CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMA FOSSA E FILTRO DE UM MUNICÍPIO DA SERRA GAÚCHA

Jéssica Scottá

Lajeado, novembro de 2015

Jéssica Scottá

AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMA FOSSA E FILTRO DE UM MUNICÍPIO DA SERRA GAÚCHA

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ambiental.

Orientador: Professor Me. Gustavo Reisdörfer

Lajeado, novembro de 2015

Jéssica Scottá

AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMA FOSSA E FILTRO DE UM MUNICÍPIO DA SERRA GAÚCHA

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação especifica em Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia:

Prof. Me Gustavo Reisdörfer
Centro Universitário UNIVATES

Profa. Ma. Maria Cristina de Almeida Silva
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me Marcelo Luis Kronbauer
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, 30 de novembro de 2015

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, pelo suporte e apoio incondicional.

À minha irmã, e colega de trabalho, pela paciência e apoio nos dias de mau humor, pela compreensão, e por ter segurado as pontas na empresa nos vários momentos em que não pude estar presente ou mesmo nos momentos em que mesmo presente eu não pude colaborar.

Ao meu orientador, Profº. Me. Gustavo Reisdörfer, pela paciência, por compartilhar conhecimentos e contribuir para minha formação profissional e pessoal.

À Profª. Ma. Maria Cristina, pela dedicação e contribuição.

À Univates e ao Laboratório de Biorreatores pela disponibilização de equipamentos e materiais necessários para realização das análises.

À SMMA por ter me permitido realizar essa pesquisa e pelo fornecimento dos dados necessários.

Ao meu companheiro de vida, Tiago, pelo carinho, respeito e apoio de sempre.

À minha grande amiga Camila, pela parceria, compreensão e paciência, que mesmo longe esteve sempre disponível a ouvir os problemas e descobertas, e me incentivou durante toda a jornada da graduação.

À minha cunhada Sabrina, que nos últimos anos foi companhia diária no caminho de ida e volta pra faculdade, e que contribuiu na elaboração desse trabalho.

À todos os colegas, aos professores e amigos, da Univates e da UCS, que colaboraram de alguma forma na minha formação.

E, sobretudo, à DEUS, por me permitir viver esse momento.

RESUMO

Fornecer condições de qualidade de vida para a população através de uma estrutura adequada de saneamento ambiental é essencial para o desenvolvimento humano e social. A coleta, transporte e o tratamento de esgoto doméstico são de fundamental importância para a manutenção do equilíbrio dos corpos hídricos e a garantia da qualidade das águas de abastecimento. Este trabalho apresenta a avaliação de uma estação pública de tratamento de esgoto doméstico de pequeno porte, que recebe o efluente de uma comunidade de baixa renda de um município da Serra Gaúcha, e a otimização do sistema através da proposição e dimensionamento de um sistema de *wetland* construído para polimento final, e de melhorias no funcionamento da ETE, que foi projetada no ano de 1998 para receber uma vazão máxima de 275,62 $m^3.d^{-1}$. A fim de se avaliar a eficiência de remoção de poluentes pela ETE, foram realizadas análises mensais, de maio a outubro de 2015, a partir das quais foi possível observar que, mesmo alcançando faixas de eficiências dentro do esperado para esse tipo de sistema, com média de 64,42% de remoção de DBO_5, 73% de DQO e 67,08% de SS, o tratamento não atinge o padrão de lançamento estabelecido pela Resolução CONSEMA 128/2006. Por isso, foi proposto um sistema de pós-tratamento por *wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal para melhoria da qualidade do efluente final. Também foi avaliado o dimensionamento do sistema fossa e filtro, composto por dois tanques sépticos interligados tipo Inmhoff seguidos de quatro filtros anaeróbios, e observado que, apesar de existirem alguns equívocos no projeto original, a capacidade da ETE é suficiente para atender a comunidade. No entanto, não é possível afirmar que o mesmo foi executado corretamente, devido a existência de inconsistência entre projeto e estrutura pronta. Essa avaliação foi feita com base nas NBR 7229/1993 e 13969/1997. Por fim foram sugeridas algumas melhorias na operação, como instalação de um dispositivo de retrolavagem nos filtros anaeróbios e instalação de um hidrômetro para estabelecer a vazão atual de lançamento.

Palavras-chave: Tratamento de esgotos domésticos. Fossa séptica. Filtro anaeróbio. Eficiência. *Wetland* construído.

ABSTRACT

Provide quality of life conditions for the population through an appropriate structure of environmental sanitation is essential for human and social development. The collection, transportation and treatment of domestic sewage are extremely important to maintain the balance of water bodies and ensuring the quality of drinking water. This paper presents the evaluation of a public sewage treatment plant, which receives the effluent from a low-income community in a city of Serra Gaucha, and the system optimization by proposing and designing a constructed wetland plant to the final polishing, and improvements in the functioning of the treatment station, which was designed in 1998 to receive a maximum flow rate of 275.62 $m^3.d^{-1}$. In order to evaluate the polluttant removal efficiency, monthly analyzes were carried out from May to October 2015, from which it was observed that, even reaching efficiencies bands as expected for this type of system, average of 64.42% removal of BOD, 73% of COD and 67.08% of SS, treatment does not reach the discharge standard established by CONSEMA Resolution 128/2006. Tha's why, a constructed wetland to improve the quality of the final effluent has been proposed. It was also evaluated the design of the tanks and filters system, consisting of two interconnected septic tanks followed by four anaerobic filters, and noted that although there are some mistakes in the original project, the capacity of the plant is sufficient to treat the community sewage. However, it's not possible to say that it was implemented properly, because there are some inconsistencies between designed and constructed structure. This evaluation was based on NBR 7229/1993 and 13969/1997. Lastly, some improvements in operation, such as installing a retrolagem device in anaerobic filters and installation hydrometer to establish the current flow release, have been proposed.

Keywords: Domestic sewage treatment. Septic tank. Anaerobic filter. Efficiency. Constructed wetlands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma fossa séptica de câmara única.....32
Figura 2 – Ilustração esquemática de um filtro anaeróbio.....33
Figura 3 – Esquema representativo de um wetland construído de fluxo subsuperficial 36
Figura 4 – Delimitação do município *de* Garibaldi.....41
Figura 5 – Localização das redes coletoras e da ETE 45
Figura 6 – Localização da caixa de inspeção e coleta do esgoto bruto 46
Figura 7 – Presença visível de grandes quantidade de sólidos no efluente bruto.....55
Figura 8 – Localização da área para instalação do wetland e da ETE.....72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos encontrados nos esgotos domésticos.....21
Tabela 2 – Mecanismos de remoção e principais poluentes removidos em cada nível de tratamento 29
Tabela 3 – Sistemas típicos de POAs 37
Tabela 4– Padrão de lançamento de DBO_5, DQO e SS.....51
Tabela 5 – Características do esgoto gerado na comunidade 54
Tabela 6 - Eficiência geral da estação em relação as médias de valores de entrada e saída 57
Tabela 7 – Valores de DBO_5 na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 58
Tabela 8 - Valores de DQO na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 60
Tabela 9 - Valores de DQO na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 61
Tabela 10 - Valores de N- amoniacal na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 62
Tabela 11 - Valores de SS na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 63
Tabela 12 - Valores de SSed na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção 64
Tabela 13 – Concentrações de OD na entrada e saída do sistema 64

Tabela 14 – Comportamento da temperatura na entrada e saída do sistema 65
Tabela 15 – Valores de pH na entrada e saída da estação de tratamento 66
Tabela 16 – Valores de turbidez encontrados na entrada e saída do sistema e eficiência 67
Tabela 17 – Valores de cor na entrada e saída da estação e eficiência de remoção68
Tabela 18 – Valores utilizados e encontrados no projeto original e na avaliação do dimensionamento dos tanques sépticos 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Art	Artigo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CORSAN	Companhia Rio Grandense de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD em inglês)
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxigênio padrão de 5 dias a 20ºC
DQO	Demanda Química de Oxigênio (COD em inglês)
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
N-amoniacal	Nitrogênio Amoniacal
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
Pt-Co	Unidade de cor “Platina-Cobalto”
SS	Sólidos Suspensos
SSed	Sólidos Sedimentáveis
UASB	U*pflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente)
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WC	*Wetland* construído

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 Tema 14
1.1.1 Delimitação do tema 14
1.2 Problema 14
1.3 Hipótese 15
1.4 Objetivos 15
1.4.1 Objetivo geral 15
1.4.2 Objetivos específicos 15
1.5 Justificativa 16

2 REFERENCIAL TEÓRICO 17

2.1 Saneamento ambiental 17
2.2 Legislação 18
2.3 Esgotamento sanitário 19
2.4 Esgoto doméstico 20
2.4.1 Características 21
2.4.2 Parâmetros importantes 21
2.4.2.1 Cor e turbidez 22
2.4.2.2 Temperatura 22
2.4.2.3 pH 23
2.4.2.4 Oxigênio dissolvido (OD) 23
2.4.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 24
2.4.2.6 Demanda química de oxigênio (DQO) 24
2.4.2.7 Relação DQO/DBO 25
2.4.2.8 Sólidos 25
2.4.2.9 Nitrogênio 26
2.4.2.10 Fósforo 26

2.4.2.11 Óleos e graxas 26
2.4.2.12 Organismos patogênicos 27
2.4.2.13 Odores 27
2.5 Tratamento de esgotos 28
2.6 Níveis do tratamento de esgotos 28
2.7 Tratamento biológico de esgotos 29
2.7.1 Tratamento aeróbio 30
2.7.2 Tratamento anaeróbio 31
2.7.2.1 Fossas sépticas 31
2.7.2.3 Filtros anaeróbios 32
2.8 Pós-tratamento 34
2.8.1 Lagoas de polimento 34
2.8.2 Wetlands 35
2.8.3 Processos oxidativos avançados (POAs) 36
2.9 Sistema fossa séptica – filtro anaeróbio 37
2.9.1 Dimensionamento do tanque séptico de câmaras sobrepostas 38
2.9.2 Dimensionamento do filtro anaeróbio 40
2.9.2.1 Volume 40
2.10 Caracterização do município 41
2.10.1 Saneamento municipal 42
2.10.2 Esgotamento Sanitário 42

3 METODOLOGIA 44

3.1 Descrição do sistema estudado 44
3.2 Acompanhamento do funcionamento da ETE 47
3.3 Determinação dos parâmetros 47
3.3.1 Determinação de pH e temperatura 48
3.3.2 Determinação do OD 48
3.2.3 Determinação da DBO 48
3.3.4 Determinação da DQO 49
3.3.5 Determinação de cor 49
3.3.6 Determinação de turbidez 49
3.3.7 Determinação de nitrogênio amoniacal 50
3.3.8 Determinação de sólidos suspensos 50
3.3.9 Determinação de sólidos sedimentáveis 50
3.4 Avaliação da eficiência do tratamento 50
3.5 Avaliação do sistema 51
3.6 Definição do sistema de pós-tratamento 52

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 53

4.1 Caracterização do esgoto gerado na comunidade 53
4.2 Desempenho geral da ETE 56
4.3 Carga orgânica 57
4.3.1 DBO_5 57
4.3.2 DQO 59
4.3.3 DQO/DBO_5 60
4.4 Nitrogênio amoniacal 61

4.5 Sólidos suspensos e sedimentáveis 62
4.6 Oxigênio dissolvido 64
4.7 Temperatura e pH 65
4.8 Turbidez e cor 66
4.9 Avaliação do sistema 68
4.9.1 Dimensionamento da ETE 68
4.9.2 Avaliação operacional 70
4.10 Sugestão de pós-tratamento 71

5 CONCLUSÃO 76

REFERÊNCIAS 78

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à sobrevivência de todas as espécies e, apesar do planeta possuir grandes reservas, aproximadamente 97% dela está nos oceanos e não é própria para o consumo sem ser submetida a tratamentos avançados e muitos custosos (VICTORINO, 2007).

Depois de retirada do ambiente para abastecimento e utilização nas residências, indústrias, estabelecimento públicos ou comerciais, a água tem incorporada a ela impurezas que alteram suas características físicas, químicas e biológicas naturais, passando então a ser chamada de esgoto sanitário ou água residual.

O crescimento elevado da população mundial aliado ao crescente volume de esgotos sanitários gerados e despejados nos corpos hídricos e no solo, com pouco ou nenhum tipo de tratamento, vem contribuindo para a degradação do meio ambiente, através da poluição dos recursos naturais, desestabilização dos ecossistemas e causando graves problemas ambientais e sociais. Nesse sentido a busca crescente por soluções de saneamento ambiental e tecnologias de tratamento de esgotos é parte fundamental do processo de recuperação e manutenção da qualidade de vida da população e do meio ambiente.

Atualmente, a procura por processos de tratamentos de esgotos eficientes e de baixo custo tem sido o objetivo de diversos trabalhos. É importante destacar, que além de novas tecnologias, é necessário empenhar-se em adequar sistemas de tratamento já existentes, buscando ajustar as características técnicas, bem como as rotinas operacionais, visando uma melhora na eficiência.

Assim, os sistemas de fossas sépticas e filtros anaeróbios apresentam-se como um processo de tratamento de esgotos bastante difundido, de baixo custo de instalação e operação comparado a outras tecnologias mais avançadas. Porém, o tratamento apresenta poucas alternativas técnicas e operacionais que possibilitem alcançar eficiências satisfatórias de remoção de poluentes.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta a avaliação das características técnicas e operacionais de uma estação de tratamento de esgotos composta por fossas sépticas e filtros anaeróbios, propondo sua otimização através de alternativas que visem a melhora na eficiência do sistema, como a proposição de um pós-tratamento para polimento final do efluente.

1.1 Tema

Tratamento coletivo de esgotos domésticos por sistemas fossa séptica e filtro anaeróbio.

1.1.1 Delimitação do tema

Avaliar a eficiência do tratamento coletivo de esgotos domésticos por sistemas simplificados e de fácil operação, tomando como base uma estação pública de tratamento de esgotos formada pelo conjunto fossa séptica e filtro anaeróbio em um município da Serra Gaúcha.

1.2 Problema

O tratamento de esgotos domésticos por sistemas simplificados com fossa séptica e filtro anaeróbio, bastante utilizados para tratamento individual domiciliar, é eficiente quando utilizado como sistema público coletivo? Quais as limitações

operacionais desses sistemas? Atingem os padrões de lançamento ou necessitam de um pós-tratamento? Qual a melhor opção para o pós-tratamento?

