



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E  
REAPROVEITAMENTO PARA A FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM, NO  
MUNICÍPIO DE FELIXLÂNDIA, MINAS GERAIS-BRASIL**

**THAYNÁ GUIMARÃES SILVA**

**BELO HORIZONTE**

**2019**

**THAYNÁ GUIMARÃES SILVA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E  
REAPROVEITAMENTO PARA A FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM, NO  
MUNICÍPIO DE FELIXLÂNDIA, MINAS GERAIS-BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Professor M.Sc. André Luiz Marques Rocha

**BELO HORIZONTE**

**2019**

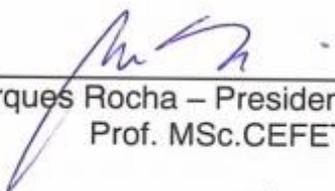
**THAYNÁ GUIMARÃES SILVA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E  
REAPROVEITAMENTO PARA A FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM, NO  
MUNICÍPIO DE FELIXLÂNDIA, MINAS GERAIS-BRASIL.**

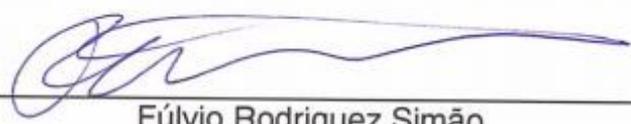
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 19/06/19

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. MSc.CEFET-MG

  
\_\_\_\_\_  
Marcos Vélso de Menezes  
MSc. Engenharia Civil

  
\_\_\_\_\_  
Fúlvio Rodriguez Simão  
PhD. Ciência dos Solos e Plantas – EPAMIG

SILVA, Thayná Guimarães.

S--- Tratamento de águas residuárias domésticas e reaproveitamento para fertirrigação de pastagem, no município de Felixlândia, Minas Gerais – Brasil / Thayná Guimarães Silva, - Registro: 2019.

100 f.; --cm.

Orientador: Professor Msc. André Luiz Marques Rocha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

Água residuária doméstica. 2. Dimensionamento. 3. Fertirrigação. 4. Sistema de tratamento de esgoto. I. Silva, Thayná Guimarães. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Tratamento de águas residuárias domésticas e reaproveitamento para fertirrigação de pastagem, no município de Felixlândia, Minas Gerais – Brasil

CDD -----

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela força e sustento, por alimentar minha fé, por me fazer crer que tudo daria certo.

À minha Nossa Senhora Aparecida, por me conduzir para o melhor caminho e me iluminar.

Aos meus pais, Hamilton e Tânia, pelo amor incondicional, conselhos motivacionais, força e incentivo.

Aos meus irmãos, Sérgio e Renata, por sempre me ajudarem naquilo que fosse necessário e por acreditarem que eu venceria esta etapa.

Ao meu orientador, André Rocha, pelo profissionalismo, suporte técnico, atenção e pela confiança depositada em mim para realização desse trabalho.

Ao professor Marcos Veloso, por todo o auxílio, conhecimento transmitido e predisposição em ajudar.

À EPAMIG, por me proporcionar a minha primeira experiência profissional e pela contribuição para minha formação.

Ao Fúlvio Simão, por me nortear na decisão de realizar esse estudo, por permitir acesso ao Campo Experimental de Felixlândia e por todo o auxílio.

À COPASA, por disponibilizar dados e o Memorial Descritivo, Justificativo e de Cálculo do Projeto Básico do Sistema de Esgotos Sanitários de Felixlândia.

A todos meus colegas de faculdade, por tornarem essa caminhada mais prazerosa e leve e por terem me ajudado com o estudo.

Aos meus queridos amigos por todo apoio e por sempre se fazerem presentes na minha vida.

Aos meus professores, colegas de trabalho e todos os outros que de alguma forma estiveram presentes e contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

O Brasil apresenta crescente demanda por água e, considerando um cenário de escassez hídrica, o adequado manejo de práticas agropastoris, que envolvam técnicas de irrigação e atividades na pecuária é essencial. A disposição de água residuárias no sistema solo-planta pode ser vista como uma solução ideal para descarte adequado de efluente doméstico, em especial a fertirrigação de pastagens. Nesse contexto, destaca-se a cidade de Felixlândia, que dispõe o efluente doméstico em uma lagoa de dejetos e em fossas negras, que posteriormente chega ao Córrego do Bagre sem estar precedido de um sistema de tratamento de esgoto doméstico eficaz e sustentável. Foi estabelecido um termo de cooperação técnica que celebra entre a EPAMIG e COPASA a construção de uma estação de tratamento de esgoto e utilização de efluentes tratados em projetos de pesquisa em fertirrigação de pastagem. Diante do interesse ambiental e socioeconômico do reaproveitamento de águas residuárias de efluentes domésticos e da situação do esgotamento sanitário precário e frágil do município, este estudo tinha como objetivo dimensionar um sistema de tratamento de efluentes domésticos, com suporte no projeto desenvolvido pela COPASA, produzidos pela cidade de Felixlândia, em Minas Gerais. Ademais, o estudo tinha por finalidade definir as unidades mais adequadas, a taxa de aplicação da água residuária na fertirrigação e apresentar os riscos sanitários e ambientais do reuso da água residuária no solo. O dimensionamento realizado demonstrou ótima eficiência para remoção de carga orgânica, sólidos suspensos e organismos patogênicos. O sistema favoreceu a utilização de duas técnicas de disposição de águas residuárias em solo, evitou o lançamento de efluente em corpos hídricos e complementou o sistema proposto pela COPASA. Em suma, o efluente poderia ser lançado nos rios, sem descumprir o arcabouço legal vigente Estado de Minas Gerais e no Brasil.

**Palavras-chave:** Água residuária doméstica. Dimensionamento. Sistema de tratamento de esgoto. Fertirrigação.

## ABSTRACT

Brazil has growing demand for water and, considering a scenario of water scarcity, the proper management of agro-pastoral practices, involving techniques of irrigation and livestock activities is essential. The residual water disposal plant-soil system can be seen as an ideal solution for proper disposal of wastewater, especially fertirrigation pastures. In this context, there is the city of Felixlândia, available to the domestic wastewater in a pond waste and black tanks, which later comes to Bagre stream without being preceded by an effective and sustainable sewage treatment system. An agreement between EPAMIG and COPASA and the construction of a sewage treatment plant effluent treated and use in research projects fertirrigation on pasture has been established. On the environmental and socio-economic interests of wastewater reuse of domestic wastewater and the precarious and fragile sewage the city situation, this study was designed to project a domestic wastewater treatment system, supporting the project developed by COPASA, in the city Felixlândia in Minas Gerais. Furthermore, the study was designed to define the most appropriate units, the application rate of wastewater in fertirrigation and present health and environmental risks of the reuse of wastewater in the soil. The design performed demonstrated great efficiency for removal of organic load, suspended solids and pathogenic organisms. The system supportal the use of two techniques wastewater disposal in soil, prevented the release of effluent into water bodies and completed the system proposed by COPASA.

**Keywords:** Domestic wastewater Water. Scaling. Sewage Treatment System. Fertirrigation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Água retirada e consumida no Brasil	11
Figura 2 – Instrumentos reguladores do esgotamento sanitário, nos municípios em Minas Gerais, no ano de 2014	14
Figura 3 – Lagoa de dejetos do município de Felixlândia, em Minas Gerais	15
Figura 4 – Balanço de sólidos	19
Figura 5 – Tratamento preliminar	26
Figura 6 – Decantador circular	26
Figura 7 – Tratamento de águas residuárias por escoamento sobre o solo	29
Figura 8 – Mesorregião do Oeste de Minas Gerais	40
Figura 9 – Área de estudo	41
Figura 10 – Execução de obras de saneamento em Felixlândia	42
Figura 11 – Infraestrutura de serviços de saneamento de Felixlândia	43
Figura 12 – Lagoa de dejetos	44
Figura 13 – Despejo de esgoto doméstico em lagoa	44
Figura 14 – Projeção populacional	46
Figura 15 – Determinação da interseção das curvas e escolha da bomba	66
Figura 16 – Esquema das áreas de influência de cada tubo de distribuição (fundo do reator)	71
Figura 17 – Representação esquemática dos separadores trifásicos (planta superior)	74
Figura 18 – Desenho esquemático de um reator UASB	76
Figura 19 – Vista de cima das rampas de escoamento	79
Figura 20 – Resultados do dimensionamento da ETE de Felixlândia	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos de lançamento de esgoto doméstico no município de Felixlândia	15
Tabela 2 – Condições para lançamento de efluentes	23
Tabela 3 – Condição para lançamento de efluentes em Minas Gerais	24
Tabela 4 – Níveis de tratamento de esgotos	25
Tabela 5 – Porcentagem de redução de organismos patogênicos nos processos de tratamento	28
Tabela 6 – Diretrizes da OMS para uso agrícola de esgotos sanitários (1989 – 2005)	31
Tabela 6 – Diretrizes da OMS para uso agrícola de esgotos sanitários (1989 – 2005)	32
Tabela 7 – Sobrevivência de patógenos e coliformes em produtos agrícolas e forrageiros	33
Tabela 8 – Organismos patogênicos existentes no esgoto doméstico	35
Tabela 9 – Remoção de organismos patogênicos em sistemas de tratamento de esgotos	37
Tabela 10 – Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento.	47
Tabela 10 – Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento.	48
Tabela 11 – Microrganismos e parasitas presentes nos esgotos domésticos brutos	48
Tabela 12 – Vazões mínima, média e máxima	51
Tabela 13 – Larguras de garganta do medidor de vazão	51
Tabela 14 – Peças do sistema motor-bomba	64
Tabela 15 – Vazões ( $Ls^{-1}$ ) e altura manométrica	65
Tabela 16 – Vazões ( $m^3h^{-1}$ ) e altura manométrica	65
Tabela 17 – Dados de dimensionamento do reator UASB	66
Tabela 18 – Velocidades superficiais recomendadas para o projeto de reatores UASB	70
Tabela 19 – Resumo das faixas de valores típicos de $K_B$	80
Tabela 20 – Diretrizes OMS para uso agrícola de esgotos sanitários	83
Tabela 21 – Eficiência de Remoção de DBO em cada unidade da ETE dimensionada	92

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA - *Agência Nacional das Águas*

CEFX - *Campo Experimental de Felixlândia*

COPASA - *Companhia de Saneamento de Minas Gerais*

DBO - *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

DESA/UFMG - *Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais*

DQO - *Demanda Química de Oxigênio*

EPAMIG - *Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais*

IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

OD - *Oxigênio Dissolvido*

OMS - *Organização Mundial da Saúde*

RAS - *Razão de Adsorção de Sódio*

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo (RAFA)*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Definição do Problema	6
1.2 Motivação	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Geral	9
2.2 Objetivos específicos	9
3 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1 Importância das águas e o cenário brasileiro	10
3.2 Saneamento básico e saneamento ambiental	12
3.3 Esgotamento Sanitário no Brasil	12
3.4 Esgotamento Sanitário em Minas Gerais	13
3.5 Esgotamento Sanitário em Felixlândia	14
3.6 Caracterização dos efluentes	16
3.7 Parâmetros para caracterização dos efluentes domésticos	17
3.7.1 Características físicas	17
3.7.2 Características químicas	19
3.7.3 Características biológicas	21
3.8 Legislação aplicada para tratamento de efluentes e lançamento em corpos hídricos	21
3.8.1 Legislação Federal	22
3.8.2 Legislação Estadual	23
3.9 Níveis de tratamento de esgotos	24
3.9.1 Tratamento Preliminar	25
3.9.2 Tratamento Primário	26
3.9.3 Tratamento Secundário	27
3.9.4 Tratamento Terciário	27
3.9.5 Sistemas de tratamento secundários para esgotos domésticos	28
3.10 Águas residuárias	30
3.11 Fertirrigação	32
3.11.1 Aspectos sanitários	33
3.11.2 Aspectos agronômicos	34
3.11.3 Aspectos sanitários para a fertirrigação de pastagem	35
4 METODOLOGIA	38
4.1 Métodos de Abordagem	38

4.2 Procedimentos	38
4.3 Área de estudo	39
4.4 Sistema atual de tratamento de efluente doméstico	41
4.5 Descrição do processo de tratamento adotado	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>51</b>
5.1 Dimensionamento do medidor de vazão	51
5.1.1 Tamanho Nominal Medidor Parshall (W)	51
5.1.2 Determinação das lâminas d'água máximas e mínimas	52
5.1.3 Cálculo do rebaixamento	52
5.2 Dimensionamento do desarenador	53
5.3 Dimensionamento das grades	57
5.4 Escolha do conjunto motor-bomba	61
5.5 Dimensionamento do Reator de Manta de Lodo	66
5.6 Dimensionamento da rampa de escoamento	76
5.7 Dimensionamento da Lagoa de Maturação	79
5.7.1 Remoção de organismos patogênicos	79
5.7.2 Remoção de DBO	83
5.8 Dimensionamento da área de fertirrigação	85
5.9 Determinação da taxa de aplicação	85
5.9.1 Riscos Ambientais	87
5.10 Discussões finais	88
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>93</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>95</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>96</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição do Problema

O Brasil apresenta crescente demanda por água, desencadeada pelo crescimento populacional, ocupação urbana, adensamento populacional e também pela demanda por alimentos. Observam-se regiões que antes tinham plena disponibilidade hídrica e passaram a ter intenções de uso além da disponibilidade (SIMÃO; ANTUNES, 2015). Considerando um cenário de escassez hídrica, o adequado manejo de práticas agropastoris, que envolvam técnicas de irrigação e atividades na pecuária é essencial.

Segundo os últimos estudos dos usos consuntivos da água, a agricultura brasileira, majoritariamente a irrigada, responsabilizou-se por um consumo médio anual em 2016 de 67,2%. O consumo da água é seguido por 11,1% de abastecimento animal, e 9,5% em atividades industriais (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017b). Verifica-se, portanto, que o principal uso de água no país, em termos quantitativos é para a irrigação, havendo uma tendência progressiva e mais eficiente do uso de águas residuárias nesse setor, uma vez que esta reduzirá o descarte do efluente em corpos hídricos e diminuirá o uso e captação de água doce para fins irrigáveis (BECERRA-CASTRO et al.,2015).

A disposição de água residuárias no sistema solo-planta pode ser vista como uma solução ideal para descarte adequado de efluente doméstico. Quando realizada sem critérios ambientais tende a causar problemas de contaminação dos solos e águas e toxicidade à pastagem, mas se gerida adequadamente, esta técnica pode ser fonte de nutrientes e água para as plantas. Concomitantemente, a fertirrigação viabiliza o uso de fertilizantes na agricultura irrigada, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e seu potencial poluidor, aumenta a eficiência das culturas, reduz custos com máquinas e mão de obra, podendo ser economicamente viável (COELHO et al., 2010). Ressalta-se ainda que na fertirrigação as culturas se comportam como biofiltros naturais, reduzindo custos com implementação de outras técnicas de tratamento de efluentes (GONÇALVES, 2016).

Nesse contexto, destaca-se a cidade de Felixlândia, que possui 14.121 habitantes, de acordo com o censo demográfico do IBGE de 2010, e estimativa de 15.235 habitantes em 2018. Atualmente os efluentes domésticos da cidade são

encaminhados para uma lagoa de dejetos implantada em 1964, ou ainda para fossas negras, nas residências. No entanto, essa alternativa de mitigação de impactos ambientais devido à geração do efluente doméstico, não se fundamenta em uma solução sustentável eficaz, considerando que a lagoa está localizada no contexto de uma cabeceira de drenagem parcialmente urbanizada de um curso d'água afluente da margem direita do Córrego do Bagre, o qual deságua na represa de Três Marias (UFMG, 2018). O lançamento direto no corpo hídrico compromete a qualidade da água, afeta negativamente a biota aquática e impossibilita o uso para abastecimento público, podendo ser foco de doenças de veiculação hídrica.

Diante do interesse ambiental e socioeconômico do reaproveitamento de águas residuárias de efluentes domésticos e da situação do esgotamento sanitário precário da cidade de Felixlândia, destaca-se, então, a importância de se propor um sistema de tratamento de efluentes domésticos na região, que atenda a legislação ambiental vigente e melhore o quadro sanitário do município. Propõe-se, portanto, a construção e dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes Doméstico no Campo Experimental, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais em Felixlândia (CEFX/EPAMIG), onde há espaço disponível para implantação do sistema e oportunidade de aplicação e aproveitamento dos nutrientes existentes do efluente tratado na pastagem.

