas seguintes fases de desenvolvimento do processo: retenção de esgoto, decantação do esgoto, digestão anaeróbica do lodo e redução de volume do lodo (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Jordão e Pessôa (2011) explicam que a fase de retenção de lodo é a fase em que o esgoto fica na fossa por um período previamente estabelecido, variando de 12 a 24 horas. Esse período varia conforme a quantidade de litros por dia de contribuição de esgoto gerado.

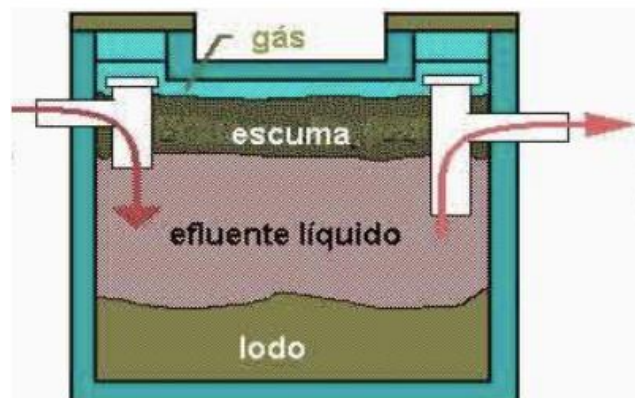
Já a decantação do esgoto é a fase em que, juntamente com a fase de retenção, sedimenta-se cerca de 60 a 70% dos sólidos em suspensão presentes no esgoto. Essa fase também é onde forma-se a espuma que é formada a partir de sólidos não sedimentáveis, graxas e gorduras, a qual fica retida na superfície do líquido, no interior do tanque séptico (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

A digestão anaeróbica, segundo Jordão e Pessôa (2011), é onde o lodo e espuma são degradados por bactérias anaeróbias, diminuindo total ou parcialmente as concentrações de matéria orgânica carbonácea.

E por último, Jordão e Pessôa (2011) caracterizam a fase de redução do volume de lodo como vinda da digestão anaeróbia, a qual resulta em gases, líquidos e acentuada redução de volume dos sólidos retidos e digeridos. Dessa forma, o lodo adquire características mais estáveis do que o esgoto bruto inicial, podendo ser disposto com mais segurança.

Ainda, o tanque séptico pode ser de câmara única (Figura 4), bem como de câmaras em séries. A NBR 7229/1993 (ABNT, 1993) define tanque séptico de câmara única como: “Unidade de apenas um compartimento, em cuja zona superior devem ocorrer processos de sedimentação e de flotação e digestão da espuma, prestando-se a zona inferior ao acúmulo e digestão do lodo sedimentado” (ABNT, 1993, p. 2). E define também, tanque séptico de câmaras em séries como sendo “Unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente [...]” (ABNT, 1993, p. 2).

Figura 4 – Corte de tanque séptico de câmara única



Fonte: Monteiro Engenharia (2018).

Jordão e Pessôa (2011) salientam que o efluente do tanque séptico não é purificado, mas sim, apresenta carga orgânica reduzida a um grau de tratamento aceitável. Com o efluente contendo o produto solúvel da decomposição do lodo, são arrastados os sólidos que não foram retidos nos processos de sedimentação e formação de espuma. O efluente é escuro e com odor bem característico, o qual vem da presença do gás sulfídrico e outros gases. Por ser um sistema anaeróbio, o ambiente não é favorável para a eliminação total das bactérias patogênicas. Portanto, torna-se necessário um tratamento complementar para remoção da matéria orgânica remanescente, e, conforme a destinação ou disposição final do efluente tratado, uma etapa para desinfecção.

3.5 FILTRO ANAERÓBIO PÓS TANQUE SÉPTICO

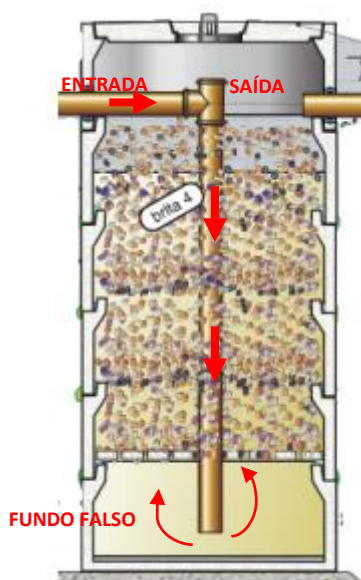
Filtro anaeróbio, seguindo a definição da NBR 7.229/1993 (ABNT, 1993), é: “Unidade destinada ao tratamento de esgoto, mediante afogamento do meio biológico filtrante” (ABNT, 1993, p. 2). Na NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), que complementa a anterior, têm-se que o filtro anaeróbio é “[...] composto de uma câmara inferior vazia e uma câmara superior preenchida de meio filtrante submerso, onde atuam microrganismos facultativos e anaeróbios, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica” (ABNT, 1997, p. 3)

A norma NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997) ainda apresenta que os sistemas onde os processos anaeróbios atuam são afetados pela variação da temperatura do

esgoto. O processo é eficiente para reduzir cargas orgânicas elevadas, desde que em condições que satisfaçam o processo, como por exemplo: Tempo de detenção hidráulica adequado (12 a 24 h para os tanques sépticos) para que se tenha uma sedimentação efetiva dos sólidos e também a depuração biológica da fase líquida. A temperatura deve ser superior a 20 °C (preferencialmente, entre 25 e 38 °C para os filtros anaeróbios), pois abaixo disso, compromete-se a atividade microbiológica; O lodo deve ser retirado no intervalo de tempo pré-estabelecido, para que o sistema seja eficiente (CHERNICHARO, 1997).

Complementando a norma, Von Sperling (2007) e Tonetti (2018) resumem filtro anaeróbio como sendo o processo no qual a matéria orgânica carbonácea é estabilizada de forma anaeróbica por bactérias que estão aderidas ao meio suporte (geralmente utiliza-se pedras). O filtro trabalha de forma submersa e tem o fluxo ascendente (Figura 5). Para esse sistema, faz-se necessário o processo de decantação primária (utilizando geralmente tanque séptico), e, a produção de lodo é baixa e o lodo já sai estabilizado.

Figura 5 – Corte de um filtro anaeróbio com fluxo ascendente.



Fonte: Adaptado - Agropecuária arte fácil

O filtro anaeróbio pode conter um fundo falso (parte onde não irá material filtrante), o qual tem a função de reter o lodo produzido, além de também conter microrganismos que ajudam no tratamento (TONETTI, 2018). Ainda, o autor

recomenda que o filtro anaeróbico seja precedido de um tanque séptico, um digestor ou um reator anaeróbio.

Algumas particularidades do filtro anaeróbio que o difere dos filtros aeróbios são: o sistema tem fluxo ascendente, ou seja, o efluente entra pela parte inferior do tanque e tem sua saída pela parte superior; o sistema é afogado, onde os espaços vazios são preenchidos de líquido; a carga de DBO por unidade de volume aplicada é bem elevada; e, o tanque é fechado (VON SPERLING, 2007).

Von Sperling (2007) relata sobre o uso do tanque séptico e filtro anaeróbio em conjunto, sendo o filtro anaeróbio adotado como tratamento complementar de efluentes provenientes do tanque séptico. O tanque séptico remove a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais são sedimentados ao fundo do tanque e passam pelo processo de digestão anaeróbia. Juntamente com os sólidos em suspensão uma parcela de matéria orgânica carbonácea também é removida. Após, a matéria orgânica remanescente passa para o filtro anaeróbio e é removida também pelo processo anaeróbio. O autor relata que esse sistema é muito utilizado no meio rural e em comunidades pequenas.

A eficiência do filtro anaeróbio para a remoção de DBO é cerca de 70 a 85%, e se dá devido à atividade biológica frente ao acúmulo de biomassa nos vazios e no meio suporte, permitindo uma boa eficiência de remoção (JORDÃO;PESSÔA, 2011).

Em relação à eficiência do sistema tanque séptico-filtro anaeróbio, a norma NBR 13969 (ABNT, 1997) traz as faixas esperadas de eficiências de remoção dos poluentes, são elas: 45 a 75% para $DBO_{5,20}$, 40 a 70% para DQO, 70% ou mais para sólidos sedimentáveis. Von Sperling (2007) complementa que as eficiências são usualmente inferiores às adquiridas com os sistemas aeróbios, mas que na maioria das vezes são suficientes para a maior parte das situações encontradas. O mesmo autor pontua as vantagens deste sistema, são elas: baixos requisitos de área, baixo custo para operação e implantação, reduzido consumo de energia, construção, operação e manutenção simples, estabilização do lodo no próprio reator, baixa produção de lodo, boa adaptação a diferentes tipos de esgotos, boa resistência a variações de carga, entre outras vantagens.

Conforme o PNSR (2019), alguns requisitos operacionais devem ser levados em conta quando instalado o sistema individual com filtro anaeróbio: rotineiramente deve ser feita uma limpeza no entorno da unidade, bem como desobstruir as caixas e tubulações, e eventualmente, conforme necessidade, é necessário avaliar as

condições físicas e estruturais das unidades, além de remover, tratar e destinar o lodo adequadamente.