1.3 Hipótese

Por ser um sistema bastante simplificado, possuir condições operacionais deficientes, sem registros de projeto ou de acompanhamento da execução, e apresentar problemas frequentes de funcionamento, acredita-se que essas tecnologias de tratamento não atinjam a qualidade necessária para disposição final de efluentes em corpos hídricos, sendo necessário um polimento final adequado a fim de garantir a qualidade do meio ambiente.

1.4 Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos do presente trabalho.

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de esgotos domésticos composta por fossa séptica seguida de filtros anaeróbios como tratamento público coletivo de águas residuárias em um município da Serra Gaúcha.

1.4.2 Objetivos específicos

O presente trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

a) Analisar parâmetros físicos e químicos do esgoto bruto e tratado;

b) Avaliar a eficiência do tratamento de esgotos;
c) Avaliar o dimensionamento das estruturas componentes do sistema;
d) Propor a otimização do tratamento através de melhorias operacionais e proposição de um sistema para polimento final do efluente tratado.

1.5 Justificativa

Atualmente existem diversas tecnologias para o tratamento de esgotos, por isso deve-se avaliar qual a opção mais adequada em cada caso. Uma opção economicamente viável e de fácil operação são os sistemas de fossa séptica seguidos de filtros anaeróbios para tratamento coletivo de esgotos domésticos, que possuem baixo custo de instalação, operação e pouca manutenção.

Esse conjunto é largamente utilizado no Brasil, principalmente para tratamento individual domiciliar, mas também comumente utilizado para tratamento coletivo de esgotos domésticos, especialmente em pequenas comunidades ou bairros. Entretanto, por serem sistemas bastante simplificados, muitas vezes não atingem a qualidade esperada para o efluente tratado. Por isso é necessário que se monitore as características do mesmo a fim de garantir a qualidade do corpo hídrico receptor.

O desempenho das diversas tecnologias de tratamento é motivo constante de estudos, porém não há um resultado consolidado e cada sistema deve ser projetado levando em conta as características locais do esgoto. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma abordagem completa de uma estação de tratamento anaeróbio composto por duas fossas sépticas de câmaras sobrepostas seguidas por quatro filtros anaeróbios, no município de Garibaldi na Serra Gaúcha.

Essa avaliação é importante, pois esse conjunto que é largamente utilizado, se aproveitada toda a sua eficiência, pode ser uma opção viável para a melhoria nas condições de tratamento de esgotos domésticos no país. Para isso foram realizadas análises do esgoto antes e depois da passagem pelo tratamento. Após a avaliação dos resultados e observação do comportamento da ETE foi proposto um sistema de polimento final, como parte da otimização do processo, a fim de alcançar os padrões de lançamento exigidos pela Resolução CONSEMA 128/2006.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A qualidade de vida da população e do meio ambiente está diretamente ligada a uma boa infraestrutura de saneamento ambiental, sendo o esgotamento doméstico uma parcela bastante significativa dentre as várias áreas do saneamento.

Por isso, nesse trabalho é apresentada uma abordagem teórica sobre o significado e a importância do saneamento ambiental, sobretudo da área de esgotamento sanitário doméstico, a caracterização do mesmo e as opções de processos de tratamento e pós-tratamento. Também é apresentada uma descrição do município no qual a estação de tratamento de esgoto (ETE) está inserida.

2.1 Saneamento ambiental

De acordo com Brasil (2006), o saneamento ambiental, que também é conhecido como saneamento básico, é o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar a salubridade ambiental, promovendo a melhoria nas condições de vida da população urbana e rural.

Para os efeitos da Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, Art 3º, saneamento básico é:

> [...] conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:
> a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água

> potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
> b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final do meio ambiente;
> c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
> d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Uma estrutura de saneamento adequada, além de garantir a saúde da população, incentiva hábitos saudáveis de higiene, melhora o desenvolvimento humano e promove o turismo cultural (BARROS et al, 1995).

Como pode-se observar, o saneamento envolve um vasto campo de atuação, porém esse trabalho contemplará apenas a área de tratamento de esgotos, que é muito importante para a melhoria da qualidade ambiental.

2.2 Legislação

No Brasil, a legislação ambiental vigente estabelece normas e padrões para o lançamento de efluentes nos recursos hídricos através de resoluções, leis e decretos de âmbito nacional, estadual ou municipal. Os principais textos legais referentes ao assunto e utilizados nesse trabalho são:

a) Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências;
b) Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as Leis nº 6.766/1979, 8.036/1990, 8.666/1993 e 8.987/1995, revoga a Lei nº 6.528/1978 e dá outras providências;

c) Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357/2005;
d) Lei Estadual nº 6.503 de 22 de dezembro de 1972, dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública;
e) Lei Estadual nº 11.520 de 03 de agosto de 2000, institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências;
f) Resolução Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 128 de 24 de novembro de 2006, dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais do Rio Grande do Sul;
g) Resolução CONSEMA 245 de 20 de agosto de 2010, dispõe sobre a fixação de procedimentos para o licenciamento de Sistemas de Esgotamento Sanitário;
h) Lei Municipal nº 3.028 de 16 de outubro de 2002, obriga a instalação de fossa séptica e filtro anaeróbio em esgotos domiciliares, revoga a Lei nº 2.090/1991 e dá outras providências;
i) Lei municipal 4.400 de 28 de dezembro de 2012 que institui o Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo de Garibaldi, destinado a promover a saúde, a qualidade de vida e do meio ambiente, a organizar a gestão e estabelecer as condições para prestação dos serviços públicos de saneamento básico e sua universalização e seu Anexo I que estabelece metas e prazos de execução para a área de esgotamento sanitário.

2.3 Esgotamento sanitário

A NBR 9648 (1986, p.1) define esgoto sanitário como um “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Pode ser classificado em dois grupos principais:

a) esgotos domésticos: são despejos líquidos resultantes do uso da água em residências, edifícios comerciais ou quaisquer instalações que possuam

banheiros, lavanderias, ou qualquer outro dispositivo que permita o uso para fins domésticos. Compostos por dejetos humanos, sabões e detergentes, óleos e graxas e águas de banho e de lavagem;

b) efluentes industriais: provém de qualquer utilização de água para fins industriais e possui características diversas dependendo do ramo de atividade de cada indústria (BARROS et al, 1995).

Também pode ser de origem pluvial, originário da água da chuva que escoa superficialmente e arrasta consigo partículas poluidoras.

Segundo Von Sperling (2005), o termo esgotamento sanitário também pode ser usado para definir os sistemas de tubulações que conduzem os despejos, podendo ser individuais ou coletivos. Os individuais são usualmente utilizados para atendimento unifamiliar, pois pressupõem uma solução local, mas também podem servir um número de residências muito próximas umas das outras. Já os coletivos são indicados para lugares com elevada densidade populacional e conduzem os despejos para estação de tratamento ou para o destino final. Os sistemas coletivos ainda podem ser divididos em duas categorias: sistema coletivo combinado, onde o esgoto sanitário e a vazão pluvial são conduzidos na mesma tubulação e sistema coletivo separador, onde ambos são conduzidos em canalizações separadas.

Nos sistemas combinados existe o inconveniente de que em momentos de grande pluviosidade podem ocorrer refluxos de esgotos para as residências e, no caso de condução para uma ETE, há um extravasamento do sistema, pois estes não são dimensionados para tratar a vazão excessiva (VON SPERLING, 2005).

2.4 Esgoto doméstico

Essa parcela do esgotamento sanitário se tornou um grande problema devido ao crescimento populacional nos centros urbanos, o que resultou em um aumento significativo do volume gerado, causando a saturação dos corpos hídricos que antes conseguiam a estabilização ambiental da matéria orgânica através do fenômeno da autodepuração.

2.4.1 Características

As características dos esgotos se devem em função do uso da água. Esses usos variam com o clima, situação social e econômica e os hábitos da população.

O esgoto doméstico é constituído por aproximadamente 99,9% de água e apenas 0,1% de poluentes. E é essa pequena porcentagem que torna necessário seu tratamento (BARROS et al, 1995 e VON SPERLING, 2005).

Alguns parâmetros importantes e seus respectivos valores típicos encontrados no esgoto doméstico bruto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores típicos encontrados nos esgotos domésticos

Parâmetro	Unidade	Faixa	Típico
$DBO_5^{20°c}$	mg/L	200 – 500	350
DQO	mg/L	400 – 800	700
Oxigênio dissolvido	mg O_2/L	0	0
Nitrogênio amoniacal	mg NH_3-N/L	20 – 40	30
Fósforo	mg P/L	5 – 25	14
pH	-	6,5 - 7,5	7,0
Sólidos suspensos	mg/L	200 – 450	400
Sólidos sedimentáveis	mg/L	10 – 20	15

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005), Jordão e Pessoa (2014) e Metcalf e Eddy (2003).

2.4.2 Parâmetros importantes

Os parâmetros de qualidade indicam as características dos esgotos ou dos corpos hídricos receptores e podem ser de natureza física, química ou biológica.

No tratamento de esgotos, os parâmetros importantes são aqueles relacionados às exigências legais, necessidades de projeto, operação e avaliação do desempenho das ETEs (JORDÃO e PESSOA, 2014).

2.4.2.1 Cor e turbidez

Esses dois parâmetros se referem principalmente ao aspecto estético do esgoto, mas assumem importância significativa quando o objetivo é o reuso ou quando o efluente é lançado em corpos d'água em que a aparência da água é importante (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Segunda Motta (2003), a cor é causada pela presença de sólidos dissolvidos e é indicativa da condição de chegada dos esgotos à ETE. Cores acinzentadas indicam esgoto fresco e cor preta indica esgoto séptico. Caso apresentem outras cores pode ser caracterizada a presença de esgotos industriais.

Vários tipos de substâncias podem conferir cor ao esgoto, e nem sempre são originadas pela ação humana. Coloração marrom ou amarelada em águas superficiais, por exemplo, podem indicar presença de substâncias húmicas, decorrentes de processos naturais de decomposição vegetal. (SANT'ANNA JR., 2010).

Já a turbidez, segundo Richter (2007), se deve a presença sólidos em suspensão, microrganismos microscópicos e algas, de diversos tamanhos, que conferem nebulosidade ao líquido. Esgotos mais frescos ou mais concentrados geralmente tem maior valor de turbidez.

É um parâmetro importante no metabolismo dos organismos produtores de oxigênio no meio, por ser responsável pela redução da penetração da luz nos diversos compartimentos de um ecossistema aquático (ESTEVES,1998 apud Moura et al, 2013).

2.4.2.2 Temperatura

A temperatura é de grande importância no tratamento de esgoto doméstico e está diretamente ligada a concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos corpos d'água, quanto maior a temperatura, menor a solubilidade do OD em água. Também é especialmente importante em sistemas biológicos de tratamento, pois a atividade microbiana e as reações químicas aumentam com sua elevação, aumentando

também a velocidade de decomposição da matéria orgânica e a viscosidade do líquido. Segundo Chernicharo (2007), a faixa ótima para atividade microbiana mesofílica fica entre 25ºC e 35ºC. Em temperaturas abaixo de 15ºC praticamente não ocorre digestão anaeróbia.

Em esgotos domésticos, a temperatura é superior à das águas de abastecimento, e os valores variam de acordo com as estações do ano. E é normalmente maior que a temperatura do ar, exceto nos meses mais quentes do verão (METCALF e EDDY, 2003).

2.4.2.3 pH

O termo pH refere-se ao potencial hidrogeniônico, uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução. Essa escala compreende valores entre 0 e 14, sendo que 7 é considerado valor neutro, 0 acidez máxima e 14 alcalinidade máxima (MOTA, 2003).

É um parâmetro importante no controle de ETEs, sobretudo nos processos anaeróbios e oxidativos, pois influencia a velocidade da nitrificação no processo que é praticamente inibida com pH menor que 5,0. (SANT'ANNA JR., 2010).

O pH do esgoto varia normalmente varia de 6,5 a 7,5. (JORDÃO e PESSOA, 2014).

2.4.2.4 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é o parâmetro que melhor caracteriza a qualidade de um corpo hídrico. É fundamental em processos aeróbios na respiração dos microrganismos que realizam a degradação da matéria orgânica e está associado diretamente com a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos. Além de depender da temperatura e da pressão, ele é profundamente afetado por poluentes orgânicos biodegradáveis. Quando o esgoto que contém compostos orgânicos, como o esgoto doméstico, é despejado em um rio, as bactérias presentes na água degradam

a matéria orgânica biodegradável, consumindo o oxigênio que está dissolvido na água (SANT'ANNA JR., 2010).

2.4.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio é a quantidade de oxigênio requerida pelos microrganismos, predominantemente bactérias, para estabilizar a matéria orgânica biodegradável presente na água ou no esgoto. É um indicador da concentração da matéria orgânica e é importante para se conhecer o grau de poluição dos líquidos. Quanto maior o grau de DBO, maior a concentração de poluentes biodegradáveis (NUVOLARI, 2003).

Não há um consenso entre autores sobre os valores típicos de DBO para o esgoto doméstico, os valores mais comumente encontrados variam entre 100 e 500 mg/L.

2.4.2.6 Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da fração orgânica biodegradável e não biodegradável de uma determinada amostra. Em termos analíticos esse parâmetro tem grandes vantagens sobre a DBO, no que se refere ao tempo de obtenção de resultados, pois permite respostas em tempo muito menor. Enquanto a análise da DBO demora 5 dias, valores de DQO podem ser encontrados em 2 ou 3 horas. Porém, os critérios de dimensionamento para vários processos de tratamento são frequentemente expressos em termos de DBO (VON SPERLING, 2005).

Os valores de DQO nos esgotos domésticos são sempre maiores que a DBO e variam em torno de 200 e 800 mg/L (JORDÃO e PESSOA, 2014).

2.4.2.7 Relação DQO/DBO

A relação DQO/DBO indica a biodegradabilidade do esgoto. Também auxilia na escolha do tipo de tratamento a ser adotado. O valor da relação para esgotos domésticos varia entre 1,5 e 2,5, o que significa que o esgoto tem uma fração biodegradável elevada, sendo aconselhável o tratamento biológico. Valores entre 2,5 e 3,5 indicam que o esgoto não tem grande biodegradabilidade e devem ser feitos estudos de tratabilidade para se verificar a viabilidade do tratamento biológico. Para relação DQO/DBO entre 3,5 e 5,0 indica-se o uso de tratamento físico-químico, pois há a predominância de matéria inerte (VON SPERLING, 2005).