O dimensionamento e implantação da ETE no CEFX traz impactos ambientais positivos e se faz necessária, na medida em que evita o lançamento de esgoto no corpo hídrico, aumentando a disponibilidade hídrica para outros fins. Potencializar os índices de coleta e tratamento de esgoto de Felixlândia refletirá em melhores condições da qualidade da água, viabilizando o atendimento dos usos a jusante, em particular o abastecimento, além de refletir na melhoria das condições de saúde pública, reduzindo incidência de doenças de veiculação hídrica (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017b).

Nesse sentido é importante investigar as taxas de aplicação das águas residuárias no sistema solo-planta e os efeitos ambientais e sanitários da aplicação em pastagem, destacando os solutos presentes em maiores concentrações e evidenciando também a importância do tratamento prévio das águas, assegurando as normas de saúde pública.

## 1.2 Motivação

O presente Trabalho de Conclusão de curso está sendo desenvolvido a partir do conhecimento, por meio da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), da situação sanitária frágil e insegura do Município de Felixlândia, como exposto anteriormente. Foi estabelecido um termo de cooperação técnica que celebra entre a EPAMIG e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), a construção de uma estação de tratamento de esgoto e utilização de efluentes tratados em projetos de pesquisa em fertirrigação de pastagem.

Ciente deste convênio, e do cenário sanitário do município de Felixlândia, surge a ideia de elaboração de um projeto de sistema de esgotamento sanitário, que tem como suporte o projeto que está sendo desenvolvido pela COPASA e análise dos efeitos sanitários e ambientais do reuso da água residuária no pasto. Acredita-se que este trabalho tem uma perspectiva de um projeto real, com aplicação prática para o campo experimental e servirá como base para outros projetos e trabalhos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo dimensionar um sistema de tratamento de efluentes domésticos, produzidos pela cidade de Felixlândia, em Minas Gerais para atender a aproximadamente 90% da população.

### **2.2 Objetivos específicos**

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos, para atingir o objetivo geral do estudo:

- Efetuar o levantamento de dados referentes à cidade de Felixlândia, como estimar a produção dos efluentes domésticos (considerando a per capita de água);
- Efetuar levantamento de dados referentes ao CEFX, em Felixlândia, para propor local de implantação da ETE;
- Definir as unidades mais adequadas ao tratamento do efluente de Felixlândia;
- Dimensionar o sistema de tratamento de efluentes;
- Determinar a taxa de aplicação de água residuária e (outros parâmetros);
- Apresentar os aspectos sanitários e ambientais de reuso da água residuária para fertirrigação de pastagem;
- Mensurar a taxa de aplicação do efluente no solo como técnica de fertirrigação de pastagem.

### 3 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Importância das águas e o cenário brasileiro

As águas são fundamentais para o suporte à vida, sendo o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva: nos homens constituem mais de 60%, e em alguns animais aquáticos corresponde a aproximadamente 98%.Dentre os  $1,36.10^{18}$  m<sup>3</sup> de água disponíveis na Terra, apenas 0,8% distribui-se na forma de água doce e desta porcentagem apresentam-se na forma de água superficial 3% (SPERLING, 2014).

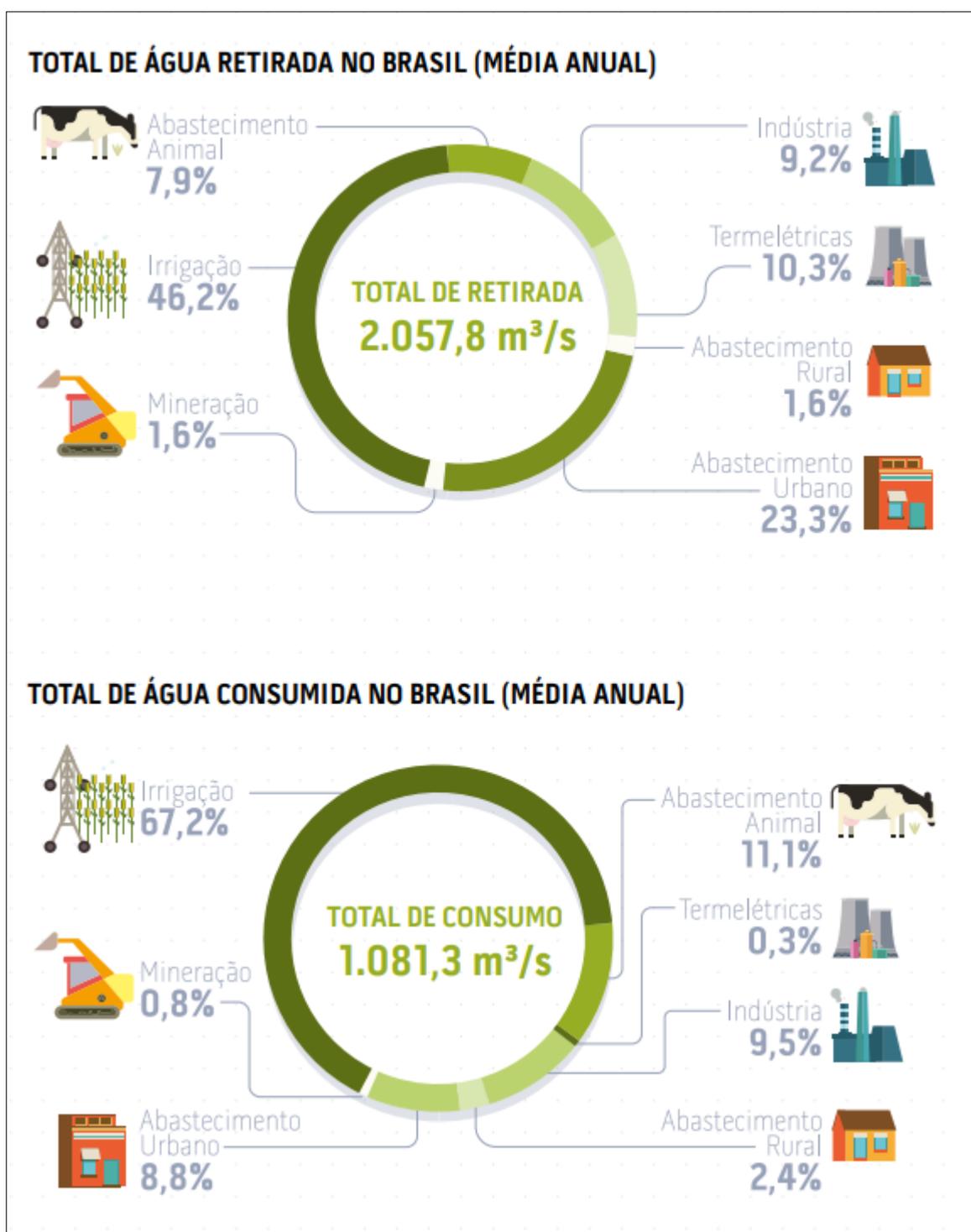
Evidencia-se, portanto, a necessidade de preservação e monitoramento das águas, levando em conta as peculiaridades e compatibilização dos múltiplos usos: abastecimento doméstico e dessedentação animal, preservação de flora e fauna, irrigação, produção de bens e consumos, geração de energia elétrica, navegação, harmonia paisagística e diluição e transporte de despejos.

No Brasil, a Lei nº 9433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, fundamenta-se no princípio de que a água é um bem natural limitado, dotada de valor econômico e que assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos é um dos seus objetivos.

Segundo a Conjuntura de Recursos Hídricos de 2017, da ANA, os principais usos da água no Brasil são para o abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo, lazer e irrigação. A demanda por uso de água no Brasil é crescente, observando um aumento de 80% no total retirado nos últimos 20 anos. Acredita-se que a previsão, segundo a ANA, é de que, até 2030, esta retirada aumente 30%.

Observa-se que a irrigação realiza grandes retiradas de água anualmente, representando a maior porcentagem, assim como é responsável pelo maior consumo (m<sup>3</sup>/s), como demonstrado na figura 1, sendo necessário o adequado manejo dos recursos hídricos vinculados a essa atividade econômica. A água retirada não retorna diretamente aos corpos hídricos, havendo perdas durante o consumo. Salienta-se também que é retirada maior quantidade de água do que a necessária, levando aos desperdícios e problemas com escassez hídrica para outros usos.

Figura 1 - Água retirada e consumida no Brasil



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (2017)

Nesse contexto de uso e manejo adequado de recursos hídricos, tratamento e disposição final dos efluentes gerados pelos setores da economia, propõe-se uma análise do esgotamento sanitário federal e estadual, a fim de compreender o quadro atual do país e do estado de Minas Gerais.

### **3.2 Saneamento básico e saneamento ambiental**

Observam-se semelhanças no que tange o conceito de saneamento básico e saneamento ambiental. A Lei de 11445, de janeiro de 2007 estabelece que o saneamento básico é um conjunto de infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e drenagem. E, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), corresponde às medidas que visam a modificação das condições do meio ambiente que pretendem promover a saúde e prevenir as doenças.

Essa definição é citada por Telles e Costa (2007) que também define saneamento ambiental: conjunto de ações capazes de alcançar a salubridade ambiental. Esta deve ser atingida por meio da coleta e disposição resíduos sólidos, líquidos e gasosos, abastecimento de água potável, disciplinamento quanto ao uso de solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras com o intuito de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural, como o esgotamento sanitário (TELLES; COSTA, 2007).

Dessa forma, os conceitos interligam-se na medida que para alcançar o bem-estar e a saúde social é necessária a promoção de ações que interfiram no meio ambiente e são concomitantemente interferidas por ele.

### **3.3 Esgotamento sanitário no Brasil**

A interação entre a gestão dos recursos hídricos e saneamento não é eficiente com a garantia de abastecimento de água em abundância. Para o manejo adequado das águas, componentes de saneamento como o controle da poluição hídrica por meio do esgotamento sanitário devem ser considerados também. Observa-se que o déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos hídricos, causando impactos nos usos diversos da água (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017a).

Segundo a Agência Nacional das Águas (2017a) são geradas 9,1 mil toneladas de esgoto por dia, e destes, 2,4 são despejados a céu aberto. Observa-se que 43% da população é atendida por sistema coletivo (rede coletora e estação de tratamento de esgotos), 12% é atendida por solução individual (fossa séptica), 18%

da população se enquadra na situação em que o esgoto é coletado, mas não é tratado e 27% é desprovida de atendimento.

Ressalta-se que mesmo um atendimento de 55% da população brasileira de esgotamento sanitário, apenas 39% da carga orgânica gerada no país é removida, ocasionando ainda o lançamento de 5,5 mil toneladas DBO/dia nos corpos receptores.

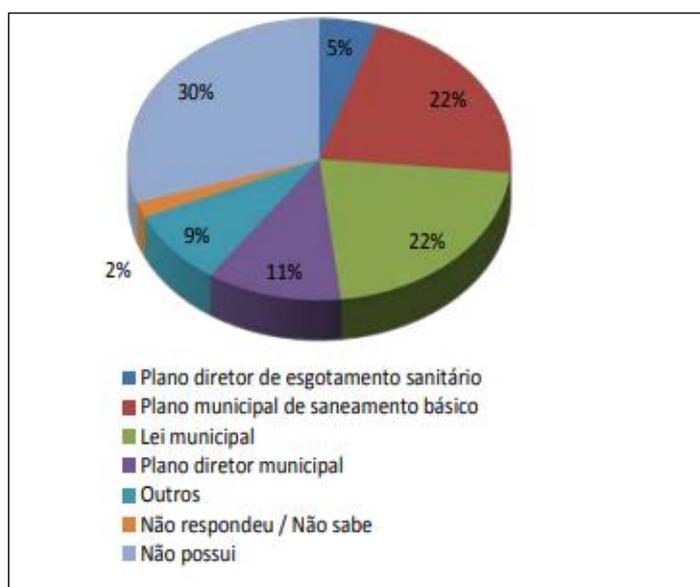
O índice de coleta de esgoto brasileiro ainda não é satisfatório, mas para que as ações de coleta e tratamento surtam o efeito pretendido deve-se realizar o aporte financeiro em infraestrutura com competências institucionais, considerando as particularidades de assimilação e diluição dos efluentes nos corpos receptores (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017a).

### **3.4 Esgotamento sanitário em Minas Gerais**

Segundo a Fundação João Pinheiro (2014), 70% do estado mineiro é compreendido por instrumentos reguladores de esgotamento sanitário, com plano diretor, plano municipal, lei municipal e plano diretor municipal. A figura 2 demonstra a existência e os tipos nos municípios de Minas Gerais, apontando ainda para um percentual de 30% sem nenhum destes instrumentos. Verificou-se no mesmo estudo, que a maior parte dos municípios em análise receberam quantidade significativa de esgoto nos córregos, riachos e rios e baixas foram as porcentagens de nenhum lançamento em corpos d'água. Enfatiza-se, portanto, a importância da atuação desses instrumentos reguladores e fiscalizadores nos municípios, mitigando o lançamento de efluentes que alteram a qualidade do corpo hídrico receptor.

Minas Gerais é o segundo estado da região Sudeste com maior parcela da população atendida, abaixo de São Paulo. Verifica-se que 86% do esgoto é coletado e 44% é tratado. No entanto, o estado enfrenta uma situação crítica por possuir um dos maiores números de municípios com contingente populacional próximo a corpos hídricos com capacidade de diluição ruim ou péssima (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017A).

Figura 2- Instrumentos reguladores do esgotamento sanitário, nos municípios em Minas Gerais, no ano de 2014



Fonte: Fundação João Pinheiro (2014)

### 3.5 Esgotamento Sanitário em Felixlândia

Conforme o PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017), o sistema de esgotamento sanitário atual do município é precário, atendendo apenas a área urbana da sede municipal com rede coletora que afasta o esgoto.

Não há em Felixlândia tratamento dos efluentes gerados, sendo estes encaminhados para uma lagoa de dejetos, criada em 1964, na tentativa de mitigar os impactos ambientais negativos ocasionados pela geração do esgoto. Na zona rural, a principal infraestrutura utilizada para o lançamento dos efluentes é a fossa negra, e algumas residências fazem uso das fossas sépticas. Assim, o sistema atual possui alguns pontos de lançamento de esgoto doméstico, que podem ser localizados (tabela 1), e que vistos como infraestruturas indesejadas e precárias (UFMG, 2018).

Tabela 1-Pontos de lançamento de esgoto doméstico no município de Felixlândia

Ponto de Lançamento	Local	Latitude	Longitude
P1	Lagoa de descarte de efluentes	18°45'40.89"S	44°54'6.76"O
P2	Poço de descarte de esgoto	18°46'16.33"S	44°54'50.49"O
P3	Fossas das casas populares	18°45'58.05"S	44°54'40.18"O
P4	Fossas do bairro Gameleira	18°45'41.38"S	44°53'33.02"O
P5	Fossa do bairro Buritis	18°45'23.20"S	44°54'34.25"O

Fonte: PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017)

A lagoa (figura 3) está inserida na área urbana central de Felixlândia, com uma população de aproximadamente 14 mil habitantes. Localiza-se na cabeceira de drenagem de um curso d'água afluente da margem direita do Córrego do Bagre, não constitui uma alternativa eficaz e sustentável, tendo em vista que o córrego deságua na represa de Três Marias e o efluente é lançado in natura na represa, indevidamente, sem que haja um sistema de tratamento na lagoa (UFMG, 2018).

Figura 3 - Lagoa de dejetos do município de Felixlândia, em Minas Gerais



Fonte: PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017)

Salienta-se que a falta de cadastramento da rede de esgoto impossibilita estimar se a capacidade do sistema atual (lagoa de dejetos) comporta a quantidade

de esgoto sanitário gerado. Ademais, verifica-se que a prefeitura não faz orçamento específico para atender as demandas da zona rural, sendo as despesas subsidiadas pelos usuários (PRO BRAS EMPREENDIMENTOS SUSTENTÁVEIS, 2017).

Desta forma, o município de Felixlândia não dispõe de sistema de tratamento dos esgotos coletados e estes são afastados da sede municipal. Segundo informações do Plano Municipal, está em processo licitatório o projeto da construção de uma Estação de Tratamento de Esgoto.