Segundo Jordão e Pessôa (2011) o filtro anaeróbio é um tanque cheio de pedras, ou de algum outro material inerte, pelo qual o afluente líquido percola e entra em contato com os microrganismos anaeróbios que estão aderidos ao meio suporte. O processo tem um tempo de detenção hidráulica, que está relacionado com o volume do filtro e a vazão do afluente que entra no tanque e um tempo de detenção celular, que é o tempo em que há a retenção dos sólidos biológicos no interior do filtro. Nos sistemas com biofilme, o tempo de retenção celular é maior que o tempo de detenção hidráulica, isso porque as mesmas estão aderidas ao meio suporte, dessa forma, podem-se adotar volumes menores para o reator (VON SPERLING, 2016).

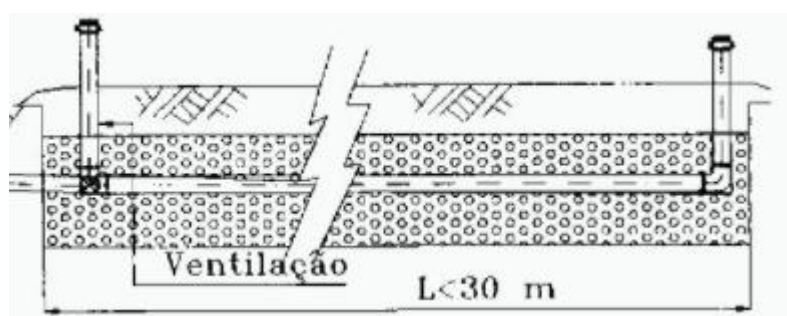
3.6 DISPOSIÇÃO FINAL – VALA DE INFILTRAÇÃO

A definição de vala de infiltração pode ser encontrada na NBR 7.229/1993 (ABNT, 1993), que diz que a vala de infiltração (Figura 6) é o “sistema de disposição do efluente do tanque séptico, que orienta sua infiltração no solo e consiste em um conjunto ordenado de caixa de distribuição, caixas de inspeção e tubulação perfurada assente sobre a camada-suporte de pedra britada” (ABNT, 1993, p.3).

E, em complemento à norma anterior, a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997) define a vala de infiltração como: “Vala escavada no solo, destinada à depuração e disposição final do esgoto na subsuperfície do solo sob condição essencialmente aeróbia, contendo tubulação de distribuição e meios de filtração no seu interior” (ABNT, 1997, p. 3).

Nas valas de infiltração com infiltração subsuperficial, o esgoto que já foi tratado, em sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, por exemplo, será disposto abaixo do nível do solo, sendo o local preparado com escavações enterradas, preenchidas com um meio poroso (VON SPERLING, 2007).

Figura 6 – Corte Longitudinal da vala de infiltração



Fonte: ABNT (1997).

Jordão e Pessôa (2011) e Von Sperling (2007) trazem que a percolação do esgoto através do solo na vala de infiltração possibilita um processo de mineralização, assim, evita-se a contaminação das águas subterrâneas e de superfície e o solo realiza um tratamento complementar dos esgotos.

Esse sistema geralmente é usado quando há uma unidade de tratamento primário, que usualmente é o tanque séptico ou um sistema composto por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, e, é aplicado em conjuntos de residências ou em comunidades de pequeno porte (VON SPERLING, 2007).

Conforme Tonetti (2018), o esgoto é disposto na vala de infiltração por meio de uma tubulação de Policloreto de Polivinila (PVC) que contém furos na parte inferior e distribui igualmente o esgoto ao longo de toda extensão da vala (Figura 7). A tubulação tem um CAP que tampa a saída no final do tubo de PVC.

Figura 7 – Tubulação PVC por onde o efluente é distribuído na vala



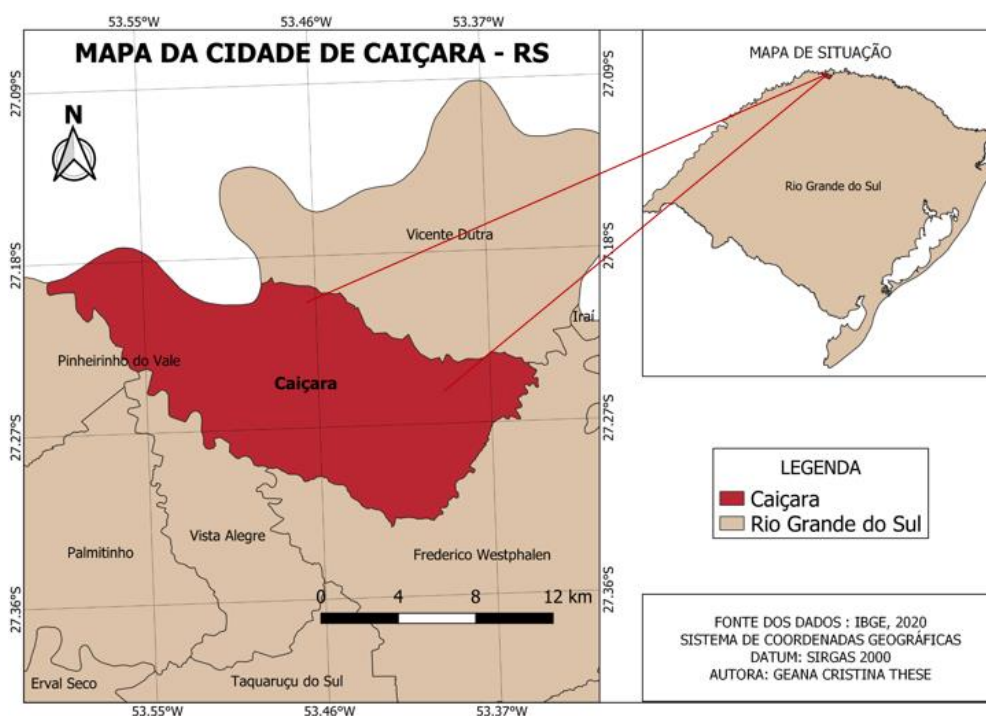
Fonte: EcoFossa

A tubulação de PVC é envolta de uma camada filtrante, que usualmente é a brita. Também poder ser utilizados materiais alternativos para essa finalidade, os quais reduzem o custo, como por exemplo o bambu ou entulhos. O esgoto após passar pelo meio filtrante é distribuído no solo. Enquanto percorre pelo material filtrante e infiltra no solo, o esgoto pré-tratado recebe o tratamento final (TONETTI 2018). O autor ainda recomenda que o solo das paredes laterais bem como o fundo da vala não seja compactado, para que se permita a infiltração do efluente.

4 METODOLOGIA

O sistema de tratamento de Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio Econômico foi instalado em uma propriedade rural, no interior da cidade de Caiçara (Figura 8), no noroeste do Rio Grande do Sul, no dia 29 de agosto de 2019. O sistema recebe água residual não segregada, proveniente da contribuição de uma família composta por 4 pessoas, dois adultos e duas crianças. A água residual da pia da cozinha passa por uma caixa de gordura antes de entrar no sistema.

Figura 8 – Mapa de Localização do município de Caiçara, dados do IBGE (2020).



Fonte: Autora (2021)

A propriedade trabalha com a bovinocultura de leite, sendo essa, sua principal fonte de renda. O sistema de tratamento de esgoto existente no local era uma fossa séptica rudimentar (Figura 9), instalada ao lado de um açude, utilizado para dessedentação animal e para usos menos nobres na residência (descarga de bacia sanitária). A fossa séptica rudimentar foi isolada e o coletor predial de esgoto (D = 100 mm) foi ligado ao sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio econômico (TSFAE), conforme demonstrado na Figura 10. O novo sistema de tratamento foi instalado ao

lado da antiga fossa rudimentar, e uma vala de infiltração foi feita paralelamente ao açude, para a disposição final do efluente tratado.

Figura 9 – Fossa rudimentar existente na residência



Fonte: Autora (2020).

Figura 10 – Ligação do coletor predial ao sistema de tratamento



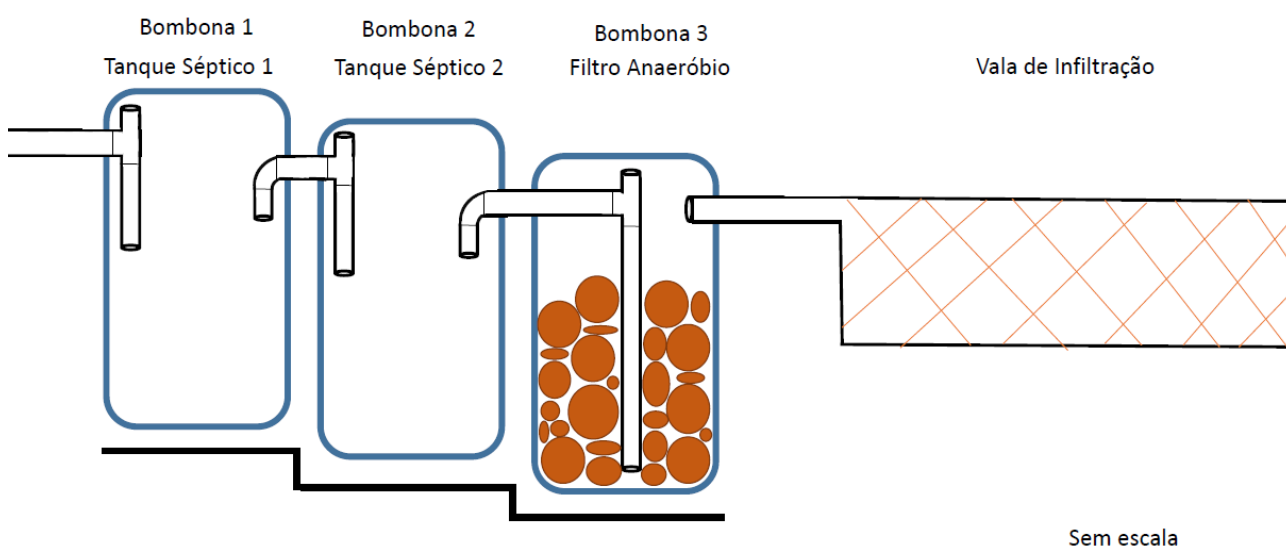
Fonte: Autora (2020).