Essa relação também varia à medida que o esgoto passa pelas etapas de tratamento dentro da ETE, em esgotos domésticos esse valor tende a aumentar, pois a matéria biodegradável vai sendo degradada enquanto a fração inerte permanece praticamente inalterada (JORDÃO e PESSOA, 2014).

2.4.2.8 Sólidos

Todos os poluentes, com exceção dos gases, contribuem para a carga de sólidos na água e podem ser classificados por suas características físicas em sólidos dissolvidos (SD) ou em suspensão (SS), de acordo com o tamanho e o estado em que se encontram (VON SPERLING, 2005).

Há uma classe de sólidos denominada de sedimentáveis, que normalmente são partículas maiores que os sólidos suspensos e que sedimentam em teste de 1 hora em cone Inmhoff. Esta parcela dos sólidos é importante no dimensionamento de ETEs e para determinação da frequência de remoção do lodo. O lançamento de esgotos com sólidos sedimentáveis (SSed) pode causar assoreamento e desestabilização das comunidades bentônicas nos corpos receptores (SANT'ANNA JR., 2010).

Também são classificados de acordo com suas características químicas, podendo ser voláteis, parcela orgânica, ou fixos, parcela inorgânica.

2.4.2.9 Nitrogênio

O nitrogênio está presente nos esgotos sob a forma de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. Através dele é possível estimar o grau de estabilização da matéria orgânica pela forma em que se encontra. No esgoto bruto pode ser encontrado na forma de nitrogênio orgânico ou amônia (JORDÃO e PESSOA, 2014).

É um parâmetro muito importante em termos de controle da poluição das águas. Ele é um elemento essencial para o crescimento de algas, por isso, em excesso, pode conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas (MOTA e VON SPERLING, 2009).

2.4.2.10 Fósforo

O fósforo total nos esgotos apresenta-se na forma de fosfatos orgânicos e inorgânicos. A fração orgânica tem origem fisiológica e a inorgânica em detergentes e produtos químicos utilizados na limpeza doméstica. Pode também estar associado à decomposição da matéria orgânica e a dissolução de compostos do solo (METCALF e EDDY, 2003).

Usualmente os esgotos domésticos possuem teor suficiente de fósforo, que é um nutriente importante para o desenvolvimento de processos biológicos aeróbios e também para o desenvolvimento de algas (SANT'ANNA JR., 2010). Porém, se lançado nos corpos hídricos em excesso, causa a eutrofização.

2.4.2.11 Óleos e graxas

Óleos e graxas estão sempre presentes nos esgotos domésticos devido às atividades de preparação e uso de alimentos e lavagem de utensílios na cozinha. São identificados geralmente pelo nome de gordura e são encontrados nos esgotos domésticos em concentrações entre 50 e 150 mg/L (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Em grandes concentrações esses materiais podem causar o entupimento das redes de esgotos ou formar uma camada de escuma dentro dos sistemas, interferindo negativamente no tratamento (NUVOLARI, 2003).

2.4.2.12 Organismos patogênicos

A origem dos agentes patogênicos no esgoto é predominantemente humana ou de animais de sangue quente. E a quantidade presente varia de acordo com as condições socioeconômicas da população, condições sanitárias, região geográfica e o tipo de tratamento a que o esgoto é submetido (VON SPERLING, 2005).

A indicação mais usual de contaminação dos esgotos é feita através de coliformes termotolerantes, sendo o principal representante dessa classe a *Escherichia coli,* encontrada nos excretas de animais de sangue quente.

2.4.2.13 Odores

Os odores característicos dos esgotos são causados pelos gases formados na decomposição dos poluentes. É uma condição subjetiva, de difícil avaliação, uma vez que não se pode quantificar esse parâmetro. Existem alguns tipos principais, bem característicos, conforme Richter (2007):

a) odor de mofo, típico de esgoto fresco;
b) odor de ovo podre, típico de esgoto velho, ocorre devido à formação de gás sulfídrico, proveniente da decomposição anaeróbia;
c) odores variados de produtos podres: podem se dar devido a presença de sulfetos orgânicos, matéria fecal.

2.5 Tratamento de esgotos

As técnicas de tratamento sempre tiveram como prioridade gerar esgotos livres de seus principais poluentes, a fim de diminuir o impacto causado pelo seu lançamento nos corpos receptores. Antigamente, o que ditava o padrão de qualidade que o esgoto tratado deveria alcançar eram as tecnologias disponíveis e o nível de conhecimento científico. Dessa forma, houve uma época em que o objetivo do tratamento era a simples remoção de sólidos suspensos e da matéria orgânica biodegradável (SANT'ANNA JR., 2010).

Existem diversas tecnologias e opções de sistemas para tratamento de esgotos. Porém, para escolher um sistema adequado, deve-se considerar alguns aspectos importantes, como os objetivos do tratamento, qual o nível de tratamento que se espera alcançar e qual o impacto que o lançamento desse efluente tratado irá causar no corpo hídrico receptor.

O grau e a eficiência do tratamento necessários serão sempre em função das características do uso da água a jusante do ponto de lançamento e do corpo receptor, da capacidade de autodepuração e diluição do corpo d'água, da legislação ambiental e das consequências do lançamento do esgoto (JORDÃO e PESSOA, 2014).

2.6 Níveis do tratamento de esgotos

O tratamento de esgotos é classificado através dos seguintes níveis:

a) tratamento preliminar;
b) tratamento primário;
c) tratamento secundário;
d) tratamento terciário ou avançado.

O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros como areia, pedregulho, galhos ou outros materiais maiores que eventualmente podem ser arrastados junto com o esgoto, enquanto o tratamento primário tem o objetivo de remover sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Ambos fazem a remoção por mecanismos físicos. Já o tratamento secundário visa à remoção de matéria

orgânica por meio de oxidação biológica, onde eventualmente ocorre a remoção de nutrientes. E o tratamento terciário ou avançado objetiva a remoção de poluentes específicos ou a remoção complementar de poluentes não removidos no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 2 estão descritos as operações unitárias que compõem os níveis de tratamento e os poluentes removidos em cada um.

Tabela 2 – Mecanismos de remoção e principais poluentes removidos em cada nível de tratamento

Nível de tratamento	Mecanismos de Remoção	Principais poluentes Removidos
Tratamento preliminar	Grades caixa de areia medidor de vazão	sólidos grosseiros areia galhos
Tratamento primário	Decantadores caixa de gordura Flotadores	sólidos sedimentáveis sólidos flutuantes óleos e graxas
Tratamento secundário	lodos ativados filtros biológicos lagoas de estabilização, facultativas	matéria orgânica coliformes termotolerantes
Tratamento terciário	Desinfecção Ozonização processos oxidativos avançados	Patogênicos Nutrientes

Fonte: Adaptado de Barros et al (1995) e Von Sperling (2005).

2.7 Tratamento biológico de esgotos

A essência do tratamento biológico de esgotos é a estabilização da matéria orgânica por mecanismos biológicos. Os principais microrganismos envolvidos no tratamento são bactérias, protozoários, fungos e algas. Esses processos biológicos buscam reproduzir, de certa forma, aqueles naturais que ocorrem nos cursos d'água, onde a matéria orgânica é estabilizada por mecanismos naturais, chamado fenômeno de autodepuração. Em uma estação de tratamento, os mesmo fenômenos ocorrem, mas com a introdução da tecnologia, a fim de fazer com que o processo de depuração

se desenvolva em condições controladas e em taxas elevadas e menor espaço físico (VON SPERLING, 1996).

Os processos biológicos podem ser aeróbios, com presença de oxigênio ou anaeróbios, sem presença de oxigênio. A seguir serão explicados os dois tipos de processos biológicos e apresentados as principais tecnologias de tratamento referentes a cada um.

2.7.1 Tratamento aeróbio

Segundo Sant'anna Jr. (2010), o tratamento aeróbio busca reproduzir de forma intensiva os processos de degradação de poluentes que ocorrem nos sistemas aquáticos naturais. Os microrganismos degradam a matéria orgânica, que é assimilada como alimento e fonte de energia, mediante processos oxidativos. Enquanto estabilizam a matéria orgânica eles consomem o oxigênio dissolvido presente no meio.

O mesmo autor diz que o metabolismo das bactérias é rápido devido à alta velocidade de assimilação e metabolização do substrato presente no meio, reproduzindo-se em curtos períodos de tempo. Essa característica assegura uma alta velocidade de degradação dos poluentes, entretanto, há o inconveniente da produção excessiva de biomassa, cujo processamento e destino ainda apresentam problemas (SANT'ANNA JR., 2010). Outra desvantagem do sistema aeróbio é que necessita de aeração mecânica ou difusa, consequentemente, há o consumo de energia.

Alguns parâmetros importantes para a operação de sistemas aeróbios são temperatura, pH e oxigênio dissolvido. Esses sistemas podem ser conduzidos com temperaturas entre 10 e 40ºC, sendo que a temperatura de maior atividade microbiana é 35ºC. A faixa de pH adequada varia entre 6,0 e 8,0 e o OD até o mínimo de 0,5 mg/L (VON SPERLING, 2005).

Entre os principais sistemas de tratamento aeróbios estão as lagoas aeradas, os lodos ativados e os filtros biológicos.

2.7.2 Tratamento anaeróbio

Em reatores anaeróbios, a maior parte do material orgânico biodegradável presente no esgoto é convertida em metano, que sai do reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela é convertida em biomassa microbiana, constituindo o lodo no sistema. O material não degradado sai do sistema junto com o esgoto tratado, necessitando de um pós-tratamento (SANT'ANNA JR., 2010).

A eficiência do tratamento anaeróbio de esgotos domésticos é limitada, com remoção de DQO na faixa de 40 a 75% e de DBO na faixa de 45 a 85%, dependendo do tempo de detenção hidráulica (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Entre as inúmeras vantagens da utilização de processos anaeróbios para tratamento de esgotos domésticos temos: baixo custo de implantação, operação e manutenção, elevada sustentabilidade do sistema, baixos requisitos de área, possibilidade de aplicação em pequena escala, elevada vida útil e baixa produção de sólidos. As principais desvantagens são relacionadas a remoção insatisfatória de nutrientes e patógenos, possibilidade de gerar maus odores e a eficiência insuficiente de atender os padrões ambientais (CHERNICHARO, 1997).

Os principais tipos de tratamento com reatores anaeróbios, que serão apresentados a seguir, são lagoas anaeróbias, fossas sépticas, filtros anaeróbios e reatores anaeróbios de fluxo ascendente.

2.7.2.1 Fossas sépticas

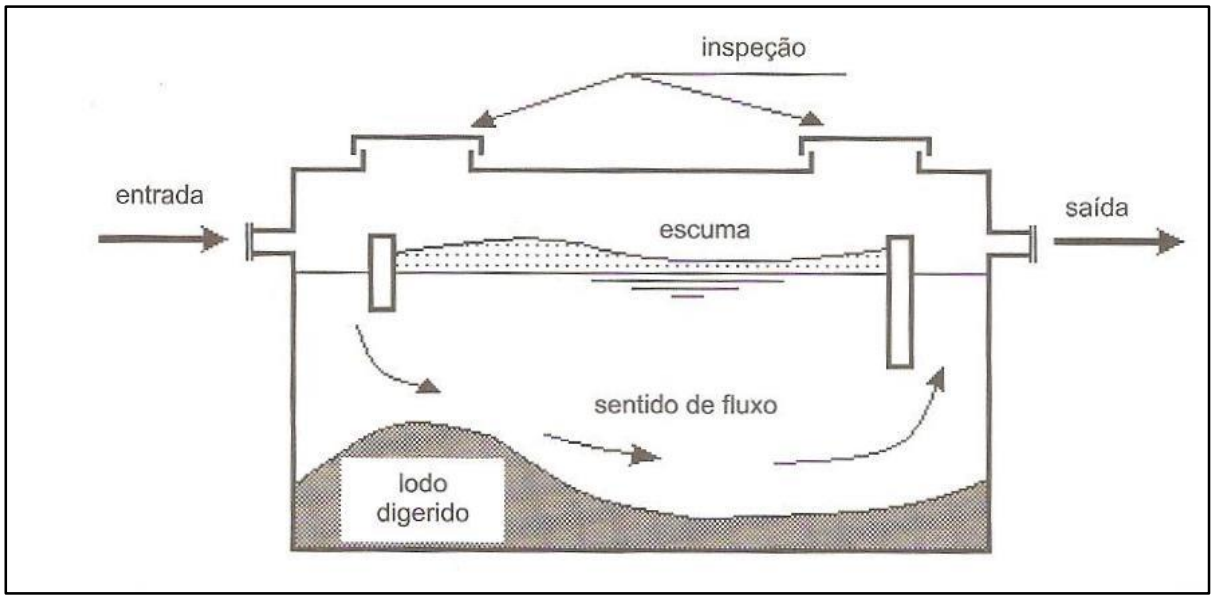
As fossas ou tanques sépticos constituem hoje o tipo mais usado de tratamento anaeróbio de esgotos no Brasil e são dispositivos de tratamento de esgotos capazes de tratar despejos domésticos de uma ou mais residências com grau de eficiência compatível com sua simplicidade e custo (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Segundo CHERNICHARO (1997), é uma câmara com a capacidade de reter o esgoto doméstico por um período de tempo estabelecido, a fim de garantir a sedimentação dos sólidos e a transformação destes em compostos mais simples, por meio da digestão anaeróbia. Dessa forma, a fossa séptica não purifica o esgoto,

apenas reduz sua carga orgânica. Sua eficiência de remoção de DBO costuma alcançar até 30%, já para SS a eficiência é maior, cerca de 50% de remoção. Essas eficiências aumentam significativamente se utilizadas em conjunto com filtros anaeróbios.

Podem ser de câmara única, de câmara sobrepostas ou de duas ou mais câmaras em série. Os tanques de câmara única, como ilustrado na Figura 1, são os mais utilizados.

Figura 1 – Representação de uma fossa séptica de câmara única



Fonte: CHERNICHARO (1997, p. 135).