### **3.6 Caracterização dos efluentes**

O esgoto sanitário define-se como o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, assim como água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986). Assim, os efluentes industriais compreendem os resíduos orgânicos de indústria de alimentos, matadouros e outras com predominância da agroindústria, as águas residuárias procedentes de indústrias de cerâmicas e outros setores da indústria. Sua composição pode variar de orgânica a mineral, sendo mais rica em sólidos dissolvidos minerais do que efluente doméstico (FUNASA, 2015).

Tendo em vista a relevância do efluente doméstico para esse estudo, dar-se maior destaque a este. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986), os efluentes domésticos correspondem ao despejo líquido resultante da água pra higiene e necessidades fisiológicas humanas.

A sua composição é essencialmente orgânica, contendo a matéria originada por dejetos humanos no esgotamento de peças sanitárias e as águas servidas provenientes das atividades domésticas. Podem ser divididos em águas negras, na qual a parcela provém das instalações sanitárias contendo urina e fezes; e águas cinzas, parcela proveniente de lavagens, banhos e outros usos domésticos (FUNASA, 2015).

É crucial a destinação adequada do esgoto para a saúde pública, com o controle e a prevenção de doenças relacionadas, evitando a poluição do solo e a degradação dos mananciais de abastecimento de água e o contato de vetores com as fezes, a fim de melhorar as condições sanitárias locais e reduzir possíveis gastos públicos com imunização e/ou erradicação de doenças (FUNASA, 2015).

### **3.7 Parâmetros para caracterização dos efluentes domésticos**

O esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água. Verifica-se que na fração restante inclui sólidos inorgânicos e orgânicos, suspensos e dissolvidos, assim como microrganismos. Devido a essa fração de 0,01% é imprescindível o tratamento do esgoto (SPERLING, 2014).

O uso à qual a água é submetida indica as características do efluente doméstico, que podem variar com o clima, situação social e econômica e hábitos sociais. Para traduzir o caráter ou potencial poluidor do despejo em questão, são utilizados parâmetros físicos, químicos e biológicos que definem a qualidade do esgoto (SPERLING, 2014).

#### **3.7.1 Características físicas**

##### **a) Temperatura**

Como preconizado por Sperling (2014), a temperatura é um parâmetro que indica a intensidade de calor do esgoto. Ela apresenta-se ligeiramente superior em efluentes domésticos se comparada com a água de abastecimento. Sabe-se também que a velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura (FUNASA, 2015).

##### **b) Odor**

Os odores são causados por gases formados no processo de decomposição (FUNASA, 2015). Assim, o esgoto fresco apresenta um odor oleoso, relativamente desagradável, enquanto o esgoto séptico configura-se como fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e outros produtos decompositores (SPERLING, 2014).

##### **c) Cor e turbidez**

A cor do esgoto doméstico assim como a turbidez indica de imediato o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade cinza é típica do esgoto fresco e tons de cinza escuros ou preto são comumente vistos no esgoto séptico (FUNASA, 2015).

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz por meio da água e é ocasionada pela presença de sólidos em suspensão, constituinte

responsável por esse parâmetro. Observa-se que esgotos mais frescos e ou mais concentrados geralmente apresentam maior turbidez (FUNASA, 2015).

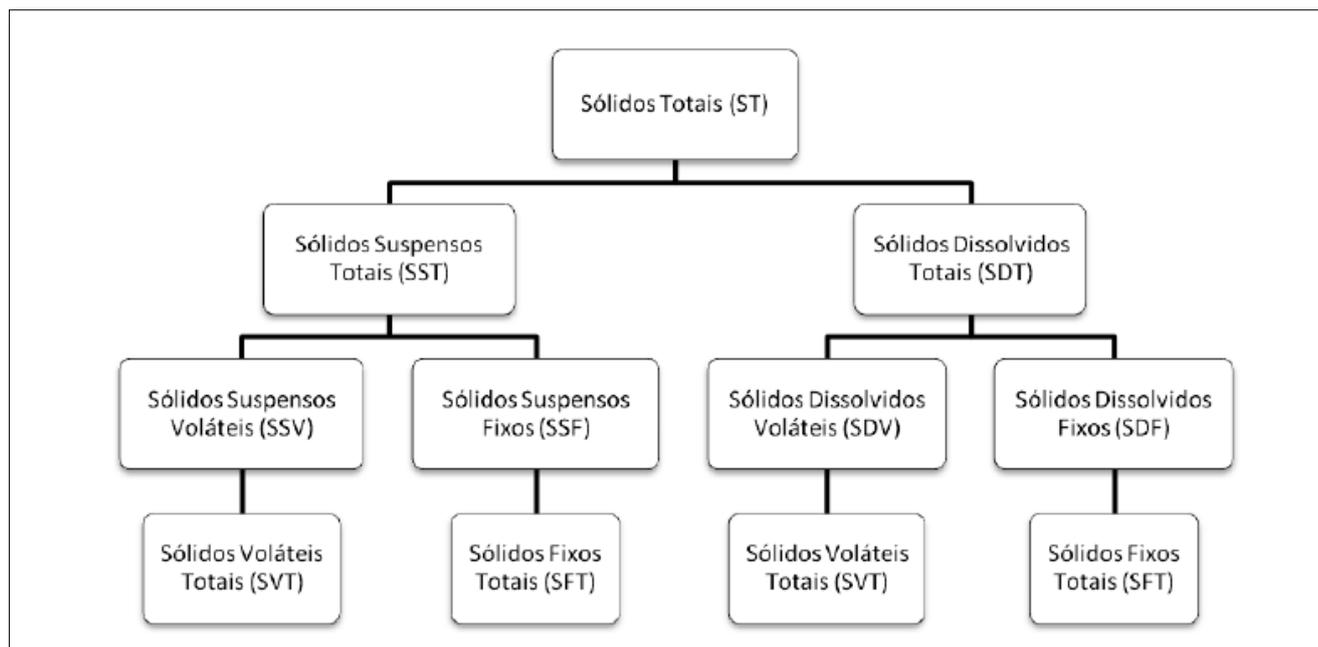
#### d) Sólidos

Considera-se uma fração de 0,01% de sólidos totais no esgoto doméstico, subdivididos em sólidos suspensos, dissolvidos e sedimentáveis.

Os sólidos em suspensão correspondem à fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel com aberturas de dimensões de 0,45  $\mu\text{m}$ , podendo ser fixos (componentes minerais, inertes) ou voláteis (componentes orgânicos dos sólidos em suspensão). Observa-se a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2  $\mu\text{m}$ . Os sólidos dissolvidos são as frações dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos nos filtros de papel, caso tenham diâmetro inferior a 1,2 $\mu\text{m}$  e englobam os sólidos coloidais. Estes sólidos podem ter componentes minerais e por isso serem fixos ou constituírem-se de sólidos orgânicos, portanto, voláteis (SPERLING, 2014). A figura 4 apresenta o balanço de sólidos totais presentes em efluentes domésticos, conforme explanação realizada.

Para efeito de controle da operação da sedimentação, a matéria sólida costuma ser classificada em sedimentável e não sedimentável. Os sólidos sedimentáveis são as frações dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhof, em um recipiente apropriado de 1 litro. A matéria não sedimentável é finamente dividida e não sedimenta no tempo arbitrário de 2 horas. Só é removida em termos práticos por processos de oxidação biológica e de coagulação seguida de sedimentação (JORDÃO; PESSOA, 2017).

Figura 4-Balanço de sólidos



Fonte: Ciesielski (2011)

### 3.7.2 Características químicas

#### a) Potencial hidrogeniônico – pH

É um indicador das características ácidas e básicas do esgoto. Percebe-se que em processos de oxidação biológica o pH tende a se reduzir. Este parâmetro é utilizado no controle da operação de estações de tratamento de esgotos (digestão anaeróbia) (JORDÃO; PESSOA, 2017).

#### b) Fósforo e Nitrogênio total

O nitrogênio é um nutriente indispensável para o crescimento de microrganismos no tratamento biológico, assim como o fósforo. Todavia, quando em elevadas concentrações esses nutrientes podem conduzir a um crescimento exagerado de microrganismos, ocasionando a eutrofização (LIBÂNIO, 2017).

Em efluentes domésticos, o nitrogênio se apresenta na forma de nitrogênio orgânico, amônia e nitrato ou gás nitrogênio, enquanto o fósforo se apresenta na forma orgânica, combinado à matéria orgânica e inorgânica, como ortofosfato e polifosfatos (LIBÂNIO, 2017).

### c) Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é importante para os organismos aeróbios, inclusive para os seres aquáticos e configura-se como o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Pode ser encontrado na dissolução do oxigênio atmosférico ou na produção pelos organismos fotossintéticos. Em sua origem antropogênica é introduzido por aeração artificial ou produzido por organismos fotossintéticos em corpos d'água eutrofizados (SPERLING, 2014).

É um parâmetro para determinação da qualidade dos cursos de água e é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processo de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos (FUNASA, 2015).

A concentração de oxigênio dissolvido está intimamente ligada à presença de matéria orgânica nos corpos d'água. É uma das causas mais preocupantes da poluição das águas, devido o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Nesse contexto existe a medição do consumo de oxigênio por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a medição do Carbono Orgânico pelo Carbono Orgânico Total (COT) (SPERLING, 2014).

### d) Demanda bioquímica de oxigênio – DBO5

Esse parâmetro associa-se à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceas. É uma medida do oxigênio consumido após 5 dias por microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica (SPERLING, 2014). A DBO indica a intensidade do consumo de oxigênio (em  $\text{mgL}^{-1}$ ) necessário às bactérias na estabilização da matéria orgânica carbonácea (LIBÂNIO, 2017).

### e) Demanda Química de Oxigênio – DQO

Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea, por meio de fortes agentes oxidantes (SPERLING, 2014). Ou seja, corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável pelo permanganato ou dicromato de potássio em solução ácida (JORDÃO; PESSOA, 2017). Assim, a DBO e a DQO representam, de forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou em

corpos hídricos, sendo um indicador do potencial do consumo de oxigênio dissolvido (SPERLING, 2014).

f) Óleos e graxas – OG

Óleos e graxas representam a fração da matéria orgânica solúvel em hexanos e em esgotos domésticos, as fontes são óleos e gorduras utilizadas nas comidas (SPERLING, 2014).

Segundo Ciesielski (2011), altas concentrações de óleos e graxas nos efluentes liberados em corpos hídricos refletem em uma baixa eficiência nos sistemas de tratamento empregados.

### 3.7.3 Características biológicas

Os microrganismos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente para a transformação da matéria nos ciclos biogeoquímicos. Esses organismos são responsáveis pelas reações de conversão da matéria orgânica e inorgânica no tratamento biológico dos esgotos. Nos esgotos são encontrados microrganismos saprófitas, comensais, simbiontes e parasitas (patogênicos) e os principais grupos de interesse para a saúde pública são as bactérias, vírus, protozoários e helmintos (SPERLING, 2014).

Ademais, a origem dos agentes patogênicos nos esgotos, como preconizado por Sperling (2014), é em sua maioria humana, mas podem ser de procedência animal, cujos desejos são eliminados na rede de esgoto. Destacam-se os organismos indicadores de poluição fecal, que possuem potencialidade para transmitir doenças. Entre os organismos usualmente investigados aceitos como bons indicadores relaciona-se os coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia Coli*, *Streptococos fecais*, *Enterococos fecais* (JORDÃO; PESSOA, 2017).

## **3.8 Legislação aplicada para tratamento de efluentes e lançamento em corpos hídricos**

Sabe-se da importância em conhecer os padrões de lançamento de efluentes com enfoque nas suas especificidades. Esta relevância, no Brasil, se deve a necessidade em melhorar, preservar e recuperar a qualidade ambiental, por meio do

ar, do solo e dos recursos hídricos, como instituído pela Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente.

Em conjuntura com a Política Nacional de Meio Ambiente, o sistema de licenciamento ambiental dos empreendimentos e a aprovação da lei por crimes ambientais incitou às empresas a investirem em sistema de tratamentos de efluentes (CIESIELSKI, 2011).

Observa-se, portanto, que a legislação é a primeira condicionante para um projeto de estação de tratamento de tratamento de efluentes (GIORDANO, 2005).

### 3.8.1 Legislação Federal

Corroborando ao que foi mencionado anteriormente, a Lei que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente busca um por um meio ecologicamente equilibrado, essencial a sadia qualidade de vida e de direito de todos. Nesse aspecto, reveste-se de importância o cumprimento dos padrões de lançamento no corpo receptor para a efetiva redução de impactos ambientais negativos associados à má gestão dos corpos hídricos e o lançamento do esgoto sem tratamento adequado.

Outra Lei Federal fundamental é a Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, e por isso, há a necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental, por meio de outorga de direito de uso, cobrança pelo uso, enquadramento dos corpos hídricos, entre outros instrumentos. Observa-se nesse contexto de tratamento de efluentes, que está sujeita a outorga pelo Poder Público o lançamento em corpo d'água de esgotos e outros resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o objetivo de sua diluição, transporte ou destinação final.

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes em corpos receptores complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente. É estabelecido que a disposição de efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados nas águas mediante tratamento e que obedeçam às exigências, apresentadas na tabela a seguir (tabela 2). Ressalta-se que a resolução 430 apresenta condições para lançamento em corpos receptores em geral, sem

especificações para uma classe especial. No entanto, faz-se ressalva à classe especial, em que é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos.

Tabela 2 - Condições para lançamento de efluentes

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor máximo</b>
pH	entre 5 e 9
*Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	1mL L <sup>-1</sup>
**DBO5, 20°C	120 mg L <sup>-1</sup>
**Regime de Lançamento (vazão máxima)	1,5
Óleos minerais	20 mg L <sup>-1</sup>
Óleos vegetais	50 mg L <sup>-1</sup>

\* A variação de temperatura não pode exceder a 3°C no limite da zona de mistura.

\*\*DBO para sistemas de tratamento de esgotos sanitários

\*\*\* 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor.

Fonte: Adaptado CONAMA 430/11

A CONAMA 357/05 classifica os corpos hídricos para seu enquadramento. Assim, existem cinco classificações: especial, classe 1, classe 2, classe 3, classe 4; e estas na ordem em que se apresentam possuem em ordem crescente menor exigência para uso.

Nesse contexto também, a Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007 estabelece diretrizes a nível nacional para saneamento básico e inclui o esgotamento sanitário como um dos serviços a serem prestados a sociedade. Segundo o parágrafo as autoridades ambientais competentes são responsáveis por estabelecer metas progressivas para que as unidades de tratamento de esgotamento sanitário atendam aos padrões das classes dos corpos hídricos.

### 3.8.2 Legislação Estadual

Os estados brasileiros possuem legislações ambientais específicas. Dessa forma, o estado de Minas Gerais dispõe da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1, de 5 de maio de 2008, que estabelece os padrões de

lançamento de efluentes de acordo com a classificação do corpo receptor. A seguir, destacam-se os parâmetros para lançamento de efluentes em Minas Gerais, sem especificação da classe de enquadramento do corpo receptor (Tabela 3).

Tabela 3-Condição para lançamento de efluentes em Minas Gerais

<b>Parâmetros</b>	<b>Limite e condições</b>
pH	Entre 6 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Sólidos Sedimentáveis	Até 1ml L <sup>-1</sup> ou ausência em lagos e lagoas
Óleos minerais	Até 20 mg L <sup>-1</sup>
Óleos vegetais e gordura animal	Até 50 mg L <sup>-1</sup>
DBO5	60 mg L <sup>-1</sup> ou redução mínima de 85%
DQO	180 mg L <sup>-1</sup> ou redução mínima de 75%
Sólidos em suspensão	Concentração máxima diária: 100 mg L <sup>-1</sup> Concentração média arit. Mensal: 60 mg L <sup>-1</sup>
Detergente	2,0 mg L <sup>-1</sup>
Materiais flutuantes	Ausência

Fonte: Adaptado COPAM/CERH nº 1, de 5 de maio de 2008.

### 3.9 Níveis de tratamento de esgotos

Em função da eficiência das unidades, o tratamento de esgotos é classificado por meio dos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar tem por objetivo a remoção de sólidos grosseiros e o tratamento primário visa a sedimentação e consequente remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica (JORDÃO; PESSOA, 2017). Conforme Sperling (2014), nestes há predomínio de mecanismos físicos de remoção de poluentes. O tratamento secundário tem como finalidade a remoção de matéria orgânica e parte dos nutrientes, como fósforo e nitrogênio, através de mecanismos biológicos. Ademais, utiliza-se o tratamento terciário para remoção de poluentes tóxicos, compostos não biodegradáveis, e, portanto, não removidos no tratamento secundário. A tabela 4 demonstra os níveis de tratamento com o respectivo poluente a ser removido.