O projeto para a instalação e acompanhamento da eficiência do sistema foi feito em parceria com a EMATER/RS - Ascar.

4.1 INSTALAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de tratamento (Figura 11) foi instalado pelos proprietários da residência e também pelos agentes extensionistas da EMATER/RS - Ascar.

Figura 11 – Perfil Hidráulico do sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio econômico.



Fonte: Autora (2021).

Para a instalação das unidades de tratamento, foi realizada a escavação (Figura 12) do solo com a ajuda de uma retroescavadeira, a qual permitiu que as bombonas pudessem ser alocadas e semienterradas.

Figura 12 – Escavação do solo para instalação do sistema.



Fonte: Autora (2020)

O sistema é composto por três bombonas de aproximadamente 205 L cada (Figura 13). Elas foram instaladas semienterradas no solo, para trabalharem sob a ação da gravidade e para o isolamento térmico, a fim de diminuir a variação de temperatura e auxiliar no processo de digestão anaeróbia. As profundidades úteis resultantes foram de 72 cm na bombona 1, 70 cm na bombona 2 e 72 cm na bombona 3.

Figura 13 – Fotografia de uma das bombonas usadas para a construção do sistema.



Fonte: Autora (2020).

As bombonas foram instaladas e interligadas por meio de tubos de PVC de 100 mm, e foram instaladas em desnível (Figura 14), para funcionarem sob ação da gravidade. Nas bombonas 1 e 2, projetadas para operarem como primeira e segunda câmara, respectivamente, de um tanque séptico, a tubulação de entrada foi instalada a 18 cm abaixo do nível d'água e foram instaladas com um T, e a tubulação de saída foi instalada com um joelho de 90° a 10 cm abaixo do nível d'água na bombona (Figura 11).

A bombona 3 foi projetada para trabalhar como um filtro anaeróbio (FA). A entrada de esgoto nessa unidade ocorre a partir de uma tubulação localizada no centro da bombona que despeja o efluente a 10 cm do fundo da bombona (72 cm abaixo do nível). A tubulação de saída também é feita com uma tubulação de 100 mm (Figura 11).

Após a instalação hidráulica, o filtro anaeróbio (bombona 3) foi preenchido com pedras disponíveis na propriedade. Inicialmente, colocou-se pedras grandes no fundo,

encaixando-as uma na outra, para servir de meio suporte para microrganismos e leito filtrante. Também foram alocadas por cima das pedras grandes, pedras britas tamanho 1.

Para disposição final do efluente tratado, foi construída no local uma vala de infiltração, com comprimento de 4,66 metros e largura de 1 metro. A vala de infiltração foi escavada no solo e no seu preenchimento foram utilizadas pedras de grande diâmetro (cerca de 10 a 20 cm), existentes na propriedade. A tubulação de distribuição de efluente na vala, com comprimento igual à vala de infiltração, foi disposta em cima da camada de pedras. Essa tubulação foi perfurada ao longo de toda sua extensão para que a distribuição do efluente tratado fosse realizada uniformemente ao longo de todo comprimento da vala de infiltração.

Também, para fins de pesquisa, foram instalados três T's nas tubulações que ligam as bombonas, para viabilizar as coletas de amostras de efluentes para análise. Os T's foram fechados com cap (Figura 14). O primeiro T (T1) foi instalado na tubulação afluente à bombona 1, para possibilitar a coleta do esgoto bruto, o segundo T (T2) foi instalado após a bombona 2, para coleta do efluente do tanque séptico e o terceiro T (T3) foi instalado após bombona 3, para a coleta do efluente do filtro anaeróbio. No momento da amostragem, em cada ponto de coleta, retirava-se o cap (descartando o efluente que estava estagnado na ponta do T, para não influenciar os resultados), fazia-se a coleta de esgoto e fechava-se o sistema novamente com o cap.

Figura 14 – Desnível das bombonas e vista superior.



Fonte: Adaptado - Bruno Fiorini (2020).

4.2 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISE

As coletas de amostras e análises foram realizadas ao longo de 16 meses (set./2019 a jan./2021). Foram realizadas 6 coletas, nos dias 27/09/2019, 01/11/2019, 17/12/2019, 03/01/2020, 15/12/2020 e 12/01/2021. As quatro primeiras coletas foram realizadas no mesmo horário, entre 09:30h e 10:30h. Já as duas últimas, com o objetivo de ter amostras mais representativas, foram feitas em 4 etapas, onde foi coletado 25% de amostra total de cada unidade (esgoto bruto, tanque séptico e filtro anaeróbio) de 30 em 30 minutos, aproximadamente. Devido a pandemia do Covid19, o trabalho foi limitado e não foi possível realizar mais coletas.

Para a coleta, foram utilizados frascos de plástico com volume de 1 Litro (L), higienizados. Para cada unidade do tratamento coletou-se 2 frascos, totalizando 2 L de amostra. Para as análises de coliformes totais e *E. coli* foram utilizados frascos de 250 mL, de vidro, que permitiu a esterilização dos mesmos antes das coletas. Após as coletas, as amostras foram armazenadas em uma caixa térmica com gelo para sua preservação durante o transporte, até irem para a geladeira.

Os parâmetros analisados foram os seguintes: Temperatura, pH, DBO, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Sólidos Totais (ST), Sólidos em Suspensão Totais (SST), Coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E-coli*). As análises foram realizadas conforme metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al, 2012).

O pH e a temperatura foram medidos *in loco*, e as análises de coliformes totais e *E.coli*, bem como DBO foram realizadas no mesmo dia da coleta. Do volume restante de cada amostra coletada, aproximadamente a metade era preservada diretamente na geladeira para a realização posterior das análises de sólidos totais e em sólidos em suspensão. Já a outra metade, era acidificada (até $pH < 2$) e armazenada na geladeira para as análises de DQO, NTK, $P-PO_4^{3-}$. As análises foram realizadas nos laboratórios 113 (Laboratório de Química) e 211 (Laboratório de Recursos Hídricos) da Universidade Federal de Santa Maria – *campus* Frederico Westphalen - RS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados e discussão do TSFAE. A Tabela 1 apresenta as médias, os desvios padrão e os valores máximos e mínimos das concentrações encontradas no Esgoto Bruto (EB), no efluente do tanque séptico (TS) e no efluente do filtro anaeróbio (FA) em cada parâmetro analisado. Para coliformes e *E. coli*, foi calculada a média geométrica.

Tabela 1– Concentrações médias, desvios padrão (D.P), valores máximos e mínimos das análises do afluente e do efluente de cada unidade de tratamento (6 amostragens - período de 09/2019 a 01/2021)

Parâmetro		EB	TS	FA
DBO (mg/L)	Média (D.P)	1310 (821)	716 (231)	437 (155)
	Máximo	2528	983	586
	Mínimo	729	583	277
DQO (mg/L)	Média (D.P)	2618 (1724)	1121 (434)	866 (451)
	Máximo	5397	1694	1654
	Mínimo	1006	678	565
ST (mg/L)	Média (D.P)	4551 (4295)	1523 (511)	893 (297)
	Máximo	12990	2380	1480
	Mínimo	1510	925	700
SST (mg/L)	Média (D.P)	3399 (3749)	953 (570)	289 (342)
	Máximo	9600	1538	800
	Mínimo	243	172	90
NTK (mg/L)	Média (D.P)	390 (288)	158 (114)	97 (53)
	Máximo	728	315	161
	Mínimo	84	39	40
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Média (D.P)	77 (31)	35 (16)	32 (21)
	Máximo	114	51	57
	Mínimo	47	11	9
Coliformes totais (NMP/100 mL)	Média	1,49 x 10 ⁷	3,08 x 10 ⁶	6,65 x 10 ⁵
	Máximo	4,30 x 10 ⁷	1,60 x 10 ⁸	1,75 x 10 ⁶
	Mínimo	8,00 x 10 ⁶	8,50 x 10 ⁴	1,05 x 10 ⁵
<i>E-coli</i> (NMP/100 mL)	Média	1,50 x 10 ⁶	3,09 x 10 ⁵	1,64 x 10 ⁵
	Máximo	4,30 x 10 ⁷	9,20 x 10 ⁷	1,60 x 10 ⁶
	Mínimo	4,65 x 10 ⁴	9,40 x 10 ³	6,30 x 10 ³

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 2, apresenta a média das eficiências em cada etapa do tratamento, bem como a média da eficiência total do sistema.

Tabela 2 – Eficiências médias obtidas no sistema TSFAE (6 amostragens - período de 09/2019 a 01/2021)

Parâmetros	Eficiências médias (%)		
	TS	FA	Total
DBO	45	39	67
DQO	43	16	54
ST	46	37	67
SST	48	48	62
NTK	7	21	35
P-PO₄³⁻	52	13	50
Coliformes totais	-33	31	91
<i>E-coli</i>	-13	38	66

Fonte: Autora (2021).