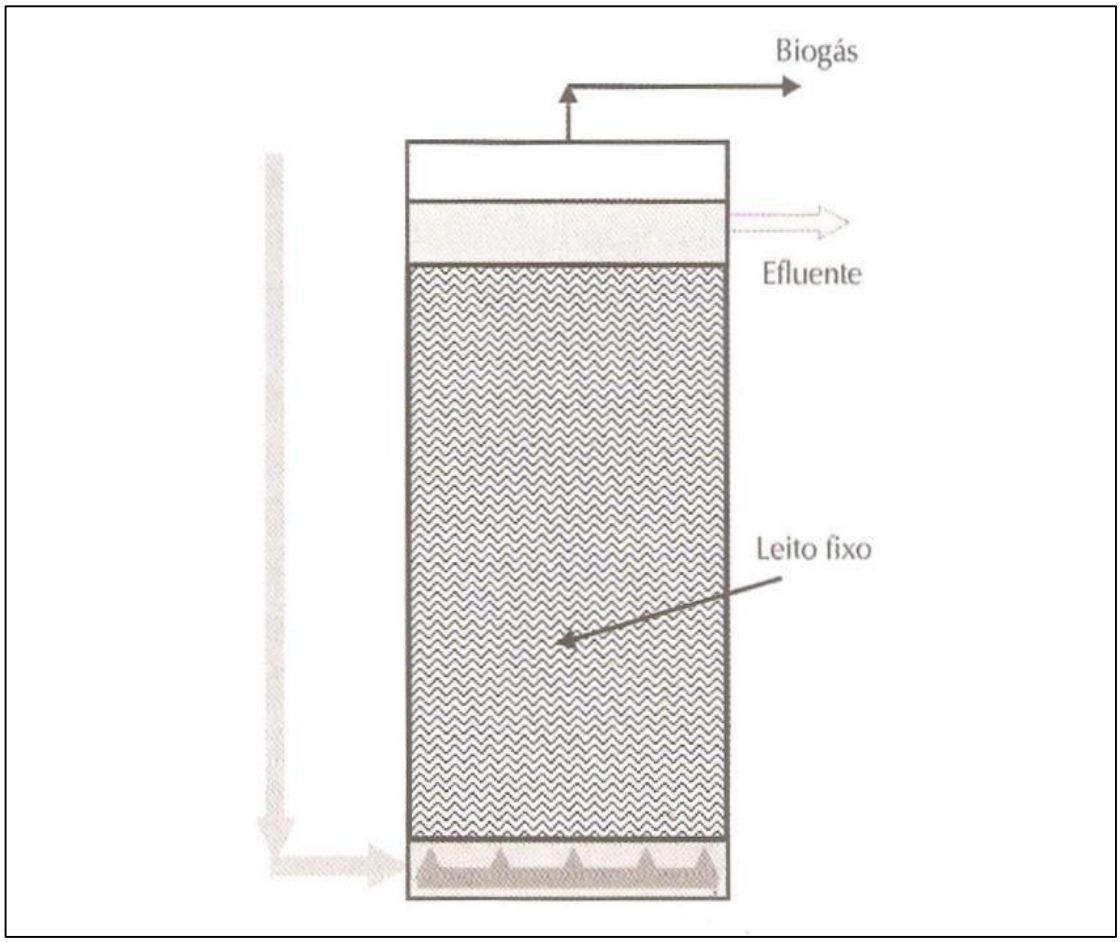
Os tanques sépticos normalmente são seguidos de um pós-tratamento para melhorar a eficiência do efluente final. A NBR 13969/97 estabelece algumas opções como: filtros anaeróbios, filtro aeróbio, valas de filtração e filtros de areia, lodo ativado por batelada e lagoas com plantas aquáticas, e apresenta as metodologias de dimensionamento.

2.7.2.3 Filtros anaeróbios

Os filtros anaeróbios têm tido aplicação crescente desde o final da década de 1960, apresentando-se hoje como uma tecnologia avançada no tratamento de esgotos

domésticos. Segundo a NBR 13969/97, os filtros anaeróbios consistem em um reator biológico de leito fixo, com retenção da biomassa por adesão a um meio suporte. O fluxo do liquido, normalmente, é ascendente. A Figura 2 ilustra um filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

Figura 2 – Ilustração esquemática de um filtro anaeróbio



Fonte: Sant'anna Jr. (1997, p.230).

Os compostos orgânicos contidos no esgoto entram em contato com a biomassa, acoplando-se nas superfícies do biofilme, onde são convertidos em produtos intermediários e finais (CHERNICHARO, 1997).

Embora possam ser usados como unidade principal de tratamento, são usualmente utilizados como sistema de pós-tratamento de reatores anaeróbios, como fossas sépticas, em sistemas residenciais individuais ou no tratamento de esgoto doméstico de pequenas comunidades. Sua eficiência de tratamento está diretamente ligada ao TDH, sendo que estudos sobre o tema revelam a capacidade de remoção

de DQO em torno de 70 a 80% em tempos de detenção entre 0,4 e 2 dias (SANT'ANNA JR. 2010).

Suas principais limitações são o grande volume necessário para o tratamento e o risco de obstrução devido à colmatação ou entupimento dos interstícios, acarretando em perda de eficiência (CHERNICHARO, 1997).

2.8 Pós-tratamento

A etapa de pós-tratamento tem o objetivo de aumentar a eficiência de remoção dos poluentes, melhorando a qualidade do esgoto tratado, a fim de atingir os padrões de lançamento de efluentes exigidos da legislação ambiental.

A seguir são apresentados três tipos importantes de tecnologias de pós-tratamento.

2.8.1 Lagoas de polimento

A utilização de lagoas de polimento para pós-tratamento de esgotos é bastante utilizada após tratamento secundário anaeróbio. E tem como principal vantagem a boa remoção de organismos patogênicos (CHERNICHARO, 1997).

A utilização destas lagoas é bastante atrativa do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, pois demandam menor área para implantação. Como o esgoto é submetido a um tratamento prévio, que remove parte da DBO e SS, reduzindo as concentrações destes poluentes, o tratamento em lagoas, é mais fácil e pode ser realizado em um TDH mais baixo. Sendo assim, o fator determinante do TDH deixa de ser a matéria orgânica e passa a ser a remoção de organismos patogênicos (CHERNICHARO et al, 2001).

Estudos realizados por Von Sperling e Mascarenhas (2004), em um sistema de tratamento de esgotos domésticos, com reator UASB seguido por quatro lagoas de polimento rasas, com aproximadamente 0,40 m de profundidade e um TDH de 1,4 a

2,5 dias, apontam que o sistema foi capaz de produzir um efluente final com concentrações médias de DBO de 44 mg/L.

Segundo CHERNICHARO et al (2001), a principal vantagem da utilização do sistema combinado de tratamento anaeróbio e lagoas de polimento é a redução da área necessária, em comparação com as lagoas de estabilização, que tratam o esgoto bruto. Também não há produção de mau cheiro, fazendo com que os sistemas possam ser instalados mais próximos das áreas urbanas.

2.8.2 Wetlands

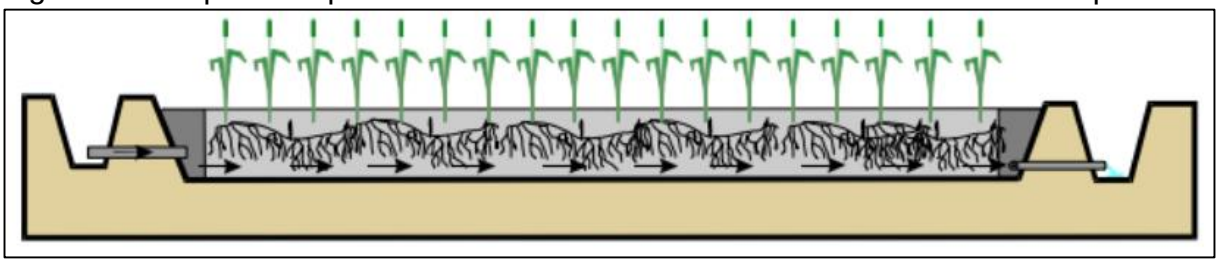
Os *wetlands,* em português, terras úmidas, são áreas onde a superfície da água está bem próxima da superfície do solo, ou seja, a coluna d'água é muito pequena, com uma vegetação característica. Podem ser naturais (banhados, pântanos, manguezais) ou construídos (SALATI, 2000).

Estudos feitos por Haandel et al (2004) mostram que os sistemas de *wetlands* tem eficiência elevada na remoção de nutrientes e DQO, porém essa capacidade de remoção vai diminuindo ao longo do tempo.

Para a concepção de projetos de terras úmidas deve-se levar em conta alguns aspectos importantes, como proximidade de corpos d'água receptores, declividade do solo de 0 a 3% e a disponibilidade de área extensa para construção, pois a área normalmente requerida para tratamento de esgotos em *wetlands* varia entre 0,001 a 0,014 ha/m³.dia (CHERNICHARO et al, 2001).

Os *wetlands* construídos (WC) podem ser de fluxo superficial, com o nível da água acima do nível do solo, ou subsuperficial com o fluxo passando abaixo do nível do solo. O projeto e a técnica de construção a serem utilizadas dependem das características do efluente e da área disponível para instalação (SALATI, 2006). A Figura 3 apresenta esquematicamente um *wetland* construído com fluxo subsuperficial horizontal.

Figura 3 – Esquema representativo de um *wetland* construído de fluxo subsuperficial



Fonte: Salati (2000).

As vantagens da utilização de *wetlands* para o pós-tratamento de esgotos são o baixo custo de construção, a facilidade da operação e a boa eficiência na remoção de DBO, SS e nutrientes, e uma considerável redução dos patógenos (CHERNICHARO et al, 2001).

2.8.3 Processos oxidativos avançados (POAs)

Os processos oxidativos avançados têm sido bastante estudados devido a seu potencial como alternativa complementar aos tratamentos de esgotos convencionais. A principal função destes processos é oxidar compostos orgânicos de difícil degradação a moléculas simples, ou até mineralizá-los, através da formação de radicais hidroxila. Esses radicais transformam os poluentes em dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Combinando os POAs com um tratamento prévio, em geral, pretende-se suprir as deficiências dos processos convencionais, e melhorar a qualidade do esgoto lançado ao corpo receptor (BRITO E SILVA, 2012).

Segundo Meira (2003), os POAs dividem-se em homogêneos, em que o catalisador e o resíduo orgânico estão na mesma fase, ou heterogêneos, aonde o catalisador e os resíduos encontram-se em duas ou mais fases diferentes. Também podem ser gerados com ou sem radiação ultravioleta (UV). A Tabela 3 apresenta os reagentes oxidantes aplicados nas reações.

Tabela 3 – Sistemas típicos de POAs

Sistemas homogêneos		Sistemas heterogêneos	
Com irradiação	**Sem irradiação**	**Com irradiação**	**Sem irradiação**
O_3, UV	O_3, H_2O_2	TiO_2, O_2 e UV	Eletro-Fenton
H_2O_2, UV	O_3, OH^-	TiO_2, H_2O_2 e UV	
Feixe de elétrons	Fenton		
US			
Foto-Fenton			
H_2O_2, US			
UV/US			

Fonte: Embrapa (2008).

O êxito da utilização dos POAs se deve à sua alta eficiência, a não geração de resíduos e a sua versatilidade, uma vez que o processo não é seletivo e uma grande variedade de compostos pode ser mineralizada. Porém o alto custo de operação, principalmente devido ao consumo de energia, é uma desvantagem que deve ser avaliada para utilização destes processos. Outro inconveniente é a formação de intermediários tóxicos, sendo necessário o acompanhamento do processo através de análises de toxicidade (Parra, 2001 apud Morais, 2005).

2.9 Sistema fossa séptica – filtro anaeróbio

A utilização de sistemas de tratamento compostos por fossas sépticas seguidas de filtros anaeróbios é comumente utilizado no Brasil para tratamento individual domiciliar, mas também utilizado para tratamento coletivo de pequenas comunidades e bairros.

Na edição original da NBR 7229 de 1982 foi recomendado o uso do filtro anaeróbio como solução para melhoria da qualidade do efluente liquido de fossas sépticas, com o objetivo de alcançar os padrões de lançamento e ser a solução para os problemas de inviabilidade de infiltração do efluente de fossa séptica no solo (JORDÃO e PESSOA, 2014). Nessa mesma edição também é apresentado o dimensionamento de tanques sépticos com câmaras sobrepostas, estrutura que é objeto desse estudo e não é abordada pela atualização da norma, de 1993.

A seguir serão apresentados os cálculos utilizados para o dimensionamento de fossas sépticas de câmaras sobrepostas e de filtros anaeróbios, de acordo com a NBR 7229 de 1993 que trata do projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, Jordão e Pessoa (2014) e da NBR 13969 de setembro de 1997 que trata do projeto e operação de unidades de tratamento complementar aos tanques sépticos e disposição final dos efluentes líquidos.

2.9.1 Dimensionamento do tanque séptico de câmaras sobrepostas

O volume útil dos tanques sépticos de câmaras sobrepostas, conforme NBR 7229 (1992, apud JORDÃO e PESSOA, 2014), deve ser calculado pela fórmula:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad (1)$$

Onde:
V = volume útil, em litros;
V_1 = volume da câmara de sedimentação;
V_2 = volume decorrente do período de armazenamento do lodo digerido;
V_3 = volume correspondente ao lodo em digestão;
V_4 = volume correspondente à zona neutra;
V_5 = volume correspondente à zona de escuma.

Para o cálculo de cada volume são utilizadas as equações a seguir.

$$V_1 = N * C * T \quad (2)$$

Onde:

N = número de contribuintes;
C = contribuição de esgoto em L/pessoa.dia (ver Tabela 4);
T = tempo de detenção em dias.

$$V_2 = R_1 * N * Lf * Ta \quad (3)$$

Onde:
R_1 = 0,25 – coeficiente de redução de lodo digerido;
Lf = contribuição de lodo fresco em L/pessoas.dia (ver Tabela 4);
Ta = 300 dias - período de armazenamento de lodo digerido.

$$V_3 = R_2 * N * Lf * Td \quad (4)$$

Onde:
R_2 = 0,50 – coeficiente de redução de lodo em digestão;
Td = 50 dias - período de digestão do lodo.

$$V_4 = h_n * S \quad (5)$$

Onde:
h_n = 0,30 m – altura da zona neutra;
S = área da fossa séptica em planta em m².

$$V_5 = (h_d * S) - V_1 \quad (6)$$

Onde:
h_d = distância vertical entre a geratriz inferior interna da câmara de sedimentação e o nível do líquido.
S = área da seção transversal da fossa séptica (m²).

2.9.2 Dimensionamento do filtro anaeróbio

2.9.2.1 Volume

O volume útil para o leito filtrante (V_u), em litros, é obtido pela equação, conforme NBR 13969 de 1997:

$$V_u = 1{,}6.N.C.T \quad (7)$$

Onde:
N = é o número de habitantes;
C = contribuição de despejos, em L/habitantes.dia (conforme a Tabela 4);
t = tempo de detenção hidráulica, em dias (conforme a tabela 6).