Tabela 4- Níveis de tratamento de esgotos

<b>Nível</b>	<b>Remoção</b>
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis DBO em suspensão
Secundário	DBO em suspensão DBO em suspensão finamente particulada DBO solúvel
Terciário	Nutrientes Organismos patogênicos Compostos não biodegradáveis Metais pesados Sólidos

Fonte: Adaptado Sperling (2014)

Ressalta-se que o tratamento preliminar deve existir em todas as estações de tratamento de esgotos sanitários, seja ela de nível primário, secundário ou terciário. E, além disso, a remoção de patógenos e nutrientes nas estações pode ser considerada integrante do tratamento secundário ou terciário, dependendo do processo adotado (SPERLING, 2014).

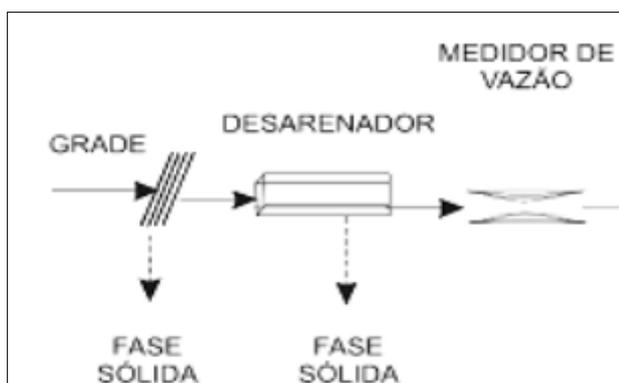
### 3.9.1 Tratamento Preliminar

Como mencionado anteriormente, este nível preocupa-se com a remoção de areia e sólidos grosseiros. Segundo a ABNT NBR 12209/2011, o tratamento preliminar configura-se como um conjunto de operações e processos unitários que objetivam a remoção de sólidos grosseiros, areia e matéria oleosa, acontecendo na parte inicial do tratamento.

Os sólidos grosseiros são removidos para garantir a proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (tubulações e bombas) e das unidades posteriores. Assim, as grades são os dispositivos utilizados nesse processo, que podem ser limpas manualmente ou de forma mecanizada. A remoção da areia também é necessária para evitar a abrasão nos equipamentos, evitar a obstrução de tubulações e facilitar o transporte do líquido e é realizada através dos

desarenadores. Este processo completo é composto, portanto, de grade, desarenador e medidor de vazão (figura 5), compondo um fluxograma típico do tratamento preliminar (SPERLING, 2014).

Figura 5 – Tratamento preliminar

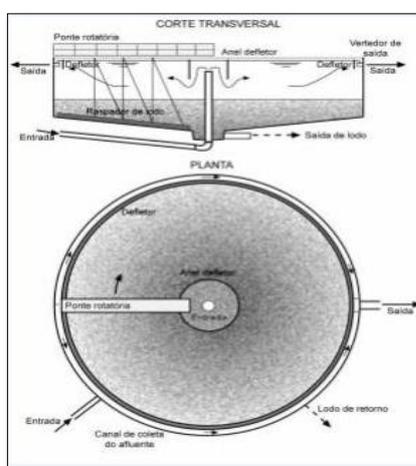


Fonte: Sperling (2014)

### 3.9.2 Tratamento Primário

O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos flutuantes e em suspensão sedimentáveis. Para este tratamento, empregam-se as unidades de sedimentação ou tanques de decantação. Os tanques podem ser retangulares ou circulares (figura 6) e serão responsáveis pela sedimentação gradativa dos sólidos em suspensão, formando o lodo primário bruto (SPERLING, 2014).

Figura 6- Decantador circular



Fonte: Sperling (2014)

Estas unidades são empregadas na etapa biológica de processos de tratamento, pois uma parte destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. No entanto, com a tendência de utilização de reatores anaeróbios, os decantadores primários estão sendo substituídos. Verifica-se que um decantador primário possui uma remoção de DBO em torno de 25 a 35%, enquanto os reatores possibilitam uma redução em torno de 70% (SPERLING, 2014).

### 3.9.3 Tratamento Secundário

O tratamento secundário tem como objetivo a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão e inclui as unidades de tratamento preliminar, mas pode ou não incluir as unidades de tratamento primário (ABNT, 2011). São observados diferentes métodos de tratamento secundário, dentre eles os reatores aeróbios com biofilmes, os sistemas alagados construídos, as lagoas de estabilização, os reatores anaeróbios e os processos de disposição sobre o solo.

### 3.9.4 Tratamento Terciário

Sabe-se que a remoção de fósforo e nitrogênio é um dos objetivos do tratamento de esgotos, mesmo não havendo consenso se é considerado um nível terciário. No entanto, para utilização do efluente tratado para a irrigação, preservar estes nutrientes em concentrações desejáveis pode ser viável (SPERLING, 2014).

E, para a devida remoção de organismos patogênicos podem ser empregadas técnicas naturais, como as lagoas de maturação e polimento e infiltração no solo, e as técnicas artificiais: cloração, ozonização, radiação ultravioleta e membranas.

As lagoas de maturação têm como objetivo a remoção de patógenos e possuem ótima eficiência para remoção de coliformes e razoável eficiência para remoção de nutrientes. Predominam condições ambientais adversas para bactérias patogênicas, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD e falta de nutrientes. Ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar (SPERLING, 2017).

Como preconizado por Jordão e Pessoa (2017), as lagoas de maturação são lagoas de estabilização que almejam a melhoria da qualidade do efluente

anteriormente tratado, pela redução de organismos patogênicos, particularmente coliformes fecais. São usadas ao final de um sistema clássico de estabilização. A tabela 5 mostra a redução de organismos patogênicos (em porcentagem), nos processos de tratamento, enfatizando maiores eficiências em sistemas que utilizam lagoas em série ou UASB mais polimento.

Tabela 5- Porcentagem de redução de organismos patogênicos nos processos de tratamento

<b>Parâmetro</b>	<b>Sedimentação</b>	<b>Filtro Biológico</b>	<b>Lodos ativados</b>	<b>UASB + Polimento</b>	<b>3 lagoas em série</b>
Vírus entéricos	0-30	90-95	90-99	99-99,99	99,9-99,99
Bactérias	50-90	90-95	90-99	99,9-99,9999	99,9-99,9999
Protozoários	10-50	50-90	50	100	100
Helmintos	30-90	50-95	50-99	100	100

Fonte: Jordão e Pessoa (2017)

### 3.9.5 Sistemas de tratamento secundários para esgotos domésticos

Dentre os sistemas anaeróbios, encontra-se o reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (reator RAFA ou reator UASB). Neste mecanismo, a biomassa cresce dispersa no meio, e não aderida a um meio suporte, como em filtros biológicos ou anaeróbios. A biomassa, ao crescer, forma grânulos resultantes das espécies microbianas (SPERLING, 2014).

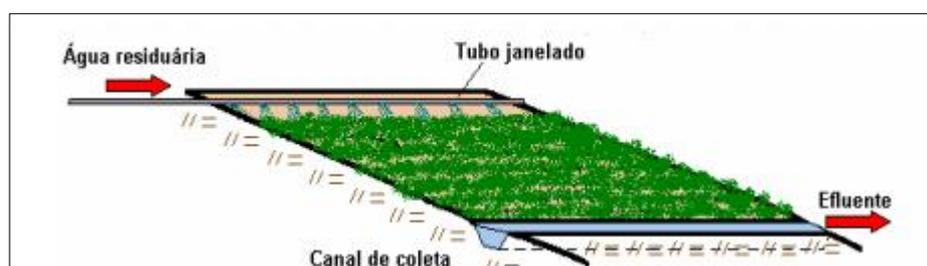
É uma técnica com eficiente remoção de DBO e baixo requerimento de área e lodo com desidratabilidade bom. No entanto, tem baixa eficiência para remoção de coliformes, nitrogênio e fósforo e necessita de pós-tratamento. Destacam-se também os reatores aeróbios com biofilmes, que podem ser utilizados como pós-tratamento do efluente no reator anaeróbio. Ademais, faz-se menção aos lodos ativados e variante e sistemas alagados construídos (SPERLING, 2014).

Outro sistema de tratamento de esgotos é a disposição no solo, subdividida em infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração subsuperficial e o escoamento superficial. Na infiltração lenta (irrigação) maximiza-se a quantidade de esgoto aplicado por unidade de área, enquanto na infiltração rápida (percolação) ocorre a percolação das águas residuárias, por meio de tabuleiros rasos e sem revestimento, onde seu caminho é vertical e descendente. Já em sistemas de infiltração subsuperficial o esgoto pré-tratado é aplicado abaixo do nível do solo.

Por fim, há a aplicação com escoamento superficial. Esta técnica de disposição gera um efluente final superficial e refere-se à aplicação, controlada, da descarga de águas residuárias, fazendo-as, escoarem, no solo, rampa abaixo, alcançando os canais de coleta. Para utilizar esse mecanismo recomenda-se um solo com declividade entre 2 a 8% (SPERLING, 2014).

Neste método, a água residuária é lançada na parte superior de uma rampa inclinada e vegetada, e recolhida na parte inferior, como a figura 7:

Figura 7: Tratamento de águas residuárias por escoamento sobre o solo



Fonte: Matos e Matos (2017)

Os mecanismos de depuração da água residuária são a oxidação biológica, sedimentação, filtração, absorção de nutrientes e adsorção. Ademais, em vista da alta rugosidade da superfície nas rampas de escoamento, a remoção mais intensa dos sólidos que são sedimentáveis ocorre no início das rampas e independe da declividade e das taxas aplicadas. Tem sido verificado que nos primeiros 8 m de comprimento de rampa, a menor taxa de aplicação proporciona a maior taxa de remoção de nutrientes, estando associado ao tempo de detenção hidráulico. (MATOS; MATOS, 2017). Segundo estes autores, no tratamento de esgoto doméstico bruto, Coraucci (1991) encontrou praticamente toda a remoção de DQO nos primeiros 20 m de rampa.

Segundo Matos (2003), o método de tratamento por escoamento superficial tem boa aceitação, tendo em vista o custo reduzido de implantação, operação e manutenção e boa eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio, nitrogênio (N), fósforo (P) e sólidos suspensos (SS).

Um sistema composto por UASB + escoamento superficial tem eficiência de remoção de  $DBO_5$  de 77 a 90%, DQO de 70 a 85%, Amônia 35 a 65%, Nitrogênio

menor que 65%, Fósforo menor que 35% e Coliformes, em Unidade Logarítmica, entre 2 e 3 (SPERLING, 2014).

### 3.10 Águas residuárias

Segundo a Resolução nº 54, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática do reuso direto não potável de água, a água de reuso ou água residuária é definida como “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias e agropecuária, tratados ou não”. Ademais, estabelece água de reuso como a água residuária que atende aos padrões exigidos para o fim ao qual se submeterá e caracteriza o reuso direto de água como um “uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos”.

Nesse contexto, o reuso direto não potável pode abranger cinco fins:

I - reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reuso na aqüicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Para utilização das águas residuárias com fins agrícolas, como proposto na modalidade II, é necessário manter a qualidade dos seus aspectos físico-químicos e microbiológicos, principalmente quando esta atividade for responsável pela produção de culturas que serão ingeridas cruas (DAMASCENO, 2008). É imprescindível, portanto, um tratamento, capaz de assegurar a segurança ambiental e eliminar microrganismos patogênicos e tóxicos, comumente presentes nos resíduos domésticos e rurais.

A contaminação de equipamentos, corpos hídricos, alimentos e também de humanos é indesejável, tendo em vista os riscos ambientais e de saúde a que

estarão submetidos. Sugere-se o uso de tratamento preliminar, primário, secundário e principalmente terciário, por ter maior nível de qualidade para remoção de patógenos (DAMASCENO, 2008). A tabela 6 apresenta as Recomendações da Organização da Saúde para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto. Verifica-se por meio desta que para pastagens é sugerido um limite de  $10^4 - 10^5$  CTer  $100 \text{ mL}^{-1}$ , e quantidade menor ou igual a um ovo de helminto em um litro de água residuária a ser utilizada, utilizando lagoas de estabilização.

Tabela 6 – Diretrizes da OMS para uso agrícola de esgotos sanitários (1989 – 2005)

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de Irrigação e cultura</b>	<b>Helmintos (ovos <math>\text{L}^{-1}</math>) <sup>(1)</sup></b>	<b>Coliformes termotolerantes (<math>\text{org } 100 \text{ mL}^{-1}</math>) <sup>(2)</sup></b>	<b>Processo de tratamento</b>
A	Culturas a serem consumidas cruas	$\leq 1$	$\leq 1.000$	Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patogênicos
B	Culturas processadas, cereais, forragens, pastagens, árvores <sup>(3)</sup>	$\leq 1$	SR <sup>(4)</sup>	Lagoas de estabilização com 8 – 10 dias de tempo de detenção ou remoção equivalente de helmintos e coliformes termotolerantes

- (1) Nematóides intestinais humanos: Ascaris, Trichus, Necator e Ancylostoma; média aritmética durante período de irrigação. (2) Média Geométrica durante o período de irrigação. (3) No caso de árvores frutífera, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão; irrigação por aspersão não deve ser empregada. (4) SR: sem recomendação; em revisão posterior sugeriu-se  $10^4 - 10^5$  CTer  $100 \text{ mL}^{-1}$ . (5) Não se aplica

Fonte: WHO (1989)

Tabela 6 – Diretrizes da OMS para uso agrícola de esgotos sanitários (1989 – 2005)

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de Irrigação e cultura</b>	<b>Helmintos (ovos L<sup>-1</sup>) (1)</b>	<b>Coliformes termotolerantes (org 100 mL<sup>-1</sup>) (2)</b>	<b>Processo de tratamento</b>
C	Irrigação localizada e plantas da categoria B na ausência de riscos par aos agricultores e público em geral	NA (5)	NA (5)	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária

1) Nematóides intestinais humanos: Ascaris, Trichus, Necator e Ancylostoma; média aritmética durante período de irrigação. (2) Média Geométrica durante o período de irrigação. (3) No caso de árvores frutífera, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão; irrigação por aspersão não deve ser empregada. (4) SR: sem recomendação; em revisão posterior sugeria-se 10<sup>4</sup> – 10<sup>5</sup> CTer 100 mL<sup>-1</sup>. (5) Não se aplica

Fonte: WHO (1989)

### 3.11 Fertirrigação

A fertirrigação corresponde a um sistema de infiltração lenta uma vez que se configura como um sistema de irrigação de culturas com o objetivo de fornecer águas residuárias ao solo, em quantidades que sejam compatíveis com a demanda por nutrientes de determinada cultura (SPERLING, 2014).

Sobre perspectivas distintas, Matos e Matos (2017) contrapõe ao conceito de fertirrigação mencionado anteriormente, na medida em que para esta literatura, a técnica diferencia-se da irrigação ou infiltração, pois o referencial para taxas de aplicação deixa de ser a lâmina e passa a ser a capacidade do solo e das culturas em assimilar o resíduo aplicado, sem comprometer a qualidade do solo ou contaminar águas superficiais e subterrâneas.

Entende-se que a aplicação das águas residuárias deve ser feita no período de desenvolvimento da cultura, no qual os nutrientes são requeridos em maior

quantidade. Indica-se também que a aplicação seja feita em períodos de estiagem, minimizando riscos de escoamento superficial e de percolação profunda (MATOS; MATOS, 2017). Ademais, é fundamental na definição da dose considerar o nutriente ou o poluente em que a quantidade seja satisfeita pela menor dose da água residuária aplicada (MATOS; MATOS, 2017).

Matos e Matos (2017) ainda ressaltam que não existe hoje, um padrão internacional que regulamente a aplicação de efluentes no solo e por isso cada país possui suas recomendações, quando existem. Na falta da legislação nacional sobre o assunto, usa-se as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

### 3.11.1 Aspectos sanitários

Avaliando os aspectos sanitários da técnica, é importante salientar que o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos no solo pode variar de dias e meses, dependendo da temperatura, conteúdo da água do solo e tipo, assim como do tipo de microrganismo.