5.1 TEMPERATURA E pH

Durante a coleta *in loco*, foram medidas as temperaturas das amostras assim que coletadas, para que se obtivesse a temperatura próxima da temperatura de dentro das bombonas. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Temperaturas do esgoto bruto e dos efluentes do tanque séptico e do filtro anaeróbio

Temperatura (°C)			
Data	EB	TS	FA
27/09/2019	24	22	22
01/11/2019	27	26	26
17/12/2019	25	25	24
03/01/2020	22	22	22
15/12/2020	23	23	23
12/01/2021	27	27	27
Média	25	24	24
Desvio padrão	2	2	2

Fonte: Autora (2021).

As temperaturas do EB (Entrada do sistema), do TS e do FA (saída do sistema), ficaram, na maior parte das amostragens dentro ou muito próxima da faixa ótima para os microrganismos. Segundo Metcalf e Eddy (2016), a faixa de temperatura ótima é

de 25 a 35 °C. A menor temperatura encontrada foi 22 °C, e a maior encontrada nos três pontos de análise foi de 27 °C, dentro dos parâmetros ótimos. Segundo Chernicharo (1997), nos tanques sépticos, temperaturas inferiores a 20 °C comprometem a atividade biológica e interferem no processo de digestão anaeróbia, além de a estabilização e volume de lodo estar intimamente relacionada à temperatura da massa líquida no interior do tanque. Ainda, Jordão e Pessoa (2011) afirmam que temperaturas em abaixo de 15 °C a digestão anaeróbia seria praticamente nula.

Os valores de pH foram medidos *in loco*, com o pHmetro, para que os resultados também fossem os mais próximos possíveis dos valores encontrados dentro do sistema e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de pH no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico e do filtro anaeróbio

pH			
Data	EB	TS	FA
27/09/2019	7,3	8,3	7,9
01/11/2019	7,2	8,0	7,5
17/12/2019	7,0	8,0	7,8
03/01/2020	7,0	7,0	7,0
15/12/2020	7,4	7,9	7,7
12/01/2021	8,7	7,3	7,7
Média	7,4	7,8	7,6
Desvio padrão	0,6	0,5	0,3

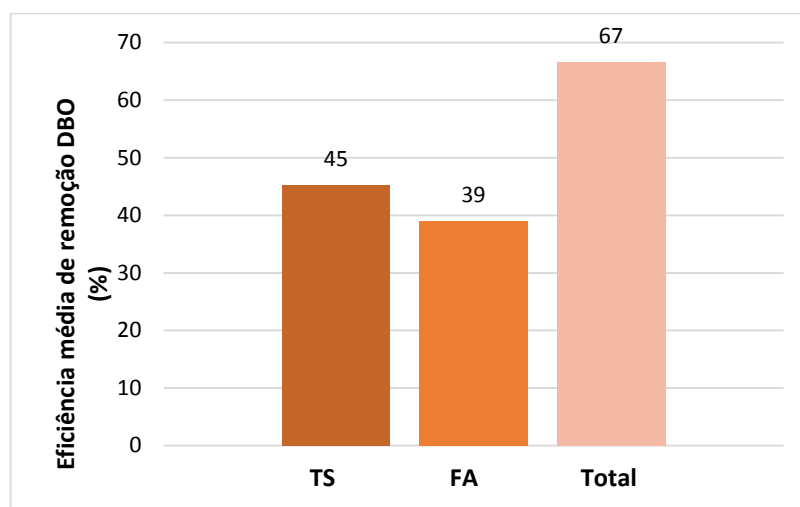
Fonte: Autora (2021).

A digestão anaeróbia tem a faixa ótima de pH entre 6,5 e 7,5 (METCALF E EDDY, 2016). O EB teve os resultados variando pouco da faixa ótima, já o TS e o FA, tiveram maior variação nos valores de pH, o que significa que não se obteve a faixa considerada mais adequada para a ocorrência da digestão anaeróbia.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO E DQO

A Figura 15, apresenta as eficiências de remoção de DBO obtidas para o TS, FA e para o sistema TSFAE (total).

Figura 15 – Média das eficiências de remoção de DBO no sistema TSFAE



Fonte: Autora (2021).

Segundo Jordão e pessoa (2011), a DBO típica dos esgotos domésticos está na faixa de 100 a 400 mg/L, já Von Sperling (2007) apresenta valores superiores, uma faixa de concentração de DBO de 250 a 400 mg/L, sendo a média típica para esgoto doméstico bruto de 300 mg/L. Neste trabalho, a concentração média do esgoto bruto da residência avaliada foi de 1310 mg/L com um desvio padrão de ± 821 , ou seja, a concentração de DBO do efluente é aproximadamente 4x maior que a concentração média típica registrada na literatura.

A eficiência média de remoção de DBO no TS foi de 45%, o que já era previsto a partir da literatura. Segundo Chernicharo (1997), a eficiência do tanque séptico para remoção de DBO varia em função das condições locais e operação das unidades e é cerca de 30 a 55%. Já Jordão e Pessôa (2011), relatam remoções de 30 a 50% de DBO em tanque séptico de câmara única, e remoção de DBO de 35 a 65% em tanque séptico com câmaras em série.

Já a eficiência média de remoção de DBO no FA foi de 39%, eficiência menor que a prevista pela literatura. Jordão e Pessôa (2011), preveem remoção de DBO do filtro anaeróbio como unidade complementar de tratamento do efluente do tanque séptico de 70 a 85%. Chernicharo (1997), relata eficiências de remoção de DBO pelos filtros anaeróbios como pós-tratamento de tanque séptico de 75 a 95%.

A eficiência do FA pode ter sido afetada devido à colmatação. No dia 15/12/2020, quando realizada a coleta, percebeu-se o entupimento do FA e para

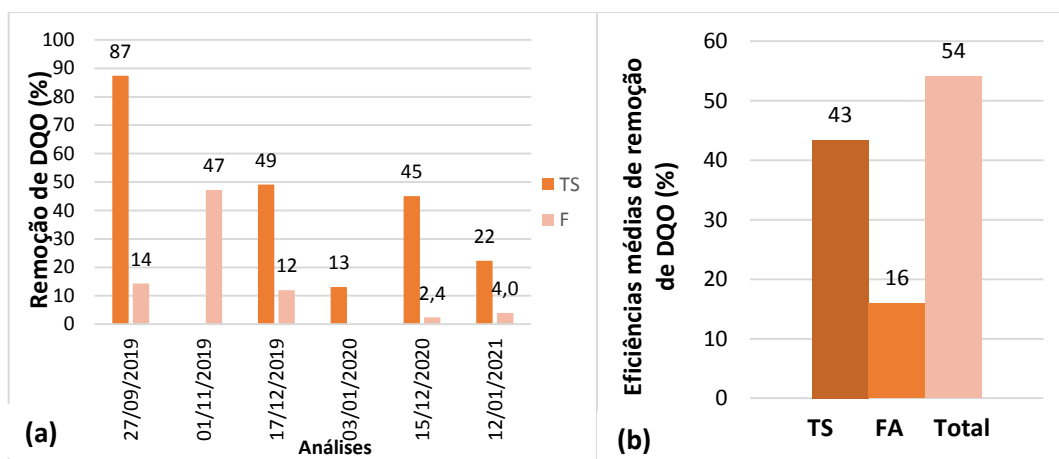
resolver o problema (momentaneamente) a tubulação de entrada ascendente do efluente ao FA foi desconectada, pois as pedras colmataram e estavam impedindo a entrada ascendente do líquido ao sistema. Assim, a partir desde dia, a última bombona passou a ser operada como uma simples caixa de passagem, com o efluente entrando e saindo pela parte superior da bombona.

Postigo et al. (2017) avaliaram um sistema de tanque séptico econômico, composto por três bombonas em série, com 220 litros de capacidade cada, para atender até 4 pessoas. O sistema foi instalado no estado de São Paulo, e obteve como resultado uma redução de 47,61% de DBO após saída da terceira bombona. Esse resultado é semelhante ao encontrado neste estudo (45% para TS, Figura 15). Essa eficiência aumenta após receber o tratamento do FA, onde o sistema TSFAE apresentou uma remoção média total de DBO de 67%. Portanto, mesmo com a colmatção do FA, a eficiência média total de remoção foi satisfatória. Conforme a literatura, a eficiência do sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio nos sistemas convencionais é de: 40 a 75% (ABNT, 1997); 80 a 85% (VON SPERLING, 2007).

Lopes (2018) avaliou a eficiência de um sistema composto por Tanque Séptico Econômico (TSE) + Tanque de Evapotranspiração (TEVAP). O sistema do autor atendeu a uma residência com 3 pessoas e foi instalado no estado de Minas Gerais. Para o parâmetro de DBO o autor obteve uma remoção, após passar pelo TSE de apenas 24,66%, inferior ao encontrado nesta pesquisa (45% para TS). Quando associado ao tratamento pelo TEVAP, a eficiência encontrada pelo autor aumentou para 68%, valor próximo ao encontrado neste estudo (67% para TSFAE), que tem FA como tratamento complementar.

A Figura 16 apresenta a eficiência de remoção de DQO (%) em cada análise e a eficiência total de remoção da DQO (%).

Figura 16 – Eficiência de remoção de DQO em cada análise (a) e eficiências médias de remoção de DQO (b)



Fonte: Autora (2021).