O volume útil mínimo do leito filtrante deve ser de 1.000 L. A altura do leito filtrante, incluindo a altura do leito falso, não pode passar de 1,20 m. A altura do fundo falso não deve ser maior que 0,60 m.

A altura total do filtro, em metros, é obtida pela equação:

$$H = h + h_1 + h_2 \quad (8)$$

Onde:

H = altura total interna do filtro;

h = altura total do leito filtrante;

h_1 = altura da calha coletora;

h_2 = altura sobressalente (variável).

2.10 Caracterização do município

O município de Garibaldi localiza-se região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, mais conhecida como Serra Gaúcha, e possui uma área territorial de 169,238 km². Está localizado a uma altitude média de 617 metros, sob a latitude de 29°17'20" Sul e longitude 51°33' Oeste (IBGE). Seus limites encontram-se com as cidades de Bento Gonçalves, Boa Vista do Sul, Carlos Barbosa, Coronel Pilar, Farroupilha, Monte Belo do Sul e Santa Tereza (Figura 4).

Figura 4 – Delimitação do município *de Garibaldi*



Fonte: IBGE Cidades (2015).

Está inserido na bacia hidrográfica Taquari-Antas, sendo o Arroio Marrecão o seu principal recurso hídrico é superficial. Este nasce no perímetro urbano do município e deságua no Rio Taquari, o qual flui em direção ao município de Santa Tereza.

Esta região apresenta altitudes muito variáveis e o clima é caracterizado como subtropical ameno serrano, relativamente seco, com ocorrência frequente de neblina e temperatura média normal do mês mais quente superior a 22°C, e temperatura média anual inferior a 18°C. As mínimas e máximas variam entre -1ºC e 33ºC.

2.10.1 Saneamento municipal

O município de Garibaldi possui o Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo, implantado no ano de 2012, como requisito para adequação à Lei Federal 11.445 de 2007. Nele é feito um diagnóstico do saneamento no município, um planejamento para o setor e também apresentado um cronograma de objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para a universalização do acesso da população aos serviços básicos, bem como os programas, projetos e ações necessárias para a adequação dos serviços de saneamento.

As áreas de abastecimento de água e esgotamento sanitário são de responsabilidade da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN) de acordo com contrato assinado em 17 de março de 2015. O contrato visa melhorias na qualidade ambiental do município e tem um escopo de 25 anos.

2.10.2 Esgotamento Sanitário

O município de Garibaldi não possui um sistema de esgotamento sanitário adequado, apenas uma parcela muito pequena é atendida por estações de tratamento de esgotos. Essas estações encontram-se em áreas de interesse social, bairros com população de baixa renda, e foram construídas em meados dos anos 2000. São sistema relativamente simples compostos por fossas sépticas e filtros anaeróbios e

apresentam problemas frequentes de operação, como transbordamento de esgotos. Frequentemente não atingem os padrões de lançamento de efluentes exigidos pela legislação ambiental (SMMA, 2012). O restante dos esgotos do município é lançado ao ambiente sem qualquer tratamento.

3 METODOLOGIA

A seguir são descritos os procedimentos técnicos e a metodologia empregada para obtenção dos resultados do presente trabalho.

3.1 Descrição do sistema estudado

Por se tratar de um sistema de esgotamento sanitário municipal, com frequentes trocas na administração pública e dos responsáveis pelo setor ambiental do município, algumas informações acerca do dimensionamento e construção da ETE foram perdidas ao longo do tempo. Por isso, foi necessário buscar os processos administrativos junto ao órgão ambiental estadual para se entender a real situação estrutural do sistema de tratamento.

O sistema de tratamento em estudo faz parte de um conjunto de sete ETEs instaladas no município a fim de atender alguns bairros e loteamentos de baixa renda. Tem como principal característica, a utilização de redes separadoras de pequena extensão e diâmetro e sistemas anaeróbios de tratamento para populações inferiores a 2.000 habitantes.

Segundo as Licenças de instalação (LI) nº 0272 de 1999 e nº 270 de 2002 concedidas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), o sistema foi dimensionado para uma população de 930 habitantes e uma vazão máxima de 275,62 $m^3.dia^{-1}$. É composto por duas fossas sépticas (tipo Inmhoff) com 85,50 m^3 cada, interligadas a quatro filtros anaeróbios com 25,50 m^3 cada, não possuindo tratamento preliminar. A rede coletora é do tipo separadora absoluta e se estende por 1.300 m dentro da comunidade. A ETE ainda não possui licença de operação. Na Figura 5 podemos observar a localização da ETE e da rede coletora.

Figura 5 – Localização das redes coletoras e da ETE



Fonte: Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico (2012) e Google Earth (2015).

Ela está construída no subsolo de uma área de 240 m^2 (12 x 20 m), bem próxima as casas, cercada, porém a caixa de inspeção e coleta do afluente na entrada do sistema encontra-se fora da cerca, podendo ser alvo de depredação, como pode ser observado na Figura 6. Outro problema em relação à ETE é que não é possível precisar como o sistema foi construído, se seguiu as características construtivas de projeto ou não.

Figura 6 – Localização da caixa de inspeção e coleta do esgoto bruto



Fonte: da autora.

A escolha desta ETE, dentre as sete existentes no município, se deu, principalmente, pelo fato do município estar buscando a adequação do sistema com vista a obtenção da licença de operação junto ao órgão ambiental.

3.2 Acompanhamento do funcionamento da ETE

A ETE já vem sendo monitorada pelo município. As coletas de amostras na entrada e na saída do sistema são realizadas mensalmente, com análise de DBO_5, SS e SSed. Também são realizadas limpezas periodicamente, sendo retirado o excesso do lodo e encaminhamento do mesmo para tratamento adequado. A limpeza e destinação do material são realizadas por empresa terceirizada. No ano de 2014 foram realizadas quatro limpezas, com a retirada de 15 m³ de lodo em cada uma.

Para uma melhor avaliação do sistema foi realizado acompanhamento do funcionamento da ETE durantes seis meses (maio a outubro de 2015), paralelamente ao acompanhamento que já é realizado pelo município, que analisa mensalmente parâmetros como DBO5, SS e SSed, com análise de mais alguns parâmetros como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, DQO, cor, turbidez e nitrogênio amoniacal, afim de fazer uma avaliação mais detalhada das características do esgoto afluente e efluente a ETE. As amostragens seguirão o cronograma atual, com coletas mensais, na terceira quarta ou sexta feira de cada mês, sempre no período da manhã.

3.3 Determinação dos parâmetros

A escolha dos parâmetros para análise se baseou na necessidade de avaliar se a ETE é eficiente para remover matéria orgânica e sólidos, sua principal função. Também foram levados em conta os requisitos exigidos pela FEPAM para o licenciamento ambiental de sistema públicos de tratamento de esgoto, que solicita a caracterização do corpo hídrico receptor e posteriormente do esgoto afluente e efluente da ETE, através dos seguintes parâmetros: OD ($mg.L^{-1}$), $DBO_5^{20°C}$ ($mg.L^{-1}$), DQO ($mg.L^{-1}$), SS ($mg.L^{-1}$), nitrogênio amoniacal ($mg.L^{-1}$), fósforo total ($mg.L^{-1}$), óleos e graxas ($mg.L^{-1}$), pH, cor, temperatura (°C), turbidez e coliformes termotolerantes (NMP/100 mL). Esses também são os parâmetros descritos na Resolução CONSEMA 128/2006 que estabelece os limites de concentrações desses parâmetros para lançamento de efluentes domésticos em corpos hídricos.

Parâmetros como fósforo total, óleos e graxas e coliformes termotolerantes não foram analisados devido ao custo elevado das análises. Optou-se por fazer a análise apenas de nitrogênio amoniacal, para verificar o comportamento desse nutriente ao longo do sistema e a concentração encontrada no esgoto *in natura* e após o tratado, e também para se ter uma base para proposição de um pós-tratamento.

Todas as análises foram realizadas em triplicata e seguindo a metodologia da *American Public Health Association* (APHA).

3.3.1 Determinação de pH e temperatura

A determinação de pH e temperatura de cada amostra foi feita no momento da coleta por meio de pHmetro, que utiliza o método eletrométrico (APHA 2510 B), equipamento composto por um eletrodo conectado a um potenciômetro, que permite a conversão do valor de potencial do eletrodo em unidades de pH, esse mesmo aparelho mostra o valor da temperatura da amostra.

3.3.2 Determinação do OD

A determinação do oxigênio dissolvido foi realizada no momento da por meio de oxímetro, que mede a pressão parcial do oxigênio na água através de uma célula polarográfica, método eletrométrico (APHA 4500 G). O aparelho apresenta os valores em mg O_2/L.

3.2.3 Determinação da DBO

As análises de DBO_5 a 20 ºC foram realizadas pelo método respirométrico (APHA 5210 D) de incubação com oxitop, que tem a função de reproduzir em laboratório as condições naturais da degradação da matéria orgânica. O equipamento

pode ler faixas de DBO de até 400.000 mg/L, mas é preciso que se defina a provável faixa de concentração na amostra a fim de verificar o volume ideal a ser utilizado no procedimento.

Para as análises foram utilizadas as faixas de 0 a 400 para o esgoto tratado e de 0 a 2000 para o esgoto bruto.

3.3.4 Determinação da DQO

Para a determinação de DQO foi utilizado o método titulométrico de refluxo fechado (APHA 5220 C). As amostras foram diluídas 10 vezes e colocadas em tubos de ensaio com dicromato de potássio e acrescentado ácido sulfúrico. Foram colocadas em bloco de aquecimento a 150 ºC por duas horas em refluxo fechado. Depois de adquirir a temperatura ambiente foi titulado com sulfato ferroso amoniacal.

3.3.5 Determinação de cor

A determinação da cor foi feita em laboratório por meio de um colorímetro. A análise é baseada no princípio de que a absorção de uma substância é proporcional à sua concentração e apresenta o valor na unidade platina-cobalto (Pt-Co).

3.3.6 Determinação de turbidez

A determinação da turbidez também foi realizada em laboratório, pelo método nefelométrico, através de um turbidímetro.

3.3.7 Determinação de nitrogênio amoniacal

O valor de nitrogênio amoniacal foi obtido através da destilação da amostra, regulada em pH 9,5, em indicador de ácido bórico, pela titulação com ácido sulfúrico 0,02 N.

3.3.8 Determinação de sólidos suspensos

A metodologia que foi utilizada para determinação de sólidos suspensos totais utiliza o método gravimétrico, na qual a concentração de sólidos é quantificada através do que fica retido no filtro depois da passagem da amostra.

3.3.9 Determinação de sólidos sedimentáveis

O método consiste na colocação de 1 L da amostra em um cone Inmhoff por uma hora para decantação dos sólidos sedimentáveis. O resultado se expressa diretamente pela leitura do volume de sólidos decantados na escala graduada do cone ($mL.L^{-1}$).

3.4 Avaliação da eficiência do tratamento

A avaliação da eficiência do tratamento foi realizada considerando os valores do padrão de lançamento de efluentes dispostos na Resolução CONSEMA 128/2006 que estipula que os esgotos domésticos devem obedecer as condições descritas na Tabela 4, em função da vazão de lançamento para os parâmetros de DBO_5, DQO e SS.

Também estabelece padrões de lançamento para os seguintes parâmetros:

a) pH: entre 6 e 9;
b) temperatura: inferior a 40 ºC;
c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Inmhoff;
d) ausência de materiais flutuantes;
e) nitrogênio amoniacal: 20 mg/L.
f) cor: não deve conferir mudança de coloração ao corpo receptor.

Tabela 4– Padrão de lançamento de DBO_5, DQO e SS

Faixa de vazão (m^3/dia)	**DBO_5 (mg O_2/L)**	**DQO (mg O_2/L)**	**SS (mg/L)**
Q < 20	180	400	180
20 ≤ Q ≥ 100	150	360	160
100 ≤ Q ≥ 200	120	330	140
200 ≤ Q ≥ 500	100	300	100
500 ≤ Q ≥ 1000	80	260	80
1000 ≤ Q ≥ 2000	70	200	70
2000 ≤ Q ≥ 10000	60	180	60
10000 ≤ Q	40	150	50

Fonte: CONSEMA (2006).

3.5 Avaliação do sistema

A avaliação do sistema foi realizada através da análise do dimensionamento do projeto da ETE, de acordo com a ABNT/NBR 7229 de 1993 e a ABNT/NBR 13969 de 1997, a fim de verificar se o sistema foi corretamente projetado e executado para atender a vazão e alcançar a eficiência de tratamento esperada.

Para isto foram realizados os cálculos para dimensionamento do sistema, levando em consideração a população atendida e os dados para projeto sugeridos pelas referidas normas técnicas.

3.6 Definição do sistema de pós-tratamento

A partir dos resultados da avaliação do funcionamento e eficiência da ETE foi verificada a necessidade de instalação um sistema de pós-tratamento para melhorar a qualidade do efluente do sistema, pois este não atinge a qualidade necessária para o lançamento em corpos hídricos.

A escolha de um sistema para otimizar o tratamento considerou que a ETE faz parte do sistema público de esgotamento sanitário municipal, por isso deve ser de fácil operação e manutenção. O sistema também deveria possuir características construtivas simples, baixo custo de instalação e minimizar os impactos no seu entorno, tendo em vista que o sistema será instalado próximo às residências.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do esgoto gerado na comunidade

A caracterização do esgoto gerado na comunidade foi feita pela análise dos relatórios de ensaio realizados entre maio de 2014 e abril de 2015, elaborados por laboratório terceirizado, totalizando 13 (treze) amostras, para os parâmetros DBO_5, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis.

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos nas análises. No mês de dezembro/14 foram realizadas duas coletas, sendo que no dia 19 de dezembro foi realizada coleta composta, bem como nos dias 12 de janeiro e 20 de fevereiro, com amostragem em três horários diferentes do dia, às 8:30, 11:00 e 14:00 horas, e realizada uma média das concentrações afim de obter um valor homogêneo da concentração diária. Nela é possível observar que o esgoto em estudo apresenta valores elevados, se comparadas às indicadas na literatura, na maioria das amostragens para os três parâmetros analisados.