As doenças comumente transmitidas por microrganismos patogênicos aos seres humanos são disenteria bacilar, cólera, viroses, leptospirose, esquistossomose. São apresentadas na tabela 7 a sobrevivência de patógenos e coliformes em produtos agrícolas e forrageiros

Tabela 7– Sobrevivência de patógenos e coliformes em produtos agrícolas e forrageiros

<b>Organismos</b>	<b>Produtos agrícolas forrageiros</b>	<b>Tempo de sobrevivência</b>
“Salmonella”	FORAGEM Raízes de plantas Folhas de vegetais Produtos de pomares	12 - 42 dias 10 - 53 dias 1 - 40 dias 18 h - 2 dias
“Shigella”	FORAGEM Folhas de vegetais Produtos de pomares	2 dias 7 dias 6 dias
“Enterovirus”	Raízes de plantas Folhas de vegetais	15-60 dias 15 - 60 dias
“Ascaris” (ovos)	Folhas de vegetais	27-35 dias
“Entamoebahistolytica”	Folhas de vegetais	2-3 dias
Coliformes totais	Folhas de vegetais	12- 34 dias

Fonte: Matos e Matos (2017)

Para a Organização Mundial da Saúde o tratamento primário das águas residuárias domésticas é suficiente para fertirrigação sem consumo direto, no entanto, o tratamento secundário em adição a desinfecção e filtração são vistos como essenciais nas culturas de consumo direto. Evidencia-se, no entanto, que, um alto grau de tratamento da água residuária, piora a qualidade em termos de aproveitamento agrícola, deixando de ser um fertilizante líquido equilibrado para ser desequilibrado quimicamente. (MATOS; MATOS, 2017). Deve-se pensar, portanto, em um sistema de tratamento do efluente doméstico que tenha eficiente remoção de patógenos e permita que a água residuária esteja com grande grau de aproveitamento agrícola.

### 3.11.2 Aspectos agronômicos

Uma das aplicações da fertirrigação é a fertirrigação de pastagem, que pode reduzir custos e tempo de trabalho para alimentar o gado se comparada com silagens e fenos, que implicariam no uso de máquinas para armazenar, preparar e fornecer aos animais (GONÇALVES, 2016). Segundo Drumond (2013), a aplicação de água residuária em pastagens, por sistema de irrigação, tem apresentado resultados e devem ser utilizados como insumo agropecuário. Ademais, oferecem nutrientes às culturas, com economia de fertilizantes químicos, e ou melhoria na produtividade (DAMASCENO, 2008).

Segundo Matos e Matos (2017), as águas residuárias devem ser aplicadas em culturas de rápido crescimento, grande massa radicular e grande capacidade de absorção de nitrogênio, como capineiras e pastos. Seguindo análises de sistemas que são verificados na produtividade de culturas fertirrigadas com esgotos domésticos municipais, o capim para forragem obteve aumento de 300% a 400% na produção de matéria seca, os cereais obtiveram de 20% a 50% e em plantas radiculares 100% (MATOS; MATOS, 2017). Segundo estes autores, têm sido observadas melhorias na qualidade do capim fertirrigado com esgoto doméstico, apresentando aumento de 6% a 17% no teor de proteína bruta.

Quanto à aplicação nas culturas, as doses são determinadas seguindo constituintes como potássio, sódio, nitrogênio, íons fitotóxicos e metais pesados, preocupando-se com os aspectos de fitotoxicidade e os graus de restrição de uso.

### 3.11.3 Aspectos sanitários para a fertirrigação de pastagem

Tendo em vista a possível presença de microrganismos patogênicos em esgoto doméstico, deve-se pensar em um sistema de fertirrigação de pastagem que reduza o potencial zoonótico e hospedeiros animais. A tabela 8 mostra os organismos patogênicos existentes em esgoto sanitário:

Tabela 8: Organismos patogênicos existentes no esgoto doméstico

<b>Agente etiológico</b>	<b>Espécie animal de interesse zootécnico</b>
<b>Bactérias</b>	
<i>Clostridium perfringes</i>	Suína, bovina, ovina, caprina, aves
<i>Campylobacter jejuni</i>	Bovina, ovina, aves
<i>Campylobacter coli</i>	Suína
<i>Escherichia coli</i>	Mamíferos em geral e aves
<i>Listeria monocytogenes</i>	Bovina, ovina, caprina, suína, aves
<i>Salmonella ssp</i>	Mamíferos em geral e aves
<i>Shigella spp.</i>	Aves
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Mamíferos em geral
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Mamíferos em geral e aves
<i>Yersinia ptuberculosis</i>	Mamíferos em geral
<i>Mycobacterium avium subsp.</i>	
<i>Paratuberculosis</i>	Bovina
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Bovina
<i>Enterobacter aerogenes</i>	Bovina e suína
<i>Serratia</i>	Bovina
<i>Edwardsiella</i>	Várias espécies animais
<b>Vírus</b>	
<i>Rotavírus</i>	Suína, bovina, ovina, caprina, aves
<i>Vírus da hepatite E</i>	Suínos
<b>Protozoários</b>	
<i>Giardia spp.</i>	Várias espécies animais
<i>Cryptosporidium spp.</i>	Bovina, suína, ovina e caprina
<i>Sarcocystis spp.</i>	Bovina e suína
<i>Toxoplasma gondii</i>	Ovina e outros mamíferos
<b>Helmintos</b>	
<i>Taenia spp.</i>	Suína e bovina
<i>Fasciola hepatica</i>	Bovina, ovina, caprina, suína

Fonte: Bevlacqua; Bastos (2009)

Bevlacqua; Bastos (2009) afirmam no seu estudo que nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde, a irrigação de pastagens e forrageiras estaria incluída na categoria “ irrigação restrita”, ou seja, culturas alimentícias não ingeridas cruas ou culturas não-alimentícias), sendo recomendado um número mais provável de  $< 10^4$  E.coli/100 mL (situação mais desfavorável) e  $< 1$  ovo de nematoides intestinais humanos por litro.

Dos patógenos que podem ser encontrados, segundo Zerbini (2000) dá-se notoriedade aos helmintos, pois estes possuem ampla ocorrência de enteroparasitoses em humanos e grande resistência pelos ovos no ambiente. O estudo apresentado por esta autora merece destaque, por referir-se à identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído de reatores anaeróbios e rampas de escoamento superficial. Este estudo foi desenvolvido em duas fases (1<sup>a</sup>- um reator UASB; 2<sup>a</sup>- reator anaeróbio compartimentado seguido de rampas de escoamento), avaliando unidades na ETE Nova Vista, em Itabira/MG. Verificou-se que o sistema funcionou de forma promissora em relação a remoção de ovos de helmintos, com eficiências médias no reator UASB de 71% e 82%, nas fases 1 e 2, respectivamente, demonstrando que o sistema UASB + escoamento superficial pode ser empregado e atingirá a eficiência desejada nesse estudo.

Dentre os helmintos, encontra-se no Filo dos platelmintos, a espécie de *Taenia saginata*, em que seus ovos são ingeridos acidentalmente por bovinos, ocasionando a cisticercose, uma zoonose que assim como a teníase, é motivo de prejuízos econômicos à cadeia produtiva de carne bovina no Brasil (ROSSI Gabriel, et al. 2013).

Assim, face as tecnologias de tratamento existentes, Gobbi (2010) afirma que a remoção de ovos de helmintos não será atendida com o uso dos sistemas convencionais, comprovando sua afirmação por meio da tabela 9. A letra “a” indica que no tratamento foi incluído decantador secundário, a letra “b” que foi incluída lagoa de maturação, letra “c” cloração ou ozonização. A letra “d” refere-se ao fato de a eficiência depender do número de unidades em série e outros fatores ambientais. A letra “e” indica que a eficiência depende do tempo de detenção e a letra “f” indica que, com projeto e operação adequados, as diretrizes para irrigação irrestrita podem ser atendidas.

Tabela 9: Remoção de organismos patogênicos em sistemas de tratamento de esgotos

Tratamento	Remoção (log <sub>10</sub> )			
	Bactérias	Helmintos	Vírus	Cistos
Sedimentação Primária:				
Simples	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Com coagulantes	1 - 2	1 - 3 <sup>f</sup>	0 - 1	0 - 1
Lodos ativados <sup>a</sup>	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtro biológico <sup>a</sup>	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Lagoa aerada <sup>b</sup>	1 - 2	1 - 3	1 - 3	0 - 1
Valo de oxidação <sup>a</sup>	1 - 2	0 - 2	1 - 2	0 - 1
Desinfecção <sup>c</sup>	2 - 6 <sup>f</sup>	0 - 1	0 - 4	0 - 3
Lagoa de estabilização <sup>d</sup>	1 - 6 <sup>f</sup>	1 - 3 <sup>f</sup>	1 - 4	1 - 4
Reservatórios de acumulação <sup>e</sup>	1 - 6 <sup>f</sup>	1 - 3 <sup>f</sup>	1 - 4	1 - 4

Fonte: Gobbi (2010)

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Métodos de Abordagem**

Este trabalho faz-se de uma pesquisa aplicada, gerando e disponibilizando informações válidas para resolução de problemas sanitários em áreas rurais e que desenvolvem atividades agropastoris. A pesquisa é primordialmente quantitativa, na medida que serão realizados cálculos de dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto doméstico e da taxa de aplicação de água residuária doméstica no solo. Não obstante, observa-se que a pesquisa também é de cunho qualitativo, sendo realizadas análises explicativas dos efeitos sanitários e ambientais do reuso de água residuária para fertirrigação.

### **4.2 Procedimentos**

Primeiramente, foi desenvolvido um estudo bibliográfico com consulta a artigos, normas, livros e publicações, segundo o tema proposto. Por meio desta pesquisa, foram estabelecidos os aspectos de saneamento ambiental e esgotamento sanitário em Minas Gerais e em Felixlândia, tratamento de efluentes, utilização e aplicação de águas residuárias e técnicas de fertirrigação. Construiu-se assim, um diagnóstico da área de estudo, apresentando o estudo populacional, a situação sanitária atual do Município de Felixlândia, a disponibilidade hídrica, e os aspectos físicos da região, como clima e solo. Esta fonte de dados foi utilizada na caracterização do esgoto local.

Aliando o embasamento teórico com as informações técnicas advindas da COPASA e da EPAMIG, será definida a localização de instalação do sistema de tratamento, no Campo Experimental de Felixlândia. Para localizar geoespacialmente a área de implantação, serão utilizadas ferramentas como Google Earth e QuantumGIS. Ressalta-se que já existe um projeto preliminar para o local a ser executado pela COPASA e para conhecimento do projeto que está sendo implantado e obtenção de informações essenciais ao novo projeto proposto, serão realizadas entrevistas com o Diretor Executivo da companhia de saneamento.

A etapa seguinte do estudo consistiu no dimensionamento da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), que contou com os parâmetros e critérios de

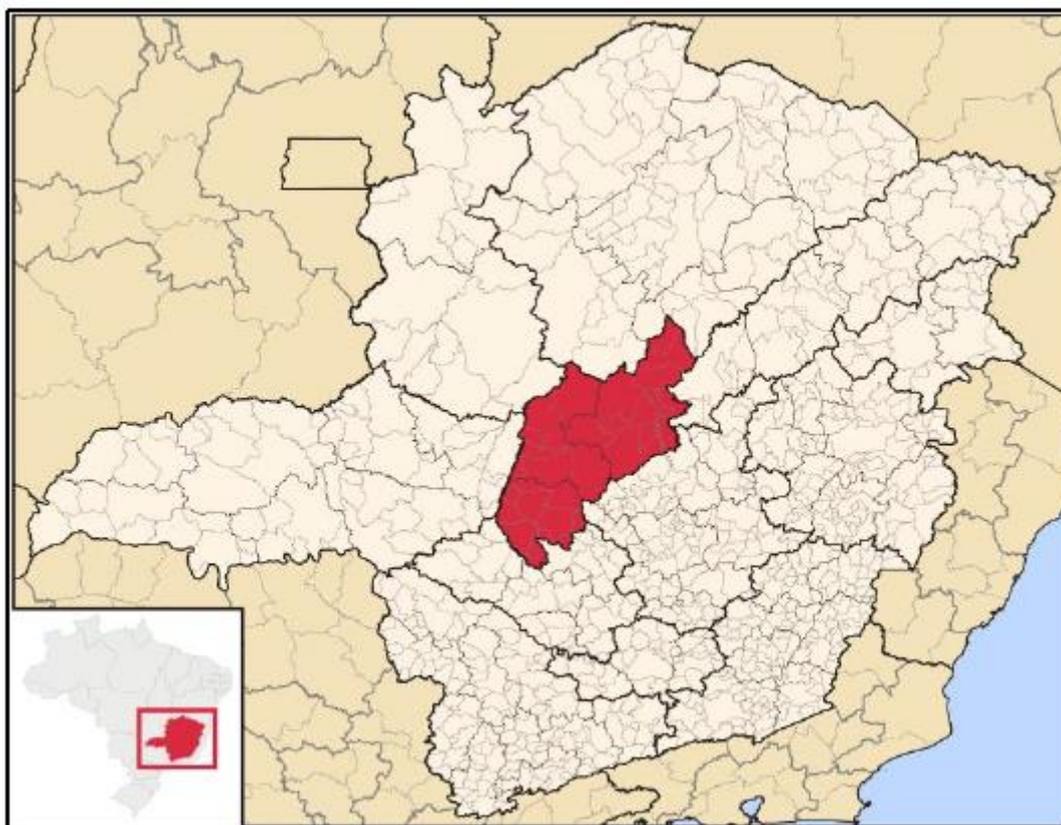
projeto, a descrição do tratamento adotado, e o memorial de cálculo. Para o dimensionamento da ETE foram utilizadas as recomendações técnicas da COPASA, da ABNT e de referências nacionais e internacionais tais como, Chernicharo (2007), Jordão e Pessoa (2017), Metacalfy&Eddy (2002), Sperling (2008, 2009, 2014, 2017). Serão utilizadas as normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9648/1986: Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário., a NBR 12208/1992:projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário, e a NBR 12209/2011: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.

Após o dimensionamento, foram utilizadas as características do efluente determinadas pelas análises e bibliografias anteriormente consultadas, para determinação da taxa de aplicação de águas residuárias no solo. São consultadas as recomendações propostas por Matos e Matos (2017). Nessa etapa, análises qualitativas foram essenciais, verificando os efeitos ambientais e sanitários da técnica de fertirrigação de pastagens com águas residuárias.

### **4.3 Área de estudo**

O município de Felixlândia situa-se na mesorregião Oeste de Minas Gerais e pertence, portanto, à região Sudeste do Brasil. Na figura 8 é a apresentado a localização geral do município em Minas Gerais. As coordenadas geográficas na qual se encontram o município são Latitude 18° 43' 52" Sul e Longitude: 44° 52' 33" Oeste (PRO BRAS EMPREENDIMENTOS SUSTENTÁVEIS, 2017). O município possui uma extensão territorial de 1553,35 km<sup>2</sup>, segundo o Censo de 2010, do IBGE.

Figura 8 -Mesorregião do Oeste de Minas Gerais



Fonte: PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017)

Felixlândia possui um clima tropical, com menores pluviosidades no inverno, se comparada com o verão e está integralmente inserido no bioma Cerrado. A vegetação é em sua maior parte coberta por árvores esparsas, com gramíneas e as principais coberturas vegetais observadas em Felixlândia são campo cerrado, cerrado, reflorestamento/eucalipto, floresta estacional semidecidual montana e reflorestamento/ pinus (PRO BRAS EMPREENDIMENTOS SUSTENTÁVEIS, 2017).

A área de estudo escolhida (figura 9) para ser realizado o dimensionamento e instalação da ETE, assim como o estudo dos efeitos da implantação da fertirrigação, localiza-se na área de propriedade da EPAMIG, no Campo Experimental de Felixlândia. A figura 9 abaixo apresenta o limite do campo experimental e o ponto de instalação da futura ETE, localizada na coordenada 7924190,90 m Sul e 508606,17 m Leste fuso 23 K. O local para instalação da ETE levou em consideração a concepção do modelo e o tipo de tratamento de esgoto a ser implantado no município.