Jordão e Pessôa (2011) trazem que a concentração típica de DQO nos esgotos domésticos está na faixa de 200 a 800 mg/L, e segundo Von Sperling (2007), a concentração de DQO varia de 450 a 800 mg/L, sendo a concentração típica de 600 mg/L. A concentração média encontrada no esgoto bruto avaliado nesta pesquisa foi de 2618 mg/L (Tabela 1), ou seja, concentração superior do que a esperado para o esgoto doméstico. Jordão e Pessôa (2011) caracterizam esgoto forte com concentração de matéria orgânica de 800 mg/L para DQO, valor 3x menor que o encontrado nesta pesquisa.

A eficiência de remoção de DQO no TS foi maior no primeiro mês, e, nas análises dos meses seguintes houve uma redução, com eficiências variando de 13% a 49%. Já no FA, na primeira amostragem, obteve-se eficiência de remoção de DQO baixa (14%), provavelmente porque os microrganismos ainda não estavam aderidos ao meio suporte em quantidade suficiente. Na segunda análise, houve um aumento da remoção da DQO no FA com o provável aumento da biomassa aderida ao meio suporte.

A partir do dia 15 de dezembro de 2020, as eficiências de remoção de DQO no FA reduziram, diretamente afetadas pelo entupimento do filtro. Chernicharo (1997), relata ser comum o problema de entupimentos em filtros anaeróbios de fluxo ascendente e com o meio suporte de pedras e britas operados com elevada carga orgânica, tal qual utilizados nesta pesquisa. Assim, considera-se que limpezas

constantes e o adequado projeto e operação dessas unidades garantam maior eficiência de remoção para todos os parâmetros.

A redução da eficiência do FA relacionada com entupimento do filtro é explicada pela redução do tempo de detenção hidráulica e ao não aproveitamento do volume total do FA devido aos curto-circuito, assim, o tempo de contato do efluente com os microrganismos foi insuficiente para a remoção satisfatória da matéria orgânica carbonácea.

Almeida et al. (2007) comprovaram uma eficiência de remoção de DQO de 46% de um efluente sanitário quando passado apenas por um decantador, eficiência semelhante com a encontrada neste estudo (43%) após a passagem pelo TS.

A eficiência média total (tanque séptico + filtro anaeróbio) de remoção de DQO foi de 54%, inferior à encontrada por Ávila (2005), que avaliou a eficiência de um sistema de tratamento composto por tanque séptico seguido por filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte. A autora encontrou uma eficiência de 72,9% de eficiência média de remoção de DQO com meio suporte de brita nº 4, já com o meio suporte de anéis de plástico a eficiência encontrada foi 68,5% e 68,4% para meio suporte feito de cubos de espuma. A eficiência inferior encontrada neste trabalho pode estar relacionada à menor carga orgânica aplicada por Ávila (2005), que é menor (média 323 mg/L para DQO), quando comparada a aplicada neste trabalho (média 2600 ml/L para DQO).

A eficiência média total encontrada para remoção de DQO está dentro do esperado, conforme a NBR 13.969 (ABNT, 1997), que traz que a faixa de remoção de DQO esperada para um sistema composto de TS e FA é de 40 a 70%. Já Von Sperlig (2007) traz na literatura uma eficiência de remoção para tanque séptico seguido de filtro anaeróbio convencional na faixa de 70 a 80%, sendo superior à eficiência encontrada.

A relação típica de DQO/DBO no esgoto doméstico, segundo Jordão e Pessôa (2011), é de 1,7 a 2,5 e ela muda conforme o tipo de efluente e também grau de tratamento. A relação DQO/DBO média do esgoto bruto avaliado neste trabalho foi de 2,0, onde a fração biodegradável é elevada, e, portanto, tem indicação para tratamento biológico.

Conforme a Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) que dispõe sobre padrões de lançamento de esgoto sanitário em corpos receptores, deverá ser respeitada a concentração máxima de 120 mg/L para DBO ou, a eficiência de remoção

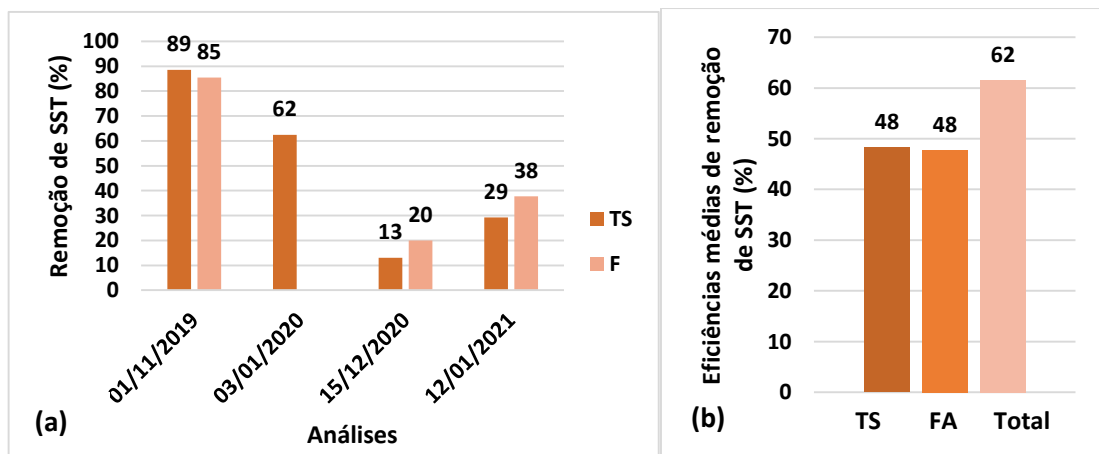
deve ser maior que 60%. Neste caso, obteve-se remoção média de 67%. A Resolução CONSEMA nº 355 de 2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), que estabelece padrões de emissão de efluente líquido em águas superficiais e a Portaria FEPAM nº 68 de 2019 (RIO GRANDE DO SUL, 2019) que dispõe critérios de lançamento de efluentes no solo no Rio Grande do Sul, estabelecem que o padrão de lançamento de efluente sanitário com vazão inferior a 200 m³/dia também é de 120 mg/L para DBO. A concentração média de DBO no efluente final (Tabela 1) encontrada nesse estudo é superior à máxima permitida por estas legislações.

No que diz respeito à DQO, as duas últimas legislações citadas estabelecem um valor máximo para emissão de efluente sanitário, com vazão menor que 200 m³/dia, de 330 mg DQO/L. A concentração média de DQO no efluente final encontrada neste estudo (Tabela 1), também é superior à máxima permitida pela legislação.

5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS

A Figura 17 apresenta a eficiência de remoção de sólidos em suspensão totais (SST) em cada análise (a) e a eficiência média de remoção de SST (b).

Figura 17 – Eficiências de remoção de SST em cada análise (a) e eficiências médias de remoção de SST (b)



Fonte: Autora (2021).

O esgoto da residência é caracterizado como esgoto forte, conforme Jordão e Pessoa (2011), que dizem que tipicamente os esgotos fortes têm concentração bruta

em torno de 1.160 mg/L de sólidos totais. A concentração máxima de Sólidos Totais (ST) no EB foi de quase 13.000 mg/L (Tabela 1) e mínima de aproximadamente 1.500 mg/L, ultrapassando os valores típicos, assim, é um esgoto extremamente concentrado.

Nos dias 27/09/2019 e 17/12/2019 (Apêndice A), não foram realizadas as análises de concentração de SST pois não foi possível coletar efluente suficiente do TS e do FA, devido à baixa vazão do sistema, portanto, não foi possível calcular a eficiência nesses dias. O mesmo aconteceu no dia 03/01/2020 (Apêndice A), onde o FA apresentou baixa vazão e a quantidade de amostra coletada não possibilitou a análise de eficiência de remoção de SST do FA.

No dia 01/11/2019 a eficiência total de remoção de SST foi bem elevada (98%), porém, essa eficiência se deve ao fato que neste dia, o esgoto bruto coletado estava bem concentrado, sendo este, o dia de concentração máxima de SST (9.600 mg/L). A partir do dia 15/12/2020, a eficiência para SST tanto do TS quando do FA reduziu, e isso pode ser devido ao entupimento do FA, que prejudicou a sedimentação dentro das câmaras.

Chernicharo (1997) apresenta a eficiência para a remoção de SST dentro dos TS na faixa de 20 a 90%, e acrescenta que os valores de eficiência dos TS são bem variáveis devido às condições locais de operação das unidades. Metcalf e Eddy (2016) trazem a eficiência média para fossas convencionais entre 50 e 70%. Jordão e Pessôa (2011) também apresentam média de remoção de SST para TS em torno de 50%.

A média de remoção de SST no TS foi de 48% e se encontra próximo da faixa esperada pela literatura. A eficiência encontrada foi prejudicada pelo entupimento do FA, o qual foi observado já em fase de obstrução total e isso afetou diretamente todo o sistema. Portanto, acredita-se que em operações normais, o sistema trabalharia com uma eficiência mais elevada, como pode ser observado no dia 03/01/2020, quando o TS trabalhava em condições normais.