Tabela 5 – Características do esgoto gerado na comunidade

Data da coleta	DBO_5 (mg/L)	SS (mg/L)	SSed (mL/L)
16/05/14	1790	17888	40
23/06/14	872	40487	130
18/07/14	860	15935	50
15/08/14	366	282	282
19/09/14	649	1313	4
24/10/14	846	458	48
14/11/14	542	1005	15
05/12/14	954	4436	15
19/12/14*	565	2030	25
12/01/15*	256	1357	2
20/02/15*	672	10800	180
20/03/15	1240	2206	180
17/04/15	586	3446	10
média	784,46	7818,69	75,46
desvio padrão	397,51	11476,18	88,88

Fonte: SMMA (2015).
*Coletas compostas.

A DBO_5 apresentou valores elevados, influenciados principalmente pela grande presença de sólidos, como pode ser observado na Figura 7. Em 84,6% das análises foram encontradas concentrações acima dos valores típicos citados por Jordão e Pessoa (2014) e Sant'anna Jr. (2010) que apresentam uma faixa entre 100 e 500 $mg.L^{-1}$ para esgotos domésticos. A média das concentrações encontradas foi de 784,46 $mg.L^{-1}$, a mínima de 256 $mg.L^{-1}$ e a máxima de 1790 $mg.L^{-1}$.

Estudos realizados por Oliveira e Von Sperling (2005) em 166 ETEs em funcionamento nos estados de Minas Gerais e São Paulo também encontraram valores de DBO_5 maiores do que os reportados na literatura, variando entre 284 e 804 $mg.L^{-1}$, com média de 527 $mg.L^{-1}$. Segundos esses autores, algumas possibilidades para justificar as concentrações de DBO_5 acima dos valores usuais seriam a contribuição não relatada de efluentes industriais e o baixo consumo de água per capita. Em levantamento realizado pela SMMA no final de 2014, no entanto, não foi observada presença de atividade industrial na área.

Figura 7 – Presença visível de grandes quantidade de sólidos no efluente bruto



Fonte: da autora.

Outra possibilidade seria o tipo de amostragem realizada, com amostras simples e possivelmente em horários de pico, que poderia ser aplicado nesse caso, pois nas três coletas compostas, realizadas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, foram observados valores de DBO mais próximos ou dentro das faixas típicas para esgotos domésticos. Porém, seriam necessárias investigações mais detalhadas para confirmação dessas suposições.

Os valores de sólidos encontrados também estão, na maioria das análises, bem acima da faixa típica encontrado em esgotos domésticos. Para os sólidos suspensos, esse valor varia entre 200 e 450 $mg.L^{-1}$ (VON SPERLING, 2005). Apenas em uma das amostragens o resultado ficou abaixo desse valor, apresentando concentração de 282 $mg.L^{-1}$. A média encontrada foi de 7818,69 $mg.L^{-1}$, muito acima do usual.

Para sólidos sedimentáveis, foram encontrados valores entre 2 $mL.L^{-1}$ e 282 $mL.L^{-1}$, com média de 75,46 $mL.L^{-1}$, quase quatro vezes maior que o valor usual apresentado por Jordão e Pessoa (2014) para esgotos fortes, que é de 20 $mL.L^{-1}$. Em 61,5% das análises, a fração sedimentável dos sólidos apresentou valores maiores que os típicos encontrados na literatura.

No levantamento realizado pela SMMA, constatou-se que apenas 35% das residências possuem caixa de gordura instalada, o restante não possui ou não foi avistado, no momento da visita, nenhum dispositivo para retenção de gorduras,

provavelmente sendo esse um dos principais motivos para a grande concentração de sólidos presentes. Também pode ser decorrente da falta de tratamento preliminar a montante da ETE e/ou pela cultura da população de descartar pequenas partículas sólidas nos ralos das pias.

4.2 Desempenho geral da ETE

Segundo Jordão e Pessoa (2014), a eficiência das fossas sépticas está intimamente ligada aos recursos humanos e materiais dos seus usuários. O mau desempenho destas unidades, devido principalmente à falta de análise, acompanhamento e execução dos projetos, pode provocar problemas no funcionamento das unidades subsequentes, como os filtros anaeróbios. A manutenção e limpeza das estruturas físicas do sistema é requisito fundamental para alcançar as eficiências desejáveis de remoção de poluentes.

Durante os seis meses de monitoramento para este trabalho, foram realizadas duas limpezas na ETE. A primeira no dia 10 de junho e a segunda no dia 12 de agosto, com a retirada de 45 m^3 de lodo em cada, sendo que na primeira foi também realizada a retro lavagem no filtro anaeróbio. No entanto, nas análises subsequentes às limpezas, não foram observadas melhoras na eficiência de remoção dos poluentes ou na qualidade do efluente tratado, não sendo possível afirmar que a realização frequente ou a falta de retiradas do lodo influencia no desempenho da ETE.

A eficiência geral da ETE está disposta na Tabela 6, que apresenta a média das concentrações encontradas e das eficiências de remoção apresentadas pelo sistema. A média de desempenho está dentro dos valores citados na ABNT/NBR 13969/1997 e de autores como Chernicharo (2007) que indica média de remoção variando entre 40 e 75% para DBO, 40 e 70% para DQO e de 60 a 90% para SS.

Tabela 6 - Eficiência geral da estação em relação as médias de valores de entrada e saída

Parâmetros	Entrada	Desvio padrão	Saída	Desvio padrão	Eficiência (%)
DBO_5 ($mg.L^{-1}$)	838,00	636,69	230,67	109,95	64,42
DQO ($mg.L^{-1}$)	1891,95	836,30	482,04	180,84	70,67
SS ($mg.L^{-1}$)	1018,83	1854,50	103,17	37,60	67,08
SSed ($mg.L^{-1}$)	6,72	9,52	0.78	1,58	85,88
OD ($mg.L^{-1}$)	3,40	1,20	3,80	1,13	_
N-amoniacal ($mg.L^{-1}$)	113,00	39,77	64,56	39,07	42,35
Cor (Pt-Co)	286,67	81,74	189,83	19,84	31,18
Turbidez (NTU)	553,50	409,37	198,17	60,62	53,35
pH	8,29	0,51	7,25	0,20	_
Temperatura (ºC)	18,13	1,51	17,92	1,52	_

Fonte: da autora.

4.3 Carga orgânica

Como já citado anteriormente, as concentrações afluentes de carga orgânica encontradas, na maior parte das análises, estão significativamente acima das faixas típicas reportadas na literatura para esgotos domésticos. A seguir será apresentado o desempenho do sistema em relação à remoção da matéria orgânica.

4.3.1 DBO_5

Os valores de concentrações encontrados na entrada e saída da ETE durante o monitoramento estão apresentados na Tabela 7. Nela é possível observar que há uma boa redução na concentração da matéria orgânica biodegradável, porém em nenhuma das análises o valor ficou dentro do limite de lançamento ditado pela Resolução CONSEMA 128/2006 que estabelece valores de até 100 $mg.L^{-1}$ para

lançamento de efluentes domésticos de estações de tratamento com vazão entre 200 e 500 $m^3.dia^{-1}$.

Tabela 7 – Valores de DBO_5 na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	DBO_5 (mg/L)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	578,00	144,00	75,09
19/06/15	1150,00	240,00	79,13
17/07/15	200,00	130,00	35,00
19/08/15	775,00	345,00	55,48
16/09/15	1950,00	380,00	80,51
21/10/15	375,00	145,00	61,33
Média	838,00	230,67	64,42
desvio padrão	636,69	109,95	17,57

Fonte: da autora

Apesar de não atingir a concentração ideal de lançamento, o sistema alcança eficiências dentro dos valores esperados para o conjunto fossa e filtro. Foram observadas eficiências de redução de até 80,51% da concentração inicial de matéria orgânica, valor maior do que o citado na ABNT/NBR 13969, que apresenta uma faixa de eficiência entre 40 e 75% para esse tipo de tratamento, sendo que a eficiência mínima encontrada, de 35%, é menor do que a descrita na referida norma. Estudos realizados por Tardivo (2009) obtiveram uma faixa de redução semelhante, na média de 80%, que analisou uma ETE formada por fossa e filtro, sem tratamento preliminar, na região metropolitana de São Paulo. Essas altas eficiências de remoção estão associadas, principalmente, a remoção de sólidos grosseiros pelas unidades do sistema.

Eficiências máximas de 75% ou mais, geralmente ocorrem em regiões de climas mais quentes, onde a temperatura de operação dos reatores está dentro da faixa ótima para a atividade anaeróbia, entre 25 e 35 ºC (CHERNICARO, 2007), o que não é o caso da ETE em estudo, que apresenta um efluente com temperatura entre 15 e 21 ºC, valores bem próximos ao limite mínimo de temperatura para operação de sistemas anaeróbios, que é de 15 ºC.

A média de eficiência encontrada, de 64,42%, vai de encontro com estudos realizados por Ávila (2005), que apontaram média de eficiência de 62,4%, e Oliveira e Von Sperling (2005) com média de redução de 59% em sistemas similares.

Dessa forma, pode-se afirmar que o sistema fossa e filtro atinge eficiências satisfatórias de remoção de carga orgânica, mesmo fora da faixa de temperatura ótima de operação.

4.3.2 DQO

A média de DQO encontrada nas análises do efluente bruto foi de 1791,95 $mg.L^{-1}$, mostrando-se bastante elevados para esgotos domésticos, que tem faixa típica de concentração de 400 a 800 $mg.L^{-1}$, segundo Von Sperling (2005). Concentrações elevadas de DQO são geralmente encontradas em efluentes industriais, porém, não se tem conhecimento da presença de alguma empresa na área de contribuição da ETE. Dessa forma, possivelmente a elevada concentração desse parâmetro se deva à presença de sólidos grosseiros que são, ou podem ser, compostos por materiais inorgânicos.

A Tabela 8 mostra os valores encontrados na entrada e saída do sistema e as eficiências de remoção de DQO. É possível observar que as eficiências de remoção mostraram-se constantes em todas as análises e estão dentro do esperado ou até maior que as eficiências reportadas na literatura e em alguns estudos, inclusive da ABNT/NBR 13969 que apresenta pra esse tipo de tratamento uma eficiência entre 40 e 70%.

A ETE em estudo atingiu uma eficiência máxima de 77,23%, valores que vão de encontro a estudos realizados por Von Sperling (2005) que, durante avaliação de 19 ETEs formadas por conjuntos fossa e filtro, encontrou faixas de remoção de até 78%.

A média geral de 73%, se situa numa faixa um pouco maior do que a encontrada por Ávila (2005) que obteve uma média de 69,93%.

Tabela 8 - Valores de DQO na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	DQO (mg/L)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	2060,97	572,16	72,24
19/06/15	1592,67	368,77	71,47
17/07/15	684,29	265,27	61,23
19/08/15	2694,10	613,51	77,23
16/09/15	2912,64	726,53	75,06
21/10/15	1407,04	345,98	75,41
Média	1891,95	482,04	73,00
desvio padrão	836,30	180,84	6,03

Fonte: da autora

A elevada eficiência na remoção de DQO provavelmente se deve ao fato de que a concentração de matéria orgânica não biodegradável é bastante alta, e estes compostos acabam sedimentando e incorporando-se ao lodo no fundo do tanque séptico, diminuindo bastante a concentração de saída do parâmetro.

Mesmo com o alto desempenho apresentado pelo sistema de tratamento, e devido ao fato da carga de DQO de entrada ser muito elevada, apenas em uma das amostragens o efluente tratado atingiu os limites necessário para lançamento em corpos hídricos estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128/2006, que é de 300 $mg.L^{-1}$, para a faixa de vazão da ETE.

4.3.3 DQO/DBO_5

Devido à elevada concentração de DQO encontrada no esgoto bruto, a relação DQO/DBO_5 está acima do valor ideal para tratamento biológico, citado por Jordão e Pessoa (2014), em quatro das seis amostragens realizadas. Segundo ele, os valores ideais para indicação desse tipo de tratamento vão até 2,5. E para valores acima de 3,5 deve-se indicar tratamento físico-químico.

A Tabela 9 apresenta os resultados encontrados na entrada e saída da estação. Nela é possível observar que apenas 33,3% das amostras obtiveram valores da relação dentro dos 2,5. O restante ficou acima ou bem próxima da faixa que indica tratamento físico-químico. Porém, pode-se observar que, exceto na primeira amostragem, os valores da relação diminuíram significativamente após o tratamento anaeróbio. Possivelmente isso ocorra devido a retenção do material sólido no fundo dos reatores, juntamente com o lodo, aumentando assim, a biodegradabilidade do efluente.

Tabela 9 - Valores de DQO na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	**DQO/DBO$_5$**	
	Entrada	**Saída**
15/05/15	3,57	3,97
19/06/15	1,38	1,54
17/07/15	3,42	2,04
19/08/15	3,48	1,78
16/09/15	1,49	1,91
21/10/15	3,75	2,39
Média	2,85	2,27
desvio padrão	1,10	0,88

Fonte: da autora.

Tendo em vista as relações DQO/DBO apresentadas pelo efluente final da ETE, é recomendado que o polimento final dos esgotos tratados seja realizado através de tratamento biológico.

4.4 Nitrogênio amoniacal

O material nitrogenado em águas residuárias é formado principalmente de nitrogênio amoniacal, íon amônio NH^{4+} (forma pouco toxica) e a amônia NH_3 (forma tóxica) (Mota e Von Sperling, 2009). Os valores do estudo desse parâmetro estão dispostos na Tabela 10.

Os valores de entrada estão entre 48,5 e 171,34 mg/L^{-1}, corroborando com estudos realizados por Meneses et al (2002) na cidade de Natal – RN, que encontrou valores entre 38,08 e 131,4 mg.L^{-1}.

Tabela 10 - Valores de N- amoniacal na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	N-amoniacal (mg/L)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	119,22	91,48	23,27
19/06/15	110,60	30,51	72,41
17/07/15	48,50	40,12	17,28
19/08/15	171,34	103,6	39,54
16/09/15	127,88	103,23	19,28
21/10/15	104,06	18,39	82,33
Média	113,60	64,56	42,35
desvio padrão	39,77	39,07	28,41

Fonte: da autora

É possível observar que há uma pequena redução dessa substância ao longo do tratamento, porém, isso possivelmente se deve a transformação do nitrogênio a nitritos ou nitratos, visto que há presença de concentrações de oxigênio, pela sedimentação da matéria orgânica ou pela assimilação das bactérias (CHERNICHARO, 2007).

A eficiência de remoção ficou 42,35% e não foram encontradas indicações na literatura para remoção desse tipo de nutriente.