Figura 9 - Área de estudo



Fonte: A autora (2018)

#### 4.4 Sistema atual de tratamento de efluente doméstico

Conforme a PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017), o município de Felixlândia não realiza nenhum tratamento de efluentes domésticos. Celebrou-se em 28 de outubro de 1986 um termo aditivo ao contrato de concessão com a COPASA MG, concedendo a esta a prestação dos serviços de esgotamento sanitário, com validade de 30 anos, assim que iniciasse a operação dos serviços. Foi observada em visita técnica, realizada no dia 29 de janeiro de 2019, a execução das obras de esgotamento sanitário do município (figura 10), com abertura de valas para inserção de tubulações de encaminhamento do efluente até a nova instalação no Campo Experimental da Fazenda da EPAMIG.

Figura 10- Execução de obras de saneamento em Felixlândia



Fonte: Fotografia tirada pelo autora (2018)

Como contextualizado anteriormente, o município conta com fossas negras e uma lagoa de dejetos, que lança *in natura* no córrego do Bagre ou no córrego Pelame o esgoto. Segundo informações da Prefeitura de Felixlândia, a lagoa possui área aproximada de 10000 m<sup>2</sup> e 1,5 metros de profundidade. A figura 11 mostra em um cenário amplo, o município de Felixlândia e a localização da lagoa de dejetos e da ETE a ser construída pela COPASA, que servirá de apoio para esse estudo. Pode-se verificar a infraestrutura de serviços de saneamento atuais, como as fossas sépticas e os poços de descarte de esgotos.

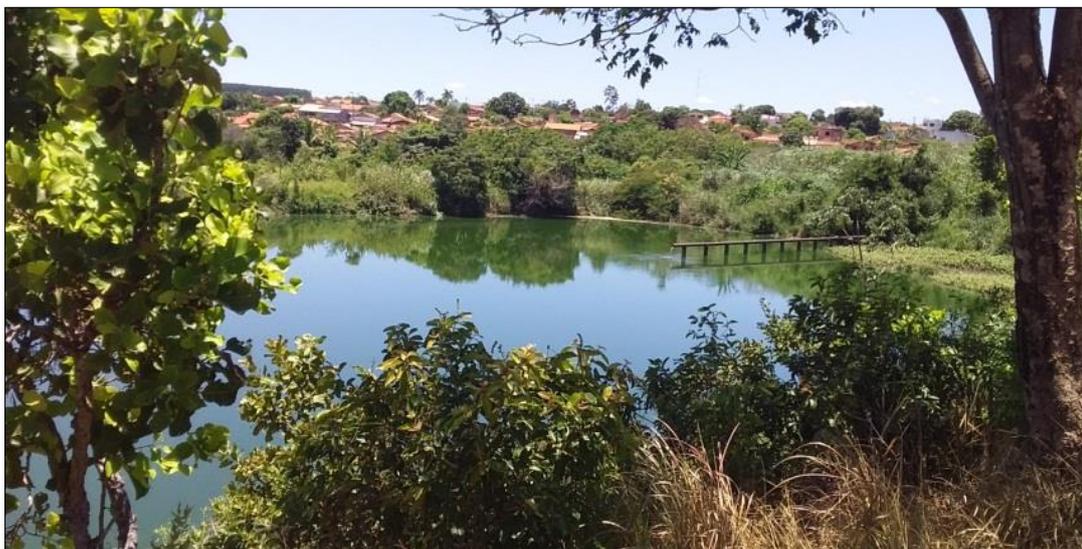
Figura 11 - Infraestrutura de serviços de saneamento de Felixlândia



Fonte: PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2017)

Para limpeza ou redução de volume do esgoto nas fossas, é requerido que o efluente seja bombeado e lançado posteriormente, por meio de caminhões, na respectiva lagoa. As figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, a lagoa e o lançamento do esgoto. Percebe-se que este ainda é o meio de destinação final do efluente doméstico do município e tem sido realizado de maneira inadequada e sem as devidas preocupações ambientais e sociais. Foi observada durante visita em campo que o esgoto *in natura* é despejado na lagoa, sem tratamento prévio.

Figura 12 - Lagoa de dejetos



Fonte: Fotografia tirada pelo autora (2019)

Figura 13 - Despejo de esgoto doméstico em lagoa



Fonte: Fotografia tirada pelo autora (2019)

#### 4.5 Dados para dimensionamento da ETE em Felixlândia

##### a) Produção do efluente doméstico

Segundo Sperling (2014), a produção de esgotos corresponde aproximadamente ao consumo de água e assim, a vazão doméstica de esgotos é calculada com base na quota per capita de água do respectivo local. O cálculo da vazão média anual é dado pela Equação 1:

$$Q_d \text{ média} = \frac{\text{Pop. QPC.R}}{86400} \quad (1)$$

Onde:

$Q_d \text{ média}$  = vazão doméstica média de esgotos ( $L s^{-1}$ );

QPC = quota per capita de água ( $L \text{ hab}^{-1} d^{-1}$ );

R= coeficiente de retorno esgoto/água.

A fração de água que entra na rede de coleta na forma de esgoto é denominada coeficiente de retorno, sendo usualmente adotado  $R=0,8$  (80%) (SPERLING, 2014). Sabe-se que em Felixlândia o consumo de água *per capita* é de  $141,7L \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , segundo a PRO BRAS Empreendimentos Sustentáveis (2018), e que o município possui em torno de 14121 habitantes, sendo 10922 em área urbana e 3199 em área rural, conforme dados do IBGE -Censo 2010 apresentados.

As vazões máxima e mínima são dadas pelas Equações 2 e 3 a seguir:

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{méd.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (L s^{-1}) \quad (2)$$

$$Q_{\text{mín}} = Q_{\text{méd.}} \cdot K_3 \quad (L s^{-1}) \quad (3)$$

Sendo:

$K_1$ = (coeficiente do dia de maior consumo);

$K_2$ = (coeficiente da hora de maior consumo);

$K_3$ = (coeficiente da hora de menor consumo).

No presente trabalho, utilizou-se os dados apresentados do Quadro de Projeções de Vazões (figura 14), fornecida pela COPASA MG por meio do engenheiro civil Dinei Wagner de Souza com base nos estudos de geração de efluentes domésticos e dados medidos pelas equipes diversas dessa empresa pública de saneamento. A confiabilidade dos dados é significativa pois a COPASA realiza esse tipo de trabalho desde o ano de 1974 com completa eficiência.

O quadro (figura 14) mostra a projeção populacional considerando o início de operação em 2020, com alcance de 20 anos:



Tendo em vista que não será possível a medição real dos parâmetros biológicos, físicos e químicos do efluente em estudo, apresenta-se alguns parâmetros usualmente utilizados em estudo e projeto (Tabela 10 e 11).

Tabela 10 - Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento

Características	Contribuição per capita (g hab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )		Concentração		
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Sólidos totais	120 – 200	180	mg L <sup>-1</sup>	700 – 1350	1100
Em suspensão	35 – 70	60	mg L <sup>-1</sup>	200 – 450	400
Fixos	7 – 14	10	mg L <sup>-1</sup>	40 – 100	80
Voláteis	25 – 60	50	mg L <sup>-1</sup>	165 – 350	320
Dissolvidos	85 – 150	120	mg L <sup>-1</sup>	500 – 900	700
Fixos	50 – 90	70	mg L <sup>-1</sup>	300 – 550	400
Voláteis	35 – 60	50	mg L <sup>-1</sup>	200 – 350	300
Sedimentáveis	-	-	mg L <sup>-1</sup>	10 – 20	15
Matéria orgânica					
Determinação indireta					
DBO <sub>5</sub>	40 – 60	50	mg L <sup>-1</sup>	200 – 500	350
DQO	80 – 130	100	mg L <sup>-1</sup>	400 – 800	700
DBO última	60 – 90	75	mg L <sup>-1</sup>	350 – 600	500
Determinação direta					
COT	30 – 60	45	mg L <sup>-1</sup>	170 – 350	250

Fonte: Sperling (2014)

Tabela 10- Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento

Características	Contribuição per capita (g hab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )		Concentração		
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Nitrogênio total	6,0 – 112,0	8,0	mg L <sup>-1</sup>	35 – 70	50
Nitrogênio orgânico	2,5 – 5,0	3,5	mg L <sup>-1</sup>	15 – 30	20
Amônia	3,5 – 7,0	4,5	mg L <sup>-1</sup>	20 – 40	30
Nitrito	≅ 0	≅ 0	mg L <sup>-1</sup>	≅ 0	≅ 0
Nitrato	0,0 – 0,5	≅ 0	mg L <sup>-1</sup>	0 – 2	≅ 0
Fósforo total	1,0 – 4,5	2,5	mg L <sup>-1</sup>	5 – 25	14
Fósforo orgânico	0,30 – 1,5	0,8	mg L <sup>-1</sup>	2 – 8	4
Fósforo inorgânico	0,7 – 3,0	1,7	mg L <sup>-1</sup>	4 – 17	10
pH	-	-	-	6,7 – 7,5	7,0
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	20 – 30	25	mg L <sup>-1</sup>	110 – 170	140
Cloreto	4 – 8	6	mg L <sup>-1</sup>	20 – 50	35
Óleos e graxas	10 – 30	20	mg L <sup>-1</sup>	55 – 170	110

Fonte: Sperling (2014)

Tabela 11: Microrganismos e parasitas presentes nos esgotos domésticos brutos

Tipo	Organismo	Contribuição per capita (org hab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	Concentração (org (100 mL) <sup>-1</sup> )
Bactérias	Coliformes totais	10 <sup>9</sup> -10 <sup>13</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>10</sup>
	Coliformes fecais	10 <sup>9</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>09</sup>
	E.coli	10 <sup>9</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>09</sup>
	Streptococos fecais	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>
Helmintos	Helmintos (ovos)	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>0</sup> -10 <sup>3</sup>
Vírus	Vírus entéricos	10 <sup>5</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>

Fonte: Adaptado de Sperling (2014)

Os dados informados a seguir, representarão, portanto, os valores adotados para os parâmetros de projeto, conforme literatura apresentada:

- Consumo per capita de água (edifício comercial):  $q_{pc} = 131,86 \text{ L hab dia}^{-1}$ ;
- Coeficiente do dia de maior consumo:  $K_1 = 1,20$ ;
- Coeficiente da hora de maior consumo:  $K_2 = 1,50$ ;
- Coeficiente de mínima vazão horária:  $K_3 = 0,50$ ;
- População = 12702 habitantes;
- $DBO_{\text{afluente}} = 300,00 \text{ mg L}^{-1}$  (valor adotado para projeto);
- $DQO_{\text{afluente}} = 600,00 \text{ mg L}^{-1}$  (valor adotado para projeto);

#### 4.6 Descrição do processo de tratamento adotado

Foi realizada visita de campo ao Campo Experimental de Felixlândia, em 29 de janeiro de 2019, com o objetivo de conhecer a área de implantação da ETE e analisar a seleção do processo de tratamento adotado. A estação que está em execução, será dotada de tratamento preliminar, rampas de escoamento superficial, filtro lento, bacias de infiltração e área de fertirrigação. Segundo a COPASA, o tratamento preliminar removerá sólidos grosseiros e material flutuante, as rampas de escoamento servirão para remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão, parte dos nutrientes e patogênicos, e o filtro lento com vistas para remover todos os microrganismos patogênicos. Posteriormente ao filtro lento, o efluente é direcionado para área de fertirrigação e em segundo plano, caso necessário, para uma bacia de infiltração.

Como informado pela equipe da COPASA, os bovinos da fazenda não poderão ter acesso ao sistema de fertirrigação, por ser um sistema novo e não se saber os efeitos sanitários do efluente final para consumo do pasto. Acredita-se que esse fator seja uma defasagem do sistema, tendo em vista que um sistema de fertirrigação é uma técnica de aplicação de fertilizantes na agricultura e aplicação de nutrientes nas culturas, com efeitos positivos ao pasto, devendo ser aproveitado e não somente como fins de destinação final.

Acredita-se que é importante um sistema que tenha alta eficiência de remoção de matéria orgânica, forneça nutrientes em quantidades pouco superiores ou equivalentes às das necessidades da cultura, como preconizado por Matos e Matos (2017) e seja capaz de remover com eficiência os patógenos, para que o pasto possa ser consumido por bovinos da fazenda. Faz-se ressalva a importância da eliminação de patógenos como os helmintos, que afetam a saúde humana e dos animais.

Diante de análises estratégicas, que visavam a escolha do sistema mais eficiente para remoção de matéria orgânica, patógenos, que estivesse dentro dos requisitos de área e que pudessem manter taxas ideais de nutrientes para o processo de fertirrigação, a ETE será dotada de um tratamento preliminar, efetuado por meio de gradeamento, caixa de areia e medidor de vazão; seguido por um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) mais pós tratamento. Os pós tratamentos empregados serão uma rampa de escoamento superficial acompanhada de uma lagoa de maturação. Por conseguinte, o efluente será levado por gravidade à área de fertirrigação da 1ª etapa (alcance até 2024). Na 2ª etapa (alcance até 2039), um conjunto motor-bomba elevará a água residuária para a área de fertirrigação. Esta elevatória não será dimensionada nesse estudo, pois deverá ser objeto de estudo específico em função de necessidade específica de cada projeto. Haverá projetos que o sistema poderá funcionar por gravidade, outros por desnível geométrico que necessitarão de recalque do efluente.

Segundo Sperling (2014), o sistema UASB + escoamento superficial não requer uma potência para aeração e possui um lodo líquido a ser tratado de 70 a 220 L hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e um lodo desidratado a ser disposto de 10 a 35 L hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, considerados pequenos se comparado com outros tratamentos. Ademais, possui um custo para implantação de 150-250 R\$/ hab.

Após o tratamento preliminar (1), é utilizado o reator UASB (2) e em seguida a rampa de escoamento (3). Em sequência o efluente será encaminhado à lagoa de maturação (4) e por meio de um conjunto motor bomba (5) é elevada para área de fertirrigação (6).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o dimensionamento da estação de tratamento de efluente doméstico foram adotados os parâmetros com base na revisão bibliográfica e dados do memorial descritivo disponibilizado pela COPASA.

Conforme dados mencionados anteriormente, na tabela 12 foram informadas as vazões mínima, média e máxima nas unidades  $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$  e  $\text{L s}^{-1}$ . Ressalta-se que o dimensionamento do tratamento preliminar é baseado na NBR 12209 – ABNT – Projeto hidráulico-sanitário de estações de tratamento de esgoto sanitário, NBR 12209- ABNT- Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto e Jordão e Pessoa (2017)

Tabela 12 - Vazões mínima, média e máxima

Vazão	$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$	$\text{L s}^{-1}$
Mínima	1272,67	14,73
Média	1943,14	22,49
Máxima	3014,5	34,89

Fonte: A autora (2019)

### 5.1 Dimensionamento do medidor de vazão- Calha Parshall

#### 5.1.1 Tamanho Nominal Medidor Parshall (W)

A tabela 13 a seguir apresenta as diversas larguras de garganta do medidor de vazão, adaptada da Tabela 9.6, de Jordão e Pessoa (2017).

Tabela 13 - Larguras de garganta do medidor de vazão

Garganta W- Largura Nominal	W (m)	Expoente n	Coefficiente K	Qmin ( $\text{L s}^{-1}$ )	Qmáx ( $\text{L s}^{-1}$ )
3"	0,076	1,547	0,176	0,85	53,8
6"	0,152	1,580	0,381	1,52	110,4
9"	0,229	1,530	0,535	2,55	251,9
1'	0,305	1,522	0,690	3,11	455,6
2'	0,610	1,550	1,426	11,89	936,7

Fonte: Tabela adaptada de Jordão e Pessoa (2017)

Assim, o dimensionamento e escolha da largura nominal foi realizado conforme as fórmulas apresentadas em Jordão e Pessoa (2017).

De acordo com as faixas de vazões calculadas, selecionou-se uma Calha Parshall com largura nominal  $W= 3''$  ou  $W= 7,6$  cm, expoente  $n$  de 1,547 e  $K$  de 0,176. Um vertedor com essa dimensão apresentou as seguintes dimensões padronizadas:

- Comprimento da seção convergente = 62,1 cm;
- Largura da seção divergente= 39,4 cm;
- Largura da seção convergente = 32,1 cm.