Figueiredo (2019) avaliou um sistema composto por tanque séptico e filtro anaeróbio com enchimento de casca de coco, o qual atendia 3 residências e projetado para 5 contribuintes. O sistema teve uma eficiência de remoção para SST de 78,5%, superior a encontrada neste estudo (62%). Já Gomes (2015) avaliou a eficiência de um sistema composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia, o qual recebia efluentes de duas residências, um estabelecimento comercial e uma fábrica de pisos. A eficiência de remoção de SST após passar pelo TS e pelo FA encontrada

pela autora foi de 61%, semelhante à eficiência média encontrada no sistema avaliado neste trabalho.

Em relação aos ST, a remoção média obtida neste estudo foi de 67%, valor superior ao encontrado por Santos (2012), que analisou a eficiência de um sistema composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e pós-tratamento por filtros biológicos aeróbios intermitentes de areia para tratar o esgoto proveniente dos banheiros e pias de dois blocos de aulas, cantina e laboratórios do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus 1. O autor encontrou uma remoção média de 36% de remoção de ST após tanque séptico + filtro anaeróbio. Ainda, encontrou uma eficiência média de 66% de remoção para SST no conjunto tanque séptico + filtro anaeróbio, valor próximo ao encontrado neste trabalho (62%).

Além disso, Postigo et al. (2017) na avaliação de um sistema de fossa séptica econômica composta por 3 bombonas de 220 L cada, e projetada para atender até 4 pessoas, encontraram uma eficiência média de remoção de sólidos totais de 69,3%, valor próximo ao encontrado nesta pesquisa (67%).

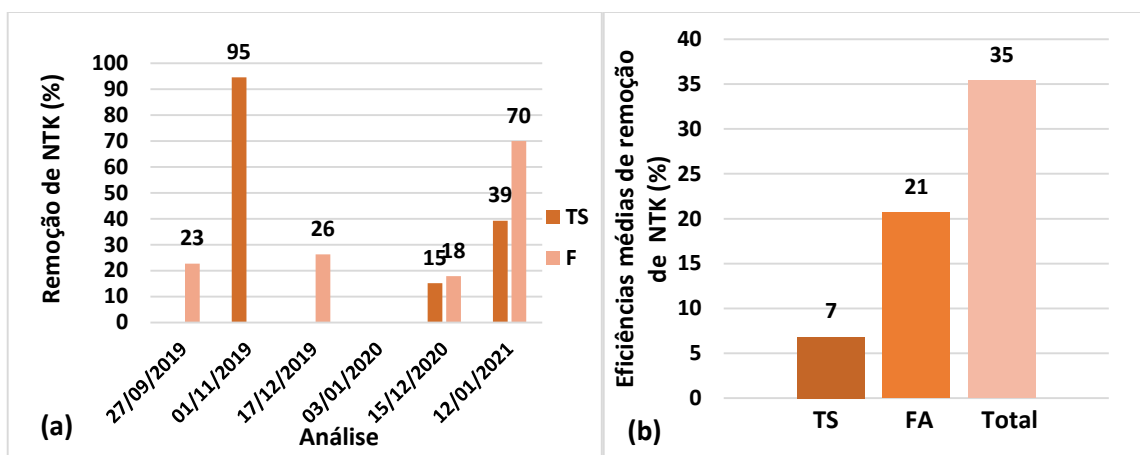
A portaria da FEPAM nº 68 de 2019 (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2019), define o padrão para SST de no máximo 140 mg/L para sistemas com vazão inferior a 200 m³/dia. A CONSEMA nº 355 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), determina o mesmo valor (para efluente líquido sanitário proveniente de sistema com vazão inferior a 200 m³/dia). Assim, o sistema não atende aos critérios da legislação estadual vigente, pois as concentrações no efluente final foram elevadas (média de 289 mg SST/L).

Portanto, apesar de as eficiências estarem de acordo com o esperado segundo a literatura, não foi possível atingir baixas concentrações no efluente final devido às elevadas concentrações afluentes ao sistema.

5.4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PARA NITROGÊNIO E FÓSFORO

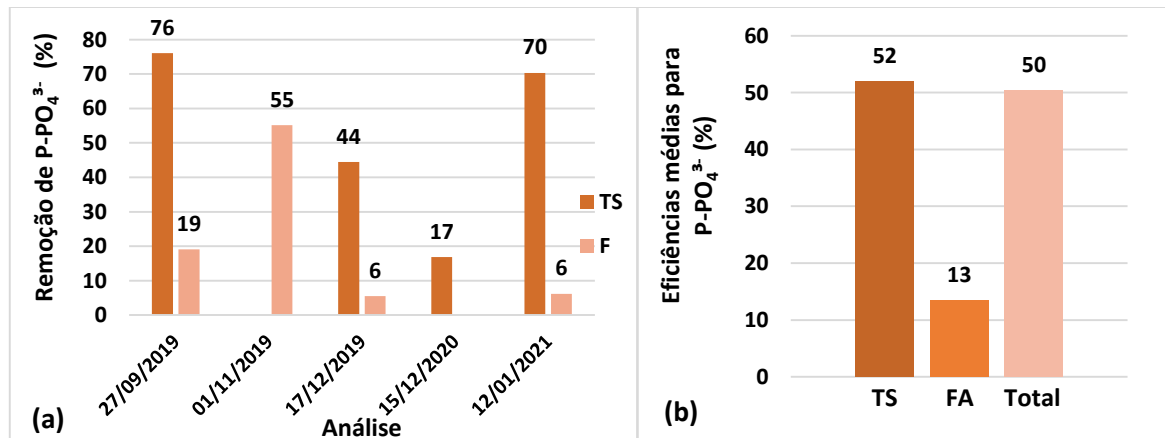
Avaliou-se a eficiência de remoção para os parâmetros de N e P sob as formas de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), o qual inclui o nitrogênio orgânico e o amoniacal, e o fósforo inorgânico na forma de ortofosfato (P-PO₄³⁻). Os resultados das eficiências para NTK e P-PO₄³⁻ estão nas Figuras 18 e 19, respectivamente, onde constam os resultados de eficiência de remoção em cada análise (a) e as eficiências médias do sistema (b).

Figura 18 – Eficiências por análise e eficiências médias de remoção de NTK em cada análise (a) e eficiências médias de remoção de NTK (b)



Fonte: Autora (2021).

Figura 19 – Eficiências por análise e eficiências médias de remoção de P-PO₄³⁻ em cada análise (a) e eficiências médias de remoção de P-PO₄³⁻ (b)



Fonte: Autora (2021).

No dia 27/09/2019, por erro na diluição, não foi possível fazer a análise de NTK do esgoto bruto, assim como no dia 01/11/2019, pelo mesmo motivo, não foi possível quantificar o P-PO₄³⁻ do esgoto bruto. Já no dia 03/01/2020, por falta de amostra, não foram feitas as análises destes parâmetros.

Houve eficiências negativas, as quais não foram colocadas nos gráficos. No dia 01/11/2019, o FA apresentou eficiência de remoção para NTK de -33% e no dia 17/12/2019 o TS apresentou -122% de eficiência de remoção para NTK. Isso pode ter

acontecido devido à oscilação de concentração afluyente, sendo as amostras de EB ou do efluente do TS menos concentradas do que as amostras coletadas na unidade seguinte. Outra explicação é a sobrecarga hidráulica que pode ter ocorrido no sistema, fazendo com que houvesse, nestes dias, uma saída maior do lodo que contém concentrações mais elevadas de nutrientes ou o desprendimento e saída de biofilme.

No dia 01/11/2019, o TS apresentou uma eficiência de remoção de NTK bem elevada (95%) e diferente das demais eficiências encontradas. Essa eficiência está associada à concentração de entrada no sistema. O EB neste dia, teve a concentração máxima (728 mg/L), resultando numa maior eficiência no TS. Porém, o FA teve resultado negativo.

Eficiências negativas também ocorreram para P-PO₄³⁻. No dia 15/12/2020 o FA apresentou uma eficiência de -19%. A média de eficiência foi calculada considerando os resultados negativos, ou seja, considerando a liberação do nitrogênio NTK e do P-PO₄³⁻. No dia 12/01/2021, a eficiência do TS para remoção de P-PO₄³⁻ foi bem elevada (70%), e ela é explicada pela elevada concentração de entrada (EB), que teve, neste dia, sua concentração máxima (114 mg/L). Já no dia 27/09/2019, a eficiência média também foi elevada (76%), pois a concentração final (FA), foi a mínima encontrada (9 mg/L).

Se tratando de nitrogênio, para o parâmetro NTK, o efluente do TS teve uma variação de 39 a 315 mg/L e média de 158 mg/L. Essa variação foi maior que a encontrada por Gomes (2015), que relatou uma variação de 84 a 169 mg/L no efluente de um tanque séptico que recebia efluente de duas residências, um estabelecimento comercial e uma fábrica de pisos. Já para o FA, a variação encontrada neste trabalho foi de 39 a 161 mg/L, também superior a encontrada por Gomes (2015) no FA aplicado ao pós-tratamento do efluente do tanque séptico, que foi de 91 a 137 mg/L.

Figueiredo (2019) obteve uma eficiência média de remoção de NTK no sistema tanque séptico + filtro anaeróbio com enchimento de casca de coco de 54,7%, superior à eficiência média encontrada neste estudo (35%). Essa eficiência foi esperada para um sistema composto por tanque séptico + filtro anaeróbio, relatada por Von Sperling (2007), onde a remoção de nitrogênio total é <60%.