A Resolução CONSEMA 128/2006 estabelece o valor máximo de 20 $mg.L^{-1}$ para qualquer vazão de lançamento, dessa forma, o efluente tratado encontra-se fora dos limites aceitáveis para esse parâmetro em cinco das seis análises realizadas.

4.5 Sólidos suspensos e sedimentáveis

A remoção de sólidos suspensos esperada para sistemas fossa e filtro varia entre 60 e 90% segundo a ABNT/NBR 13969 e fica em torno de 50% segundo Jordão e Pessoa (2014).

Os valores encontrados estão dentro do estimado pela referida norma, na maioria das análises. Em apenas uma amostragem esse valor ficou bem abaixo do esperado, apresentando apenas 32,39% de eficiência.

A Tabela 11 apresenta os valores encontrados e a porcentagem de remoção de sólidos. A média ficou 67,08%. Segundo Metcalf e Eddy (2003), geralmente 60% dos sólidos em suspensão no esgoto doméstico pode ser sedimentada por gravidade e, quanto maior for o tempo de detenção médio do esgoto no tanque e menor for a turbulência hidráulica, maior será a sedimentação dos sólidos.

Tabela 11 - Valores de SS na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	**Sólidos Suspensos (mg/L)**		
	Entrada	**Saída**	**Eficiência (%)**
15/05/15	4800,00	124	97,42
19/06/15	254,00	72	71,65
17/07/15	138,00	44	68,12
19/08/15	401,00	124	69,08
16/09/15	307,00	111	63,84
21/10/15	213,00	144	32,39
Média	1018,83	103,17	67,08
desvio padrão	1854,50	37,60	20,78

Fonte: da autora

Santos (2012) encontrou valores semelhantes, obtendo uma média de redução de 65,62% de sólidos do esgoto de uma universidade na Paraíba. E Oliveira e Von Sperling (2005), observaram uma faixa de remoção entre 36 e 82% estudando 19 ETEs com o mesmo sistema de tratamento no sudeste do país.

Mesmo com a eficiência do sistema estando dentro do esperado, os valores de SS encontrados no efluente tratado estão fora do que estabelece a Resolução estadual, que é de 100 $mg.L^{-1}$.

Já os sólidos sedimentáveis apresentaram eficiências ainda maiores de remoção, com média de 85,88%, como pode ser observado na Tabela 12. Esses valores estão dentro do que estabelece a norma ABNT/NBR 13969 que reporta uma remoção de 70% ou mais para essa fração dos sólidos. A máxima eficiência de remoção foi de 98,89%, bastante satisfatória para o sistema em questão.

Tabela 12 - Valores de SSed na entrada e saída do sistema e eficiências de remoção

Data	Sólidos Sedimentáveis (mL/L)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	9	0,1	98,89
19/06/15	0,7	0,1	85,71
17/07/15	4	0,1	97,50
19/08/15	0,7	0,2	71,43
16/09/15	25	4	84,00
21/10/15	0,9	0,2	77,78
Média	6,72	0,78	85,88
desvio padrão	9,52	1,58	10,79

Fonte: da autora

Em apenas uma das análises, no mês de setembro o valor de saída encontrado está acima do limite estabelecido para lançamento de efluente da CONSEMA 128/2006 que é de 1 $mL.L^{-1}$.

4.6 Oxigênio dissolvido

Nos reatores anaeróbios de tratamento de esgotos ou lodos, o OD na água exerce efeito tóxico sobre as bactérias produtoras de metano, devendo ser evitado. Por isso, a maioria dos reatores são fechados. Segundo Jordão e Pessoa (2014) o valor típico de OD para esgotos domésticos é 0 (zero) $mg.L^{-1}$. Na Tabela 13 é possível observar o comportamento do OD nas análises.

Tabela 13 – Concentrações de OD na entrada e saída do sistema

Data	OD (mg/L)	
	Entrada	Saída
15/05/15	4,9	3,7
19/06/15	2,9	3,9
17/07/15	4,9	3,9
19/08/15	2,1	2,5
16/09/15	2,8	3,0
21/10/15	2,8	5,8
Média	3,4	3,8
desvio padrão	1,2	1,1

Fonte: da autora

O valor encontrado no efluente bruto foi significativo, chegando a quase 5 $mg.L^{-1}$. Possivelmente isso ocorre devido a alguma ligação pluvial na rede coletora de esgotos ou pode ser decorrência do cascateamento do efluente nas canalizações que conduzem os esgotos à ETE.

4.7 Temperatura e pH

A temperatura dos esgotos domésticos geralmente está um pouco acima às da água de abastecimento e do ar, sendo importante em processos biológicos de tratamento de esgotos e influenciando o fenômeno de sedimentação, pois o aumento da temperatura diminui a viscosidade, melhorando as condições de sedimentação (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Segundo Chernicharo (2007), para os processos anaeróbios a temperatura ideal do esgoto é entre 25 e 35 ^{o}C, sendo que abaixo de 15 ^{o}C a atividade bacteriana fica seriamente comprometida.

Os valores encontrados não apresentam um comportamento constante, sendo que, em duas análises, a temperatura esteve maior no efluente tratado do que no bruto, como pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 14 – Comportamento da temperatura na entrada e saída do sistema

Data	**Temperatura (^{o}C)**	
	Entrada	**Saída**
15/05/15	17,90	18,20
19/06/15	16,40	16,30
17/07/15	16,40	15,80
19/08/15	19,10	19,20
16/09/15	20,10	19,40
21/10/15	18,90	18,60
Média	18,13	17,92
desvio padrão	1,51	1,52

Fonte: da autora

Todas as análises, tanto de entrada, quanto de saída estão dentro do padrão de lançamento exigidos pela legislação estadual, que é de 40 ^{o}C.

A média dos valores de pH ficou em 8,29, com máxima de 8,91 e mínimo de 7,39, decaindo ao longo do tratamento, chegando ao final com média de 7,25, como pode ser observado na Tabela 15.Essa diminuição de pH ocorre devido à atuação de bactérias formadoras de ácidos que fracionam a matéria orgânica e produzem ácidos voláteis (VON SPERLING, 2005).

Valores médios de pH semelhantes, tanto na entrada, quanto na saída, também foram encontrados em estudos realizados por Colares e Sandri (2013).

Tabela 15 – Valores de pH na entrada e saída da estação de tratamento

Data	**pH**	
	Entrada	**Saída**
15/05/15	7,39	7,11
19/06/15	8,16	7,00
17/07/15	8,40	7,28
19/08/15	8,37	7,26
16/09/15	8,95	7,59
21/10/15	8,44	7,27
Média	8,29	7,25
desvio padrão	0,51	0,20

Fonte: da autora

Os valores de pH tanto na entrada, quanto na saída do tratamento anaeróbio encontram-se dentro da faixa de pH estabelecida para lançamento em corpos hídricos, que varia entre 6 e 9.

4.8 Turbidez e cor

Os valores de turbidez encontrados variaram entre 1245 e 171 NTU, com média de 553,50 NTU no esgoto bruto. No esgoto tratado ficaram entre 239 a 110 NTU, com média de 198,17, sendo que os valores mostraram-se mais constantes na saída, e a eficiência alcançou máxima de 80,64% de remoção, como pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores de turbidez encontrados na entrada e saída do sistema e eficiência

Data	Turbidez (NTU)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	842,00	231,00	72,57
19/06/15	270,00	131,00	51,48
17/07/15	171,00	110,00	35,67
19/08/15	413,00	239,00	42,13
16/09/15	1245,00	241,00	80,64
21/10/15	380,00	237,00	37,63
Média	553,50	198,17	53,35
desvio padrão	409,37	60,62	18,99

Fonte: da autora

A eficiência média ficou acima da encontrada por Ávila (2005), que obteve média de 250 NTU no esgoto bruto e 78,33 NTU na saída de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios com diferentes configurações, com eficiência de 32%. Já Colares e Sandri (2013) encontraram valores de 37,8% para tanques sépticos.

Segundo Sant'anna Jr. (2010) o parâmetro da turbidez está ligado a concentração de partículas suspensas presentes no esgoto, porém, nesse estudo não foi possível afirmar que há um vínculo direto entre os dois parâmetros.

Já a cor é um parâmetro relacionado a presença de sólidos dissolvidos no efluente. Os valores de cor apresentados abaixo são relativos a cor aparente do esgoto, pois não houve separação dos sólidos em suspensão antes de realizar a análise, podendo ter interferência dos mesmos nos valores encontrados. Na Tabela 17 é possível observar que os valores variaram entre 445 e 222 Pt-Co na entrada do sistema. Na saída a média ficou em 189,83 Pt-Co, com eficiência máxima de remoção de 51,69% e média de 31,18%. Esta remoção pode ter sido ocasionada pela oxidação da matéria orgânica dissolvida.

A legislação estadual não cita uma faixa de valor ideal de cor para lançamento em corpos hídricos, ela apenas estabelece que o efluente não deve alterar a cor verdadeira do corpo receptor.

Tabela 17 – Valores de cor na entrada e saída da estação e eficiência de remoção

Data	Cor (Pt-Co)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)
15/05/15	293	175	40,27
19/06/15	257	197	23,35
17/07/15	222	165	25,68
19/08/15	271	208	23,25
16/09/15	445	215	51,69
21/10/15	232	179	22,84
Média	286,67	189,83	31,18
desvio padrão	81,74	19,84	12,06

Fonte: da autora

4.9 Avaliação do sistema

A avaliação do sistema foi realizada de duas formas: avaliação do dimensionamento da ETE e avaliação da operação do sistema.

4.9.1 Dimensionamento da ETE

O dimensionamento da ETE foi realizado por empresa terceirizada, contratada pela prefeitura para projetar as sete estações de tratamento de esgotos existentes no município. A avaliação do dimensionamento dos tanques sépticos foram apresentados a seguir.

Foram projetados dois tanques sépticos retangulares de câmaras sobrepostas. As unidades do sistema foram dimensionadas para atender um loteamento com 186 lotes e para cada lote estimou-se um número médio de 5 habitantes, totalizando 930 pessoas.

A Tabela 18 apresenta uma comparação entre os valores utilizados e calculados no projeto original, para cada um dos dois tanques sépticos, e os valores utilizados e encontrados na avaliação do dimensionamento, conforme equações e tabelas apresentadas no item 2.9 deste trabalho.

Tabela 18 – Valores utilizados e encontrados no projeto original e na avaliação do dimensionamento dos tanques sépticos

Parâmetros de projeto	**Projeto Original**	**Cálculos da avaliação**
Altura útil (m)	3,10	2,80
Altura total (m)	3,50	3,20
Comprimento (m)	7,00	6,25
Largura (m)	3,50	2,50
TDH (horas)	2,00	12,00
V_1 (m³)	5,25	23,25
V_2 (m³)	34,80	34,88
V_3 (m³)	11,66	11,63
V_4 (m³)	4,77	9,38
V_5 (m³)	20,35	8,00
Volume total (m³)	85,50	87,50

Fonte: adaptado do projeto original (1998) e da autora.

Os principais equívocos encontrados no projeto original foram a utilização de um tempo de detenção de duas horas, estando em desacordo com a NBR 7229 que estabelece um tempo de detenção de doze horas (0,5 dia) para vazões acima de 9 m³, e uma altura útil de 3,10 m, enquanto a referida norma estabelece uma altura máxima de 2,80 m.

O projeto estabeleceu um volume 85,50 m³ cada tanque, enquanto na avaliação foi obtido um valor de 87,50 m³. Esses valores podem ser influenciados por escolhas do projetista das dimensões, ou das alturas.

O dimensionamento dos filtros anaeróbios foi feito de acordo com a Equação 7. Da mesma forma que nos cálculos dos tanques sépticos, foi utilizado no projeto a contribuição de esgotos de 136,1 L/hab.dia, mas nos cálculos da avaliação foram utilizados o que estabelece a norma, que é 100 L/hab.dia. Foi utilizado também um tempo de detenção hidráulica de 0,50 dia. O volume útil de cada um doa quatro filtros seria de 18,60 m³.

Pode-se perceber que os filtros foram superdimensionados, tendo capacidade para 6,9 m³ acima do necessário para tratar o efluente. A altura do filtro também está em desacordo com a norma construtiva, que estabelece que a altura total do leito filtrante, incluindo o fundo falso, deve ser de no máximo 1,20 m, e no projeto foi utilizado 1,50 m, com altura total de 2 m cada filtro.

Depois de passar pelos filtros, o efluente tratado é despejado na rede pluvial.

As unidades do sistema tem capacidade para tratar o efluente gerado na comunidade, mesmo com alguns equívocos de projeto. No entanto, não se sabe ao certo se a construção da ETE se deu de acordo com o que consta no projeto, muito provavelmente não, pois não é possível encontrar algumas caixas de inspeção, nem de acessar de alguma forma todas as estruturas.

A retirada do lodo das fossas sépticas estipulada no projeto é de 300 dias, mas devido à grande quantidade de sólidos presentes no esgoto bruto, não é possível um tempo tão longo de digestão do lodo. Atualmente a retirada do lodo é feita a cada 2 meses.

4.9.2 Avaliação operacional

Sistemas simples de tratamento, como os sistemas fossa e filtro não demandam muita técnica operacional, sendo que a operação necessária é a realização de limpezas, que devem ser realizadas de acordo com a necessidade, ou com o que é estipulado no projeto.

Atualmente as limpezas na fossa séptica são realizadas a cada dois meses, com retirada de 45 m³ de lodo em cada operação. Como não é possível observar aumento na eficiência de tratamento após as limpezas, sugere-se que seja analisada a possibilidade de aumentar o intervalo entre elas, avaliando sempre o

comportamento do sistema. Nesse caso, diminuiriam os gastos do município, com destinação e tratamento do lodo.

Também é importante que seja efetuada a retirada do lodo sobrenadante, tanto na fossa como no filtro, afim de evitar incrustações e mau cheiro, e também para que o acumulo de grande quantidade desse material não diminua a altura útil da fossa (EMBRAPA, 2010).

Para diminuir a quantidade de escuma no sistema, sugere- a instalação de uma caixa de gordura, como tratamento preliminar, a fim de evitar a entrada excessiva de óleos e graxas, que formam uma camada espessa de escuma, podendo diminuir a altura útil do tanque de decantação, tornando-o apenas uma caixa de passagem.

Para a melhor operação dos filtros anaeróbios é necessária a instalação de um dispositivo de retrolavagem, para desobstrução do meio filtrante, visto que hoje é realizada apenas a retirada do lodo e a injeção de água, como forma de limpeza.