### 5.1.2 Determinação das lâminas d'água máximas e mínimas

O cálculo da altura ( $H$ ) da calha Parshall foi realizado por meio da Equação 4 abaixo, dada por Jordão e Pessoa (2017):

$$Q = KH^n \quad (4)$$

Em que:

$Q$ = vazões medidas na Calha Parshall ( $m^3 s^{-1}$ );

$H$ = profundidade da lâmina d'água na Calha Parshall (m);

$K$  e  $n$ = constantes tabeladas conforme a largura da garganta da calha (adimensional).

$$Q_{\text{máx}} = KH_{\text{máx}}^n \therefore 0,03489 = 0,176 \cdot H_{\text{máx}}^{1,547} \therefore H_{\text{máx}} = 0,3513 \text{ m}$$

$$Q_{\text{méd}} = KH_{\text{méd}}^n \therefore 0,02249 = 0,176 \cdot H_{\text{méd}}^{1,547} \therefore H_{\text{méd}} = 0,2645 \text{ m}$$

$$Q_{\text{mín}} = KH_{\text{mín}}^n \therefore 0,01473 = 0,176 \cdot H_{\text{mín}}^{1,547} \therefore H_{\text{mín}} = 0,2012 \text{ m}$$

### 5.1.3. Cálculo do rebaixamento (Z) do medidor Parshall

Escolhida uma calha Parshall, são conhecidas para  $Q_{\text{mín}}$  e  $Q_{\text{máx}}$ , as lâminas d'água respectivas no ponto de medição,  $H_{\text{mín}}$  e  $H_{\text{máx}}$  (medidas em relação ao

fundo da calha). Assim, o rebaixo Z foi calculado, tendo em vista uma velocidade na caixa de areia mantida praticamente constante (JORDÃO E PESSOA, 2017)

O cálculo do rebaixo de areia foi realizado conforme a Equação 5 abaixo:

$$Z = \frac{(Q_{\text{máx}} \cdot H_{\text{mín}}) - (Q_{\text{mín}} \cdot H_{\text{máx}})}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} \quad (5)$$

Em que:

Z= Rebaixo de areia (m);

Q<sub>máx</sub>= vazão máxima afluyente (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);

Q<sub>mín</sub>= vazão mínima afluyente (L s<sup>-1</sup>);

H<sub>máx</sub>= profundidade da lâmina d'água máxima (m);

H<sub>mín</sub>= profundidade da lâmina d'água mínima (m).

$$Z = \frac{(0,03489 \cdot 0,2012) - (0,01473 \cdot 0,3513)}{0,03489 - 0,01473} \therefore Z = 0,0915 \text{ m}$$

## 5.2 Dimensionamento do desarenador

Para o dimensionamento, embasou-se em Jordão e Pessoa (2017) e no Memorial Descritivo da COPASA. O nível d'água e a velocidade de fluxo serão controlados pela garganta do medidor Parshall.

As alturas das lâminas d'água no desarenador foram dadas pelas Equações 6 e 7 a seguir:

$$h_{\text{máx}} = H_{\text{máx}} - Z \quad (6)$$

$$h_{\text{mín}} = H_{\text{mín}} - Z \quad (7)$$

Em que:

h<sub>máx</sub>= altura da lâmina d'água máxima do desarenador (m);

h<sub>mín</sub>= altura da lâmina d'água mínima do desarenador (m).

$$h_{\text{máx}} = 0,3513 - 0,0915 \therefore h_{\text{máx}} = 0,2598 \text{ m}$$

$$h_{\text{mín}} = 0,2012 - 0,0915 \therefore h_{\text{mín}} = 0,1097 \text{ m}$$

Segundo a NBR 12209/1992, a seção transversal deve ser tal que a velocidade de escoamento não seja superior a 0,40 m s<sup>-1</sup> para a vazão máxima.

Assim, obteve-se a Equação 8:

$$A = \frac{Q \text{ máx}}{v} \quad (8)$$

Em que:

A = área da seção transversal (m<sup>2</sup>);

Q<sub>máx</sub> = vazão máxima (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

v = velocidade de escoamento (velocidade de fluxo) (m s<sup>-1</sup>)

Foi adotada uma velocidade de escoamento para vazão média de 0,3 m s<sup>-1</sup>.

$$A = \frac{Q \text{ máx}}{v} \therefore A = \frac{0,03489}{0,3} \therefore A = 0,1163 \text{ m}^2$$

Calculou-se a largura do canal de gradeamento (b) por meio da altura da lâmina d'água máxima, pois, segundo a NBR 12209, o dimensionamento das grades de barras deverá ser função da vazão máxima afluyente a cada unidade, como explicitado na Equação 9:

$$b = \frac{A}{h \text{ máx}} \quad (9)$$

Em que:

b = largura do canal (m);

h<sub>máx</sub> = altura da lâmina d'água máxima no desarenador (m);

A = área da seção transversal (m<sup>2</sup>)

$$b = \frac{A}{h \text{ máx}} \therefore b = \frac{0,1163}{0,2598} \therefore b = 0,4476 \cong 0,45 \text{ m}$$

Posteriormente, verificou-se as velocidades, considerando que a Norma Brasileira determina um valor de 0,30 m/s para vazão média, limitando em 0,40 m/s para a vazão máxima, indicando ainda que deve ser evitada a velocidade inferior a 0,20 m/s (JORDÃO; PESSOA, 2017).

$$A_{\text{máx}} = b * h_{\text{máx}} \therefore A_{\text{máx}} = 0,45 * 0,2598 \therefore A_{\text{máx}} = 0,1169 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{mín}} = b * h_{\text{mín}} \therefore A_{\text{mín}} = 0,45 * 0,1097 \therefore A_{\text{mín}} = 0,0494 \text{ m}^2$$

$$v_{\text{máx}} = \frac{Q_{\text{máx}}}{A_{\text{máx}}} \therefore v_{\text{máx}} = \frac{0,03489}{0,1169} \therefore v_{\text{máx}} = 0,298 \text{ ok!}$$

$$v_{\text{mín}} = \frac{Q_{\text{mín}}}{A_{\text{mín}}} \therefore v_{\text{mín}} = \frac{0,01473}{0,0494} \therefore v_{\text{mín}} = 0,2982 \text{ ok!}$$

Certificou-se, assim, que as velocidades máxima e mínima foram devidamente atendidas.

Por conseguinte, a velocidade de sedimentação com a velocidade de fluxo foram relacionadas seguindo as Equações 10 e 11:

$$v_1 = \frac{L}{t} \tag{10}$$

$$v_2 = \frac{h_{\text{máx}}}{t} \tag{11}$$

Em que:

$v_1$ = velocidade do fluxo ( $\text{m s}^{-1}$ );

$v_2$ = velocidade de sedimentação ( $\text{m s}^{-1}$ );

$L$ = comprimento da caixa de areia (m);

$h$ = altura d'água na caixa (m)

Sabe-se que  $t_1 = t_2$ , pois o tempo que a partícula percorre o comprimento "L" é o mesmo que percorre o mesmo tempo que demora para percorrer a "h". Assim a relação abaixo é válida:

$$v_1 * h = L * v_2$$

A velocidade de sedimentação possui valores em torno de  $0,02 \text{ m s}^{-1}$  e a velocidade de fluxo em torno de  $0,3 \text{ m s}^{-1}$ . Substituindo  $v_1$  e  $v_2$  e assumindo o fator de segurança de  $FS=1,5$ , ou seja, garantia de até 50%, o comprimento do desarenador foi calculado:

$$L = 22,5 * h_{\text{máx}} \therefore L = 22,5 * 0,2598 \therefore L = 5,8455 \text{ m}$$

Para fins construtivos, adotou-se  $L= 6,00 \text{ m}$

Verificou-se também a taxa de aplicação superficial (TAS), como proposto no memorial de cálculo da COPASA, pela Equação 12.

$$TAS = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \tag{12}$$

Em que:

$Q_{\text{máx}}$  ou  $Q_{\text{mín}}$  = vazão máxima ou vazão mínima em ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ );

$A$  = área do desarenador ( $\text{m}^2$ ).

Para  $Q_{\text{máx}}$ :

$$TAS = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \therefore TAS = \frac{3014,5}{6,00 * 0,45} \therefore 1116,4815 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

Segundo a NBR 12209/92 a taxa de escoamento encontra-se dentro dos valores permissíveis ( $600$  a  $1300 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

Para  $Q_{\text{mín}}$ :

$$TAS = \frac{Q_{\text{mín}}}{A} \therefore TAS = \frac{1272,67}{6,00 * 0,45} \therefore 471,3593 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

A profundidade do rebaixo do desarenador para conter a areia foi representado pela Equação 13:

$$h = \frac{V}{A} \tag{13}$$

Em que:

$h$  = rebaixo da caixa de areia (m);

$V$  = volume de areia acumulado no fundo do canal ( $\text{m}^3$ );

$A$  = área da caixa de areia ( $\text{m}^2$ ).

O volume de areia acumulado por ano foi dado pela relação:

$$\begin{aligned} V &= Q_{\text{méd}} * \text{aporte} \therefore V = 1943,14 * 0,03 \therefore V = 58,29 \text{ L d}^{-1} = 0,058 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \\ &= 21,28 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1} \end{aligned}$$

Adotando uma frequência de limpeza a cada 15 dias, obteve-se um volume acumulado neste período de  $0,87 \text{ m}^3$ , e um aporte médio (quantidade de areia retida estimada) de  $30\text{L}/1000\text{m}^3$ , adotada para uma situação favorável, segundo a ABNT NBR 12209/92.

Assim:

$$h = \frac{V}{A} \therefore h = \frac{0,87}{\text{área da caixa de areia}} \therefore h = \frac{0,87}{6 * 0,45} \therefore h = 0,32 \text{ m}$$

Desta maneira, o desarenador apresentou as seguintes dimensões: 0,45 m de largura x 6 m de comprimento e altura de 0,6 m de altura (considerando uma folga de 0,2 m). A limpeza de areia do rebaixo dará com auxílio de um caminhão tipo “limpa fossa”, como também proposto pela ETE da COPASA.

### 5.3 Dimensionamento das grades

Foram adotadas grades finas paralelas, de limpeza manual, com inclinação de 45°, conforme NBR 12209/92 e NBR 12208/92. Adotou-se um espaçamento entre barras (a) de 2 cm, com espessura das barras (t) de 0,64 cm (Jordão e Pessoa, 2005). A eficiência foi calculada de acordo com a Equação 14.

$$E = \frac{a}{a+t} \tag{14}$$

Em que:

E= eficiência da grade (decimal);

a= espaçamento entre barras (cm);

t= espessura das barras (cm).

$$E = \frac{2}{2 + 0,64} \therefore E = 0,7576 \cong 0,76$$

Ressalta-se que o valor encontrado para a eficiência foi compatível com os dados apresentados por Jordão e Pessoa (2017) em sua literatura.

Admitindo que para a vazão máxima a velocidade do líquido na grade seja de 0,45 ms<sup>-1</sup>, conforme NBR 12208/92, a área útil foi calculada de acordo com a Equação 15.

$$A_u = \frac{Q_{\max}}{v_p} \tag{15}$$

Em que:

A<sub>u</sub> = área útil livre entre as barras (m<sup>2</sup>);

Q<sub>max</sub> = vazão máxima de projeto (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);

$v_p$  = velocidade de passagem nas grades ( $m\ s^{-1}$ ).

$$A_u = \frac{0,03489}{0,45} \therefore A_u = 0,0775\ m^2$$

A seção do canal junto à grade, necessária para o escoamento (área total), foi determinada pela Equação 16.

$$A_t = \frac{A_u}{E_f} \therefore A_t = A_u * \left(\frac{a+t}{a}\right) \quad (16)$$

Em que:

$A_t$  = área da seção do canal afluente da grade (área molhada) ( $m^2$ );

$E_f$  = eficiência da grade (decimal);

$a$  = espaçamento entre barras (cm);

$t$  = espessura das barras (cm).

$$A_t = \frac{0,0775}{0,7576} \therefore A_t = 0,0775 * \left(\frac{2 + 0,64}{2}\right) \therefore A_t = 0,1023\ m^2$$

Tendo em vista dos valores das lâminas d'água máxima e mínima de 0,2598 m e 0,1097 m, respectivamente, calculou-se a largura do canal de gradeamento ( $b$ ) por meio da altura da lâmina d'água máxima, pois, segundo a NBR 12209, o dimensionamento das grades de barras deverá ser função da vazão máxima afluente a cada unidade. Por meio da Equação 17 calculou-se o mencionado:

$$b = \frac{A_t}{h\ máx} \quad (17)$$

Em que:

$b$  = largura do canal (m);

$h_{máx}$  = altura da lâmina d'água máxima no desarenador (m);

$A_t$  = área da seção do canal afluente da grade (área molhada) ( $m^2$ )

$$b = \frac{A_t}{h\ máx} \therefore b = \frac{0,1023}{0,2598} \therefore b = 0,3938\ m\ (\text{será adotado } 0,40\ m)$$

Admite-se que a largura do canal afluente à grade poderá ser aumentada para atender a velocidade de passagem entre barras, resultando em uma velocidade de aproximação  $v_0$ , na seção anterior a grade, menor do que a velocidade fixada para o projeto (JORDÃO; PESSOA, 2017).

Para a vazão máxima a velocidade do líquido da grade adotada seja de  $0,45 \text{ m s}^{-1}$ , verificou-se as velocidades, por meio da Equação 18:

$$V = \frac{Q}{A_t} \quad (18)$$

Em que:

$V$ = velocidades de passagem- máxima ou mínima ( $\text{m s}^{-1}$ );

$Q$ = Vazão máxima ou mínima ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

$A_t$ = área da seção do canal afluente da grade (área molhada) ( $\text{m}^2$ )

- Para  $Q_{\text{máx}} = 0,03489 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $h_{\text{máx}} = 0,2548 \text{ m}$ , tem-se:

$$A_t = b * h_{\text{máx}} \therefore A_t = 0,40 * 0,2548 = 0,1019 \text{ m}^2;$$

- Para  $Q_{\text{mín}} = 0,01473 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $h_{\text{mín}} = 0,1097 \text{ mm}$ , tem-se:

$$A_t = b * h_{\text{mín}} \therefore A_t = 0,40 * 0,1097 = 0,0439 \text{ m}^2 ;$$

Retomando a Equação 16, tem-se:

$$A_t = \frac{A_u}{E_f} \therefore A_t = A_u * \left( \frac{a + t}{a} \right) \therefore A_u \text{ com } h_{\text{máx}} = 0,1019 * 0,76 \therefore A_u = 0,0774 \text{ m}$$

$$A_t = \frac{A_u}{E_f} \therefore A_t = A_u * \left( \frac{a + t}{a} \right) \therefore A_u \text{ com } h_{\text{mín}} = 0,0439 * 0,76 \therefore A_u = 0,0334 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{0,03489}{0,0774} = 0,4508 \text{ m s}^{-1}$$

$$V_{\text{mín}} = \frac{0,01473}{0,0334} = 0,4410 \text{ m s}^{-1}$$

Observou-se que a velocidade máxima de passagem ficou acima da velocidade de passagem adotada de  $0,45 \text{ m s}^{-1}$ , mesmo que ainda esteja no valor admitido pela norma. Propôs-se, portanto, que a largura do canal ( $b$ ) seja de  $0,5 \text{ m}$  e assim, foi realizada a velocidade de aproximação ( $V_0$ ) para as velocidades máxima e mínima, respectivamente:

$$A_t = b * h \text{ máx} \therefore A_t = 0,50 * 0,2548 = 0,1274 \text{ m}^2$$

$$A_t = \frac{Au}{E_f} \therefore A_t = Au * \left(\frac{a + t}{a}\right) \therefore Au \text{ com } h_{\text{máx}} = 0,1279 * 0,76 \therefore Au = 0,0972 \text{ m}$$

$$V_0 \text{ máx} = \frac{0,03489}{0,0972} = 0,3599 \text{ m s}^{-1} - \text{Abaixo da velocidade máxima de passagem}$$

$$A_t = \frac{Au}{E_f} \therefore A_t = Au * \left(\frac{a + t}{a}\right) \therefore Au \text{ com } h_{\text{mín}} = 0,05485 * 0,76 \therefore Au = 0,0417 \text{ m}$$

$$A_t = b * h \text{ mín} \therefore A_t = 0,50 * 0,1097 = 0,05485 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{mín}} = \frac{0,01473}{0,0417} = 0,3532 \text{ m s}^{-1} - \text{Abaixo da velocidade máxima de passagem}$$

As perdas de carga no gradeamento foram determinadas pela vazão máxima e puderam ser estimadas pela Equação 19. A perda de carga definirá o momento de limpeza da grade, portanto, deverá ser colocada uma marcação à montante da grade para que, quando ocorrer a elevação do NA, se proceda com a limpeza da grade.

$$hf = 1,43 * \left(\frac{V_0^2 - v^2}{2g}\right) \quad (19)$$

Em que:

$hf$  = perda de carga (m);

$V_0$  = velocidade à montante da grade ( $\text{m s}^{-1}$ );

$v$  = velocidade à montante da grade ( $\text{m s}^{-1}$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m s}^{-2}$ ).