Santos (2012) na pesquisa utilizando tanque séptico + filtro anaeróbio com pós tratamento composto por filtro biológico aeróbio intermitente de areia, tratando o esgoto proveniente dos banheiros e pias de dois blocos de aulas, cantina e laboratórios do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da

Paraíba (UEPB), Campus 1, encontrou uma eficiência média de remoção de NTK de apenas 7,4%, após o efluente passar pelo tanque séptico e pelo filtro anaeróbio, valor inferior aos 35% encontrados nesta pesquisa.

Com relação ao $P-PO_4^{3-}$, Decezaro (2016) avaliou a eficiência de um sistema composto por tanque séptico seguido de *wetland* de escoamento vertical aplicado ao tratamento descentralizado de esgoto de um empreendimento habitacional. O tanque séptico foi projetado para receber a contribuição de 10 habitantes, com período de detenção de 2,3 dias. A concentração média de $P-PO_4^{3-}$ encontrada pela autora no efluente do tanque séptico foi de 7,60 mg/L. Esse valor é inferior à média encontrada no efluente do TS avaliado neste trabalho, que foi de 35 mg/L.

O TS obteve resultados mais satisfatórios para remoção de $P-PO_4^{3-}$ em comparação ao FA, de 52% em média, enquanto o FA atingiu uma média de apenas 13%. Assim, a eficiência total do sistema para remoção do ortofosfato foi de 50% (Figura 19).

Franceschini (2019) fez a análise da eficiência de tanques sépticos econômicos (feitos com 3 bombonas em série com volume útil de aproximadamente 220 L cada) para tratamento de esgoto na zona rural. O autor instalou 2 sistemas deste tipo, no estado de São Paulo. O primeiro sistema tratava água residuária de toda a residência, com exceção da máquina de lavar roupas, e recebia a contribuição de esgoto de dois adultos e uma criança. O segundo, recebia apenas o esgoto do vaso sanitário de uma residência composta por cinco adultos e uma criança. Para remoção de fósforo, o autor encontrou uma eficiência média de remoção para fósforo total de 30,6% no primeiro sistema e 32,5% no segundo. Valores também inferiores quando comparados à remoção média de ortofosfato no TS deste estudo (52%).

Sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes, segundo Metcalf e Eddy (2016), ficam em desvantagens em comparação com sistemas aeróbios pois não possibilitam uma remoção biológica eficiente de nitrogênio e fósforo (como a que ocorre em sistemas de lodos ativados com recirculação de efluente nitrificado e presença de seletores biológicos para organismos acumuladores de fósforo).

A remoção de nitrogênio e fósforo em reatores anaeróbios pode se dar pela sedimentação da matéria orgânica particulada, a qual contém N (fração orgânica do parâmetro NTK) e P (P orgânico), por assimilação pelos microrganismos (DECEZARO, 2018) e, no caso do FA, por adsorção ao meio suporte (REISMANN et

al. 2017). Esses mecanismos diminuem a concentração de nutrientes que sai do sistema, aumentando a eficiência de remoção.

5.5 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PARA REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *E.coli*

As eficiências de remoção de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*) estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Eficiências de remoção para CT e *E. coli*

DATA	EFICIÊNCIA CT - % (log)			EFICIÊNCIA E.COLI - % (log)		
	TS	F	TOTAL	TS	F	TOTAL
27/09/19	-	-	-	99 (2,23)	33 (0,17)	100 (2,40)
01/11/19	-	-	-	98 (1,95)	-	-
17/12/19	-272 (-0,57)	99 (2,00)	96 (1,43)	-114 (-0,33)	98 (1,76)	96 (1,43)
03/01/20	73 (0,57)	18 (0,09)	78 (0,66)	-272 (-0,57)	83 (0,76)	35 (0,19)
15/12/20	99 (2,05)	-24 (-0,09)	99 (1,96)	78 (0,67)	0,00 (0,0)	78 (0,67)
12/01/21	-	-	-	33 (0,18)	-21 (-0,08)	19 (0,09)
MÉDIA	-33 (0,68)	31 (0,67)	91 (1,35)	-13 (0,69)	39 (0,52)	66 (0,96)

Fonte: Autora (2021).

As duas primeiras e a última análise de CT, devido à concentração e por erro de diluição da amostra, foram indetectáveis no método. O mesmo aconteceu na segunda análise realizada para *E. coli*, com os resultados ultrapassando o limite de detecção do método.

A concentração média de CT no esgoto bruto foi de $1,49 \times 10^7$ NMP/100mL, valor esperado conforme a literatura. De acordo com Jordão e Pessoa (2011) e Von Sperling (2007), o esgoto bruto contém cerca de 10^7 a 10^{10} NMP/100 mL de coliformes totais. Já a concentração média de *E. coli* encontrada no esgoto bruto foi de $1,50 \times 10^6$ NMP/100 mL, também dentro da faixa esperada, entre 10^6 e 10^9 NMP/100 mL (VON SPERLING, 2007).

As eficiências médias de remoção obtidas para o sistema TSFAE foram de 91% para CT e 66% para *E.coli*. Von Sperling (2007) diz que a eficiência de remoção esperada para CT em um sistema composto com tanque séptico + filtro anaeróbio está entre 1 e 2 log e, o valor encontrado de remoção no sistema TSFAE para CT foi de 1,35 log, dentro da faixa esperada. O TS apresentou eficiências médias de

remoção de 0,68 log para CT e de 0,69 log para *E. coli*, confirmando o que o mesmo autor relata sobre a eficiência de remoção para *E.coli* em TS ser inferior a 1 log.

Franceschini (2019) fez a análise da eficiência de um tanque séptico econômico com 3 bombonas em série na zona rural. Ele instalou 2 sistemas: o primeiro sistema tratava água residuária mista, com exceção da máquina de lavar roupas, de dois adultos e uma criança; o segundo sistema tratava apenas o esgoto do vaso sanitário de uma residência composta por cinco adultos e uma criança. O autor encontrou remoções médias para *E.coli* de 1,42 log no primeiro sistema e 1,53 log no segundo. Os valores encontrados pelo autor são superiores ao obtido neste trabalho (0,96 log para *E.coli*).

Decezaro (2016) avaliou a eficiência de um sistema composto por tanque séptico seguido de *wetland* de escoamento vertical aplicado ao tratamento descentralizado de esgoto de um empreendimento habitacional. O TS foi projetado para receber a contribuição de 10 habitantes, com período de detenção de 2,3 dias. Para CT, a concentração média no esgoto bruto foi de $2,25 \times 10^7$ NMP/100 mL e a concentração efluente do TS foi de $6,15 \times 10^6$ NMP/100 mL. Para *E. coli*, a concentração média no esgoto bruto foi de $6,09 \times 10^6$, e a concentração efluente do TS foi de $2,25 \times 10^6$. A autora encontrou eficiências médias de remoção no tanque séptico de 0,55 log para CT e de 0,43 log para *E. coli*, valores próximos aos encontrados neste estudo.

O sistema TSFAE apresentou eficiências satisfatórias de remoção para CT e *E. coli*, ou seja, eficiências esperadas para esse tipo de sistema. Porém, mesmo aparentando serem eficiências elevadas, é importante destacar que o efluente continua apresentando uma elevada concentração de microrganismos, e, caso quisesse dar outro uso, que não a disposição no solo, seria importante uma maior remoção de matéria orgânica e após isso, adicionar uma unidade de tratamento complementar para a desinfecção do mesmo, como a radiação UV ou a cloração (a qual forma subprodutos, que podem ser um problema dependendo do uso).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos, puderam ser feitas as seguintes considerações:

Os objetivos do trabalho foram atingidos, tanto a construção e acompanhamento da instalação do sistema TSFAE, como também o monitoramento físico-químico para o esgoto bruto e para o esgoto tratado após cada etapa de tratamento (tanque séptico e filtro anaeróbio).

Levando em consideração a problemática que há com a falta de saneamento básico, principalmente na coleta e tratamento de esgoto sanitário, que têm deixado muitas famílias, tanto na zona rural quanto em comunidades isoladas, desamparadas, o sistema econômico constituído de tanque séptico e filtro anaeróbio constitui uma alternativa bastante atrativa. O sistema avaliado neste trabalho mostrou ser de fácil acesso à população, com baixo custo, fácil implantação e operação, além de não estar sujeito à utilização de energia elétrica.

Sobre os resultados do monitoramento físico-químico e bacteriológico e suas eficiências, o sistema de TSFAE obteve resultados dentro do esperado, segundo a literatura, para remoção de DBO (67%), SST (62%), ST (69%), NTK (35%), P-PO₄³⁻ (50%), coliformes totais (91%) e *E. coli* (66%). A eficiência de remoção para DQO (54%) foi menor que a esperada a partir da literatura. Ainda, é importante ressaltar que mesmo com eficiências consideradas dentro do esperado, o sistema apresentou concentrações elevadas no efluente final, devido às elevadas concentrações no esgoto bruto. Assim, as concentrações efluentes não atenderam os padrões de lançamento exigidos pelas resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017 e pela Portaria FEPAM nº 68/2019.

O uso de pedras de tamanho irregular, incluindo brita 1, no filtro anaeróbio ocasionou o entupimento do filtro. A NBR 13969 de 1997 (BRASIL, 1997) recomenda que sejam utilizadas brita 4 ou 5, peças de plástico ou outro material resistente, diminuindo, assim, a chance de colmatação.