Outra necessidade importante da ETE seria a instalação de um hidrômetro para verificar a vazão de saída, uma vez que a estação foi projetada para atender uma população máxima de 930 habitantes e vazão de 275,62 $m^3.dia^{-1}$. Porém, em visitas realizadas no final de 2014 na comunidade constatou-se que a população atual de aproximadamente 605 pessoas e a vazão de esgoto seria em torno de 60,5 $m^3.dia^{-1}$. Se comprovando essa condição, através da instalação de um hidrômetro, os limites de lançamento, segundo a Resolução CONSEMA 128/2006, ficariam mais brandos, aumentando de 100 para 150 $mg.L^{-1}$ para DBO_5, de 300 para 360 $mg.L^{-1}$ para DQO e de 100 para 160 $mg.L^{-1}$ para sólidos suspensos.

Sugere-se também a retirada das árvores existentes na área da ETE, pois as raízes destas podem causar problemas à estrutura dos tanques componentes do sistema, que estão enterrados.

4.10 Sugestão de pós-tratamento

Através da avaliação da eficiência da ETE foi constatado que, apesar de ter boa porcentagem de remoção de poluentes em geral, alguns dos parâmetros analisados, como DBO, DQO, SS e N-amoniacal, não atingem o padrão estadual de lançamento de efluentes em corpos hídricos. Por isso existe a necessidade de um

polimento final do esgoto tratado, afim de melhorar suas características, físicas, químicas e biológicas para posterior lançamento no meio ambiente.

Para a escolha de um pós tratamento é necessário que se leve em conta que a estação faz parte de um conjunto de sete ETEs operadas pelo município, com sistemas de simples operação e manutenção. Por isso, o polimento final deve seguir o mesmo padrão. De acordo com essa necessidade, os *wetlands* construídos, apresentam-se como uma boa alternativa para o polimento final do esgoto da ETE em estudo, uma vez que também existe uma área de terra que faz divisa com a estação e que pode ser adquirida pela prefeitura para instalação do mesmo. A Figura 8 abaixo mostra a localização da possível área para instalação do sistema de *wetland* construído.

Figura 8 – Localização da área para instalação do wetland e da ETE



Fonte: Adaptado de Google Earth (2015).

Outro fator que torna o *wetland* uma opção viável é que a relação DQO/DBO_5, na saída do sistema, com média de 2,27, é indicativa de boa biodegradabilidade do efluente, o que favorece o tratamento biológico para o polimento final.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os principais parâmetros que devem ser levados em conta para projetos de banhados construídos são o tempo de detenção hidráulica, comprimento e profundidade do leito e taxa de aplicação de DBO_5 por dia.

Por se tratar de uma área urbana, bem próximo à área residencial do bairro, o tipo de fluxo mais indicado para o *wetland* é o subsuperficial, pois não há exposição do efluente e o risco associado à saúde humana é reduzido, além de não haver disseminação de odores.

Ferreira et al (2013) realizou um levantamento com estudos de diversos autores no pais, e verificou que as eficiências de remoção de sistemas subsuperficiais são satisfatórias, com remoção entre 77% e 99% de DBO_5, 99% para coliformes totais e 89% de nitrogênio amoniacal. Estudos realizados por Souza et al (2004) encontraram remoção de DQO entre 70 e 86%, monitorando três *wetlands* construídos durante três anos na Paraíba e Sezerino (2006) encontrou uma eficiência de remoção média de SS de 84% operando o mesmo tipo de tratamento durante um ano e meio no sul do Brasil.

A seguir será apresentado o dimensionamento de um *wetland* com fluxo subsuperficial horizontal para tratar o efluente do sistema fossa e filtro da comunidade. Neste trabalho foi utilizada a metodologia proposta por Sezerino (2006). O cálculo da área necessária para instalação do sistema está apresentado a seguir.

$$A = \frac{Q(lnCo - lnCe)}{K_T * p * n} \quad (9)$$

Onde:

A = área superficial requerida (m^2);

Q = vazão afluente ($m^3.d^{-1}$);

Co = concentração afluente em termos de DBO_5 ($mg.L^{-1}$= g/m^3) – oriundo do tratamento fossa e filtro;

Ce = concentração efluente em termos de DBO_5 (mg/L = g/m^3) – prevendo remoção de 90% no *wetland* com macrófitas (literatura 77 a 99%)

K_T = obtida pela equação 20 (d^{-1});

n = porosidade do material filtrante (m^3 vazios/m^3 material);

p = profundidade média do filtro (m).

A constante K_T destacada na equação 10 pode ser obtida através de equações empíricas que relacionam a constante de reação a 20ºC (K_{20}) com a equação modificada de van't HoffArrhenius (Natural Systems, 1990 apud Sezerino, 2006), conforme segue:

$$K_T = K_{20}.(1{,}06)^{T-20} \quad (10)$$

Onde:
K_{20} = constante de reação a 20 ºC (d^{-1});
T = temperatura crítica (ºC).

O tempo de retenção hidráulico utilizado na Equação 9 é função da porosidade do maciço filtrante, do volume do filtro e da vazão que se deseja tratar, conforme Equação 10.

$$t = n\frac{V}{Q} \quad (11)$$

Onde:
n = porosidade do material filtrante (m^3 vazios/m^3 material);
V = volume do filtro em (m^3);
Q = vazão a tratar (m^3/dia).

Para a realização dos cálculos de estimativa de vazão, foi considerado o levantado realizado pelo município no final do ano de 2014, que constatou a existência de 173 residências, com média de 3,5 habitante cada uma. Levando em conta que o

loteamento foi idealizado com 186 lotes e multiplicando os 13 lotes disponíveis para instalação de residências pela média de habitantes, obtém-se uma população de aproximadamente 650 pessoas. Usando a contribuição diária de esgoto para comunidades de baixa renda de 100 L/hab.dia, tem-se uma vazão diária de 65 m^3.

Com o emprego da equação 9 e utilizando uma concentração afluente de 380 $mgDBO_5.L^{-1}$ (valor máximo de saída encontrado nas análises) oriundo do sistema fossa e filtro, da média dos valores de temperatura do ar no inverno de 15°C, gerando assim um K_{15} de $0,60d^{-1}$ (empregando a equação 10 – assumindo K_{20} de $0,80d^{-1}$ – Conley et al., 1991 apud Sezerino, 2006), da porosidade do material filtrante de 0,45 (brita comercial nº 3, com porosidade efetiva de 45%, segundo Holz e Tassi (2007)), e de profundidade em 0,60 m, obtiveram-se as seguintes dimensões para os WC de fluxo horizontal: 21735

- área superficial = 850,73 m^2
- comprimento = 42,55 m
- largura = 20 m
- altura = 0,60 m
- tempo de retenção hidráulica teórica = 3,54 d (aplicando a equação 10).

Neste trabalho calculou-se apenas a área requerida para instalação de um WC e o tempo de detenção hidráulico. Também foram definidos o material suporte e a profundidade. Dessa forma, foi possível observar que há grandes possibilidades da utilização do WC como polimento final do efluente do conjunto fossa e filtro, e a área necessária para sua instalação é compatível com o local sugerido para implantação do sistema, próximo à ETE.

5 CONCLUSÃO

Durante um período de aproximadamente oito meses monitorando a ETE, realizando pesquisas bibliográficas e analisando alguns parâmetros, *in loco* e em laboratório, buscou-se entender o funcionamento do sistema, avaliando a qualidade do efluente final, e sugerir adequações operacionais ou tecnológicas, sempre com o intuito de diminuir o impacto causado pelo lançamento do efluente no meio ambiente.

Apesar do conjunto fossa e filtro se tratar de um sistema simples de tratamento e de não atingir o padrão de lançamento necessário para a maioria dos parâmetros, como DBO, DQO, sólidos e nitrogênio amoniacal, foi possível observar remoção satisfatória de poluentes, estando dentro das faixas de eficiências e, por vezes, até superior às reportadas na literatura. Provavelmente isso se deve ao tempo de detenção ser elevado e à grande concentração de sólidos presentes no esgoto bruto, que acabam sedimentando no tanque séptico.

O dimensionamento do sistema, apesar de conter alguns equívocos tem capacidade de tratar o volume de efluente gerado na comunidade, porém, não se pode ter certeza que a construção da ETE se deu de acordo com o projeto, pois algumas unidades do sistema não podem ser observadas superficialmente, ou não podem ser acessadas. Por isso, sugere-se que a estação seja desenterrada, afim de observar a real situação e composição do sistema.

A opção de pós-tratamento, com *wetlands* construídos, é compatível com a área sugerida para instalação e adequada para as características do efluente oriundo do sistema fossa e filtro. Também está de acordo com a necessidade de ser de fácil

operação e manutenção, característica das ETEs do município. Porém, sugere-se que sejam feitos novos estudos, com implantação de um WC em escala piloto, com diferentes tipos de macrófitas, a fim de confirmar a eficiência de remoção de poluentes e verificar se o sistema alcança o principal objetivo que é adequar o efluente da ETE aos padrões de lançamento exigidos pela CONSEMA 128/2006.

Sugere-se também realizados estudos semelhantes nas outras seis ETEs, a fim de obter uma avaliação completa do comportamento desse sistema de tratamento de esgotos do município.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington, DC,.2005.

ANDRADE NETO, C. O. Sistemas simples para tratamento de esgoto sanitários: Experiência brasileira. 1. ed. Rio de janeiro, RJ: ABES. 1997.

ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; SOUZA MELO, H. N.; AISSE M. M. Decanto-digestores. In: CAMPOS, J. R. (coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES,1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ÁVILA, R. O. Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

_____. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ANBT, 1993.

_____. NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ANBT, 1986.

_____. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ANBT, 1997.

BARROS, R. T. de V. et al. Saneamento. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Vol 2. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. Manual de saneamento. 3ª ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p

_____. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

_____. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357/2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CHEMIN, B. F. Manual da Univates para Trabalhos Acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015. E-book. Disponível em: <http://www.univates.br/biblioteca>. Acesso em: abr. 2015.

CHERNICHARO, C. A. de L. et al. Pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbios. Projeto PROSAB. Belo Horizonte: Segrac Editora e Gráfica, 2001.

_____. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. v. 5.

EMBRAPA. Manual de operação e manutenção da estação de tratamento de efluentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Rio de Janeiro, 2010. 24 p.

GARIBALDI (município) – Site da Prefeitura Municipal de Garibaldi. Disponível em: <http://www.garibaldi.rs.gov.br/>. Acessado em: Abril/2015.

_____ – Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo. Disponível em: <http://www.garibaldi.rs.gov.br/secretarias-e-orgaos/meio-ambiente/plano municipal-de-saneamento-basico-participativo/>. Acessado em: Abril/2015.

FERREIRA, et al. Levantamento de pesquisas desenvolvidas com wetlands subsuperficial de fluxo vertical no Brasil para verificar as possibilidades de padronização do sistema. 1º Simpósio Brasileiro sobre Aplicação de Wetlands Construídos no Tratamento de Águas Residuárias. Florianópolis, 2013.

FUNASA. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006

GROMBONI, C. F. Avaliação dos processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas. São Carlos. Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

HAANDEL, A. V.; HENRIQUE, I. N.; LIMA, E. P. C.; SOUZA, J. T. Utilização de wetlands construídos no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. 2004, vol 9, nº 4, p.540-545.

HOLZ, J.; TASSI, R. Usando estruturas de drenagem não convencionais em grandes áreas: o caso do loteamento Monte Belo. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hidricos, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades. Disponível em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun =430860. Acessado em Mar. 2015.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 7ª ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2014.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott. Treatment wetlands - 2. ed. USA, 2009.

MASSAROTTO, W. L. Avaliação de tecnologias para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Dissertação de mestrado. Ribeirão Preto, 2010.

MENESES, C.G.R. et al. Caracterização físico-química e biológica dos resíduos de sistemas tipo tanque séptico-sumidouro da cidade do Natal. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, Joao Pessoa, 2001.

METCALF, L.; EDDY, H.P. Wastewater engineering: Treatment, disposal and Reuse. 4th ed. Nova York: MacGraw-Hill, 2003.

MOURA, V.M et al. Avaliação dos Parâmetros Indicadores da Qualidade da Água para Verificar o Estado de Conservação das Represas do Rio Ipitanga, Salvador, BA, Brasil. Rev. Virtual Quimica, 2013. p 869-890.

MORAIS, J. L. Estudo da Potencialidade de Processos Oxidativos Avançados, Isolados e Integrados com Processos Biológicos Tradicionais, para Tratamento de Lixiviado em Aterro Sanitário. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2005.

MOTA, S. Introdução a engenhaia ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NUVOLARI, A. et al. Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Edgar Blucher, 2003.

PIMENTEL, J.M. Série Temática: Tecnologias Ambiental - Volume 1. Rio de Janeiro: COAMB/FEN/UERJ, 2010, 49p.

PROSAB. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Lourdinha Florencio, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Miguel Mansur Aisse (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.

REINALDO, G. P. B. et al. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

RICHTER, C. A., NETTO, J.M.A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo. Edgard Blücher, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 128, de 2006. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 24 nov. 2006.

SANT'ANNA JR., G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro. Interciência, 2010, 418p.

FINOTTI, A.R. et al. Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2009.

SEZERINO, P.H & PHILIPPI, L. S. Filtro Plantado com Macrófitas (Wetlands) como Tratamento de Esgotos em Unidades Residenciais - Critérios para

Dimensionamento. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 238, Florianópolis. ABES, 2003. p. 2-20.

SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; ALVARENGA, R.A.F.; VALENTE, V.B.; PHILLIPI, L.S. Filtro plantado com typha spp de fluxo horizontal (constructed wetland) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa. In: 23° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2005.

SEZERINO, P.H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Tese de doutorado, UFSC. 171p. Florianópolis/SC, 2006.

SOUZA, J. T.; HANDELL, A.V.; LIMA E.P.; HENRIQUE, I.N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgoto doméstico pré-tratado em reator UASB. Eng. Sanitária e Ambiental, vol. 9, nº 4, Rio de Janeiro, 2004. 6 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Diagnóstico relativo ao modelo de gestão dos serviços de águas e esgoto de Garibaldi-RS - relatório 2, Vol 1/3:memória descritiva. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Instituto de Pesquisas Hidráulicas- IPH, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal wastewater Treatment, 1998. 92 p.

VICTORINO, C.J.A. Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

_____. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2.