Tanto o sistema TSFAE, quanto a vala de infiltração, usada para a disposição final do efluente líquido tratado pelo sistema, foram feitos com dimensões menores que as recomendadas pela norma brasileira. Para TS, o volume recomendado pela norma, para uma residência de padrão baixo com 4 pessoas, sendo realizadas limpezas a cada ano seria de, no mínimo, 1.630 L. Após o período de análise (aproximadamente 16 meses), não foi constatada colmatação ou qualquer tipo de

entupimento na vala de infiltração, algo relevante por se tratar de uma tecnologia de baixo custo. Além disso, durante o período avaliado, não foi realizada a remoção do lodo do sistema TSFAE.

Foi possível comparar o sistema de TSFAE com outras tecnologias aplicáveis ao saneamento rural, mesmo sendo os estudos referentes a tecnologias descentralizadas e de baixo custo ainda escassos. Alguns dos estudos e as tecnologias semelhantes as quais foram possíveis de comparação: (i) tanques sépticos econômicos seguidos por tanque de evapotranspiração; (ii) tanque séptico econômico com 3 câmaras em séries; e (iii) tanque séptico seguido por filtro anaeróbio com recheio alternativo, e a tecnologia TSFAE mostrou-se tão eficiente quanto.

Contudo, o trabalho segue sendo justificado por ser uma tecnologia acessível e eficiente, que tem como objetivo melhorar a qualidade de vida de pessoas que vivem em locais onde o tratamento de esgoto é inadequado, com fossas sépticas rudimentares ou ainda, tratamento inexistente.

7 SUGESTÕES

Algumas sugestões para futuros trabalhos e operação/manutenção do sistema:

- Para reduzir ainda mais o custo do sistema, sugere-se que no filtro anaeróbio seja utilizado material alternativo, inerte e com características adequadas (porosidade e área superficial) como meio suporte. Por exemplo: restos de construção (tijolos cerâmicos vazados), cascas de coco cortadas, aparas de conduíte, entre outros.
- Para aumentar a eficiência do sistema pode ser utilizado como pós-tratamento e como disposição final do efluente líquido do sistema de TSFAE um tanque de evapotranspiração (TEVAP), feito de materiais alternativos. Porém, mesmo com uso de materiais alternativos, o TEVAP pode elevar significativamente o custo final de implantação, assim, cabe analisar conforme a situação econômica do local.
- Para futuros trabalhos, sugere-se a realização de coletas mais representativas, coletas compostas, onde a amostragem de efluentes, a partir do TDH teórico de cada reator é coletada durante o dia em intervalo de algumas horas, assim, o esgoto será melhor caracterizado. Além disso, é importante que o monitoramento físico-químico contemple as quatro estações do ano, para que seja possível analisar a eficiência do sistema em diferentes temperaturas.
- Por fim, recomenda-se fazer análises do solo na vala de infiltração para acompanhar o desempenho do sistema e como o efluente está infiltrando no solo. Além disso, sugere-se a realização de análises das características físicas, químicas e biológicas do lodo proveniente do sistema, para observar o comportamento e analisar possíveis reusos.

REFERÊNCIAS

- ABNT.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ALMEIDA et al, R. de A.; OLIVEIRA, L. F. de; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, mar., 2007. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/download/1839/1751> >. Acesso em: 15 jul. 2021.
- APHA et al. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 2012.
- ÁVILA, R. O. de. **Avaliação do desempenho de sistemas Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. 166f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430/2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União, 13 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE -FUNASA). **Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil**. Brasília: Funasa, 2020. 53p.
- BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA. **Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR**. Brasília: Funasa, 2019.
- BRASIL. Lei 14024/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/00, nº 10.768/03, nº 11.107/05, nº 11.445/07, nº 12.305/10, nº 13.089/15 e Lei nº 13.529/17. **Diário Oficial da União, 09 de julho de 2020**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- BUENO, D. A. C. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: desempenho em operação crítica**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em:

<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322173>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CHERNICHARO, C. A. **Reatores Anaeróbios**. 1 ed., Belo Horizonte: UFMG, 1997.

DECEZARO, S. T. **Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em *Wetland* construído de fluxo vertical**. 2016. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

DECEZARO, S. T. **Sistema de tanque séptico e *wetland* construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico**. 2018. Xf. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

ECOFOSSA - Fossas Ecológicas – **Vala de Infiltração**. Disponível em: <<https://ecofossa.com/produto/vala-de-infiltracao/>>. Acesso em: 15 jul. 2021

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Portaria nº 68/2019. Dispõe sobre os critérios para disposição final de efluentes líquidos sanitários e efluentes líquidos industriais em solo no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado, 08 de julho de 2019**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=379605>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural: Diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. 2019. 318f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2019.

FOSSA SÉPTICA / FILTROS / SUMIDOUROS. In: Artefacil Consultoria e Produtos Hidrossanitários. Disponível em: <<http://artefacil.com.br/agropecuaria/fossa-septica-filtro-sumidouro>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

FRANCESCHINE, G. **Tecnologia de baixo custo para tratamento de esgoto rural: Reator UASB e Fossa Séptica Econômica**. 2019. 128f. Tese (Doutorado em Agronomia) –Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2019.

GOMES, B. G. L. A. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia**. 2015. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2015.

IBGE.INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **MALHA Municipal**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

JORDÃO, E. P. PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LOPES, A. E. **Tratamento descentralizado de efluentes sanitários por sistemas de tanque séptico econômico seguido por tanque de evapotranspiração**. 2018. 138f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Bambuí, MG, 2018.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MONTEIRO ENGENHARIA. **O que é, como funciona e como executar um tanque séptico**. 2018. Disponível em: <http://www.monteiroengenharia.com/conteudo/tanque_septico.html>. Acesso em: 15 jul. 2021

POSTIGO, M. D. BRESSANI, A.; FRANCESCHINI, G.; CHAVES, M. R. de M.; LONGO, R. M. Avaliação da eficiência de fossa séptica de baixo custo desenvolvida para o saneamento rural. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**. v. 14, n. 1, jan./jun. 2017.

REISMANN, H.; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. R. n: Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: Principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes. In: 29º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2017. **Anais...** São Paulo? ABES, 2017, p. 6.

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

SCALIZE, P.S; BEZERRA, N. R. (org.). **Curso de especialização de saneamento e saúde ambiental: Saneamento Rural**. Goiânia: CEGRAF UFG, 2020. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/688/o/Saneamento_Basico_Rural.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p..

RIO GRANDE DO SUL. CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 355/2017? Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado, 19 de julho de 2017**. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

TONETTI, A. L; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. y 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. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de**

soluções. Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018. 153p. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/publicacoes/livro/>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal.** v. 1. London: IWA, 2007.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** v. 2. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2016.

APÊNDICE A

Quadro A. 1 – Dados das concentrações obtidas em cada análise

ESGOTO BRUTO										
Data	Temp. (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	P-PO4 ³⁻ (mg/L)	NTK (mg/L)	Coli Total (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
27/09/2019	24	7,3	5397	-	4345	-	47	-	-	1,60E+06
01/11/2019	27	7,2	-	983	12990	9600	-	728	-	1,60E+06
17/12/2019	25	7,0	1741	1000	1980	1900	91	84	4,30E+07	4,30E+07
03/01/2020	22	7,0	1860	-	4155	4100	-	-	8,00E+06	2,15E+06
15/12/2020	23	7,4	3085	2528	2325	1150	58	231	9,60E+06	4,65E+04
12/01/2021	27	8,7	1006	729	1510	243	114	518	-	1,05E+06
MÉDIA	25	7,4	2618	1310	4551	3399	77	390	1,49 x 10⁷	1,50 x 10⁶
DESVIO PADRÃO	2,1	0,6	1724	821	4295	3749	31	288	-	-
TANQUE SÉPTICO										
Data	Temp. (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	P-PO4 ³⁻ (mg/L)	NTK (mg/L)	Coli total (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
27/09/2019	22	8,3	678	-	1085	-	11	51	-	9,40E+03
01/11/2019	26	8,0	1071	-	1630	1100	32	39	-	1,80E+04
17/12/2019	25	7,9	887	583	2380	-	51	186	1,60E+08	9,20E+07
03/01/2020	22	7,0	1616	-	1615	1539	-	-	2,15E+06	8,00E+06
15/12/2020	23	7,9	1694	983	1500	1000	48	196	8,50E+04	1,00E+04
12/01/2021	27	7,3	782	583	925	172	38	315	-	7,00E+05
MÉDIA	24	7,7	1121	716	1523	953	35	158	3,08 x 10⁶	3,09 x 10⁵
DESVIO PADRÃO	2	0,5	434	231	511	570	16	114	-	-
FILTRO ANAERÓBIO										
Data	Temp. (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	P-PO4 ³⁻ (mg/L)	NTK (mg/L)	Coli totais (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
27/09/2019	22	7,9	581	-	720	90	9	40	-	6,30E+03
01/11/2019	26	7,5	565	277	700	160	14	52	-	-
17/12/2019	24	7,8	781	586	870	-	48	137	1,60E+06	1,60E+06
03/01/2020	22	7,0	-	-	865	-	-	-	1,75E+06	1,40E+06
15/12/2020	23	7,7	1654	-	1480	800	57	161	1,05E+05	1,00E+04
12/01/2021	27	7,7	751	447	725	107	32	95	-	8,50E+05
MÉDIA	24	7,6	866	437	893	289	32	97	6,65 x 10⁵	1,64 x 10⁵
DESVIO PADRÃO	2	0,3	451	155	297	342	21	53	-	-

Fonte: Autora (2021).