A velocidade corresponde à velocidade de aproximação máxima. Assim, a relação das velocidades foi representada pela Equação 20:

$$v = V_0 * E \quad (20)$$

$$v = 0,3599 * 0,76 \therefore v = 0,2735 \text{ m s}^{-1}$$

$$hf = 1,43 * \left( \frac{0,3599^2 - 0,2735^2}{2 * 9,81} \right) \therefore hf = 0,0037 \text{ m} \cong 0,37 \text{ cm}$$

Para a grade 50% obstruída  $V = 2V$ . Assim,  $V=0,7198 \text{ m/s}$  e  $v=0,2735 \text{ m s}^{-1}$ .

$$hf = 1,43 * \left( \frac{0,7198^2 - 0,2735^2}{2 * 9,81} \right) \therefore hf = 0,0323 \cong 3,23 \text{ cm}$$

A quantidade de barras e de espaços foi definido segundo a Equação 21:

$$N_e = N_b + 1 \quad (21)$$

Em que:

$N_b$ = número de barras;

$N_e$ = número de espaços da grade.

Além disso, sabe-se que a largura  $b$  da grade é o somatório do comprimento de todos os espaços vazios e o comprimento de todas as barras.

Assim, foi realizado o seguinte cálculo:

$$\begin{aligned} (N_e * a) + (N_b * t) &= b \therefore [(N_b + 1) * a] + (N_b * t) = b \therefore [(N_b + 1) * 2] + (N_b * 0,64) \\ &= 50 \therefore N_b \cong 18,1 \quad N_b = 19 \text{ barras} \end{aligned}$$

Foram adotadas 19 barras de 6,4 x 38,1 mm e 20 espaçamentos de 2 cm. Sabe-se que a altura da lâmina d'água máxima é 0,2548. Por segurança, adotou-se uma altura da grade com um acréscimo de 0,10 m e arredondamento. Assim, as dimensões da grade foram de 0,50 m de largura x 0,4 m de altura.

#### 5.4 Escolha do conjunto motor-bomba

A distribuição do esgoto afluyente é vista como uma fase importante do projeto. A alimentação inicia pelo fundo, na qual o esgoto desarenado aflui para uma caixa superior, a fim de distribuí-lo (caixa de distribuição), que se localiza sobre a laje superior do reator de fluxo ascendente e manta de lodo. Da caixa, descem tubos vertidos de distribuição, que levarão o efluente doméstico até o fundo do tanque para então liberá-lo para o processo ascensional (JORDÃO; PESSOA, 2017). Ademais, ressalta-se que a estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (manta de lodo e leito), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás (CHERNICHARO, 2016).

Assim, para elevar o esgoto, propiciando o movimento ascensional fez-se necessário o uso de uma estação elevatória, e de um conjunto motor-bomba.

Para o dimensionamento do conjunto motor-bomba foram seguidas as recomendações da ABNT-12208 e NBR - 7968 e a literatura de Porto (2016).

Para selecionar a bomba adequada e mais viável para o projeto utilizou-se a Equação 22:

$$H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r \quad (22)$$

Em que:

$H_m$  = altura manométrica total (m.c.a);

$H_g$  = altura geométrica total (m.c.a);

$\Delta H_s$  = perda de carga na sucção (m.c.a);

$\Delta H_r$  = perda de carga no recalque (m.c.a).

Assim, a altura geométrica corresponde ao desnível geométrico ( $H_g$ ), entre os níveis da água na tomada e na chegada, acrescido das perdas de carga contínua ( $h_{r1}$ ) e localizada ( $h_{r2}$ ) do recalque e da sucção.

Considerando a altura do reator de 4,5 metros, foram determinados os desníveis geométricos mínimo e máximo.

- $H_g \text{ máx} = 7,5 \text{ m.c.a}$
- $H_g \text{ mín} = 6,2 \text{ m.c.a}$

Foi realizado o cálculo do diâmetro da tubulação de recalque por meio da Equação 23 abaixo, abordada em Porto (2006).

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (23)$$

Em que:

D= diâmetro da tubulação de recalque (mm);

Q= vazão máxima ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

v= velocidade ( $\text{ms}^{-1}$ ).

Adotou-se a vazão máxima de  $34,89 \text{ Ls}^{-1}$  ( $0,035 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a velocidade de  $2,00 \text{ ms}^{-1}$  para a determinação do diâmetro abaixo.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = 0,14904 \text{ m} \cong 150 \text{ mm}$$

Para descobrir a curva característica do sistema de elevatória foi utilizada a equação do sistema (Equação 22). Para determinar as perdas de carga contínua, foi utilizada a Fórmula de Hazen-Williams (24):

$$J = 10,65 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} \quad (24)$$

Em que:

J = perda de carga unitária ( $\text{m m}^{-1}$ );

Q = vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

C= coeficiente de rugosidade;

D= diâmetro (m).

Quanto à determinação da perda de carga contínua, foi utilizada a Equação abaixo.

$$h_{f2} = K * \frac{V^2}{2g} \quad (25)$$

Em que:

K= coeficiente adimensional;

V= velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ );

g= aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )

A tabela 14 apresenta as peças necessárias ao conjunto motor-bomba. Se tratando de um fluxo ascensional, o diâmetro do sistema de recalque deverá ser um diâmetro superior ao de sucção, logo, a tubulação de sucção terá 100 mm.

Tabela 14: Peças do sistema motor-bomba

Peça	DN	K	L (m)
Curva 90° de Pé da bomba	100	0,400	-
Tubo	100		2,000
Curva 90°	100	0,400	-
Tubo	100	-	0,700
Ampliação Gradual	100 x 150	0,300	-
Válvula de Retenção	150	2,500	-
Registro de Gaveta	150	0,200	-
Tê saída de lado	150	1,300	-
Tubo	150	-	0,410
Tê Passagem Direta	150	0,600	-
Tubulação de Recalque	150	-	177,000
Curva 90° 2 unidades	150	0,800	-
Saída de Tubulação	150	1,000	-

Fonte: A autora (2019)

Para o diâmetro de 100 mm, comprimento da tubulação de 2,7 m, e C=130, foi obtida a seguinte relação:

$$h_{f1} = 10,65 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} * L \therefore h_{f1} = 261,6 * Q^{1,85}$$

$$h_{f2} = K * \frac{V^2}{2g} \therefore h_{f2} = 908,6 * Q^2$$

Para o diâmetro de 150 mm, comprimento da tubulação de 177,41 m e C=120, a seguinte relação foi descrita:

$$h_{f1} = 10,65 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} * L \therefore h_{f1} = 2766,9 * Q^{1,85}$$

$$h_{f2} = K * \frac{V^2}{2g} \therefore h_{f2} = 1044,2 * Q^2$$

Foi estabelecida, portanto, a Equação do Sistema para  $H_g$  mínimo

$$H_m = 6,2 + 3028,5 * Q^{1,85} + 1952,827 * Q^2 \quad (Q \text{ em } m^3 s^{-1})$$

$$H_m = 6,2 + 0,008535 * Q^{1,85} + 0,001953 * Q^2 \quad (Q \text{ em } m^3 h^{-1})$$

Para  $H_g$  máximo:

$$H_m = 7,5 + 3028,5 \times Q^{1,85} + 1952,827 \cdot Q^2 \quad (Q \text{ em } m^3 s^{-1})$$

$$H_m = 7,5 + 0,008535 \times Q^{1,85} + 0,001953 \cdot Q^2 \quad (Q \text{ em } m^3 h^{-1})$$

Utilizando as equações em  $m^3 h^{-1}$  e  $L s^{-1}$ , foram traçadas as duas curvas do sistema, por meio das tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Vazões ( $L s^{-1}$ ) e altura manométrica

Vazão ( $m^3 h^{-1}$ )	Altura manométrica (mca)	
	Mínima	Mínima
0	6,200	7,500
4	6,342	7,642
8	6,725	8,025
12	7,328	8,628
16	8,142	9,442
20	9,160	10,460
24	10,377	11,677
28	11,790	13,090

Fonte: A autora (2019)

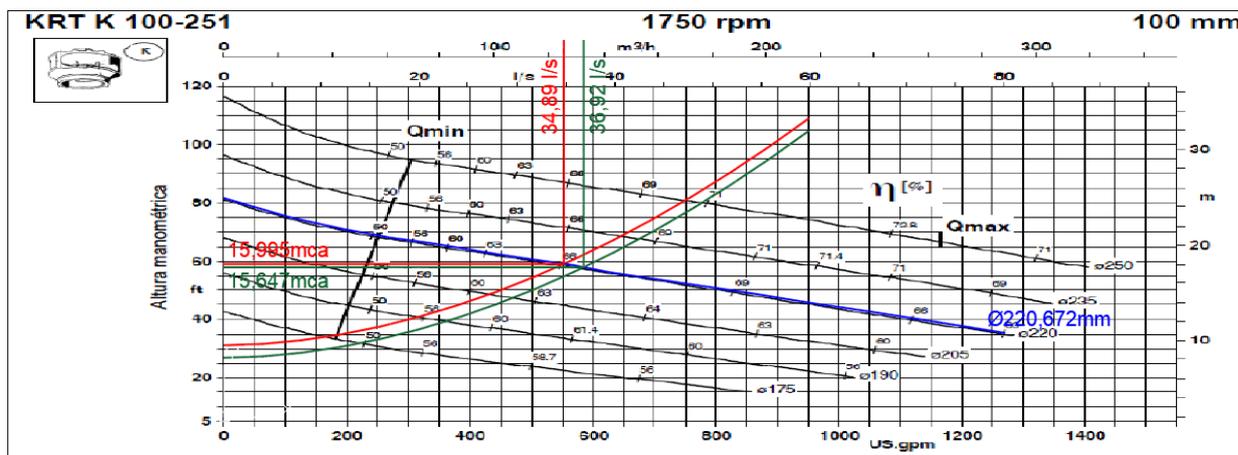
Tabela 16 – Vazões ( $m^3 h^{-1}$ ) e altura manométrica

Vazão ( $m^3 h^{-1}$ )	Altura manométrica (mca)	
	Mínima	Máxima
32	13,397	14,697
36	15,193	16,493
40	17,178	18,478
44	19,348	20,648
48	21,703	23,003
52	24,240	25,540
56	26,958	28,258
60	29,857	31,157

Fonte: A autora (2019)

As curvas de Hg máximo e mínimo foram traçadas e foi determinado o conjunto motor-bomba. Escolheu-se uma bomba submersível KSB modelo KRT 100-251 - 1750RPM e rotor usinado para o diâmetro 220,672 mm, por meio de pesquisa em catálogos de fabricantes. A figura 15 demonstra as curvas para escolha da bomba. E, conforme anexo, a bomba está em um poço de sucção cujo volume deverá ser apresentado para um tempo de detenção máximo de 20 minutos.

Figura 15 - Determinação da interseção das curvas e escolha da bomba.



Fonte: A autora (2019)

## 5.5 Dimensionamento do Reator de Manta de Lodo (UASB)

Para o dimensionamento, foram adotadas as literaturas de Chernicharo (2016), Jordão e Pessoa (2017) e ABNT-NBR 12209/1992. Verificou-se, primeiramente, a tabela 17:

Tabela 17: Dados de dimensionamento do reator UASB

Dados de projeto	Valores adotados para o dimensionamento
População	12702 habitantes
Vazão afluyente máxima horária: Q máx	3014,5 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Vazão afluyente máxima diária	2009,6640 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Vazão afluyente média: Q méd	1943,14 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Concentração média de DBO afluyente ao reator UASB: (S <sub>0</sub> -DBO)	300 mg L <sup>-1</sup>
Concentração média de DQO afluyente ao reator UASB: (S <sub>0</sub> -DQO)	600 mg L <sup>-1</sup>
Temperatura ambiente: T	Adotando 20°C
Temperatura do esgoto: T <sub>e</sub>	Adotando 23° C
Coeficiente de produção de sólidos: Y	0,18 kgSST/kg DQO aplicada (usual entre 0,10 e 0,20)
Coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO: Y <sub>obs</sub>	0,21 kgDQO <sub>lodo</sub> /kgDQO <sub>apl</sub> (usual entre 0,11 e 0,23)
Densidade do lodo:	1020 kg m <sup>-3</sup> (usual entre 1020 e 1040)
Velocidade ascensional	0,6 m h <sup>-1</sup> (usual entre 0,5 a 0,7)
Concentração esperada para o lodo de descarte	4% (usual entre 2 a 5%)
Tempo de detenção hidráulica	7 h

Fonte: A autora (2019)

Calculou-se por meio da Equação 26 a carga afluyente média de DQO:

$$L_0 = S_0 * Q_{\text{méd}} \quad (26)$$

Em que:

$L_0$  = Carga afluyente média de DQO ( $\text{kgDQO d}^{-1}$ );

$S_0$  -DQO= Concentração média de DBO afluyente ao reator UASB ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$Q_{\text{méd}}$ = Vazão afluyente média ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ )

$$L_0 = S_0(\text{DQO}) * Q_{\text{méd}} \therefore L_0 = 0,600 * 1943,14 = 1165,884 \text{ kgDQO d}^{-1}$$

Para a determinação do volume do reator foi utilizado o tempo de detenção de 7 horas, seguindo as referências anteriormente citadas. Por meio da Equação 27, fez-se a determinação:

$$V = Q_{\text{méd}} * t \quad (27)$$

Em que:

$V_r$ = volume total do reator ( $\text{m}^3$ );

$Q_{\text{méd}}$ = vazão média afluyente ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );

$t$  = tempo de detenção hidráulica (h).

$$V_r = Q_{\text{méd}} * t \therefore V_r = 80,9642 * 7 \therefore V_r = 566,75 \cong 567 \text{ m}^3$$

Considerando o volume total do reator de  $567 \text{ m}^3$ , adotou-se um reator, ou seja,  $N_r=1$ , pois como preconizado por Jordão e Pessoa (2017), a recomendação é de uma faixa de  $500$  a  $2000 \text{ m}^3$  para o volume dos reatores em geral. Quanto à altura útil (H) fixada do reator, foi determinado o valor de  $4,5 \text{ m}$  pois, as velocidades ascensionais impostas ao sistema conduzem a reatores com alturas úteis entre  $4$  e  $5$  (CHERNICHARO, 2016).

A determinação da área do reator é feita pela Equação 28:

$$A_r = \frac{V_r}{H} \quad (28)$$

Em que:

$A_r$ = Área do reator ( $\text{m}^2$ );

$V_r$ = volume do reator ( $m^3$ );

$H$ = altura útil fixada (m)

$$A_r = \frac{V_r}{H} \therefore A_r = \frac{567}{4,5} \therefore A_r = 126 \text{ m}^2$$

Adotando reator retangular, foi escolhida as seguintes dimensões: 11 m x 11,5 m para atender a área. Fez-se posteriormente a verificação da área, do volume e do tempo de detenção corrigidos:

- Área total corrigida:  $A_t = 1 \times 126,5 = 126,5 \text{ m}^2$ ;
- Volume total corrigido:  $V_r = A_t \times H = 126,5 \times 4,5 = 570 \text{ m}^3$
- Tempo de detenção hidráulica corrigido:  $TDH = V_r / Q_{méd} = 570 / 80,4792 = 7 \text{ h}$

Foi realizada a verificação das cargas aplicadas também. Segundo Chernicharo a carga hidráulica volumétrica e a carga orgânica volumétrica podem ser dadas pelas equações 29 e 30, respectivamente.

$$CHV = \frac{Q_{méd}}{V_r} \quad (29)$$

Em que:

$CHV$ = Carga hidráulica volumétrica ( $m^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ );

$Q_{méd}$ = vazão média afluyente ( $m^3 \text{ d}^{-1}$ );

$V_r$ = volume do reator ( $m^3$ ).

$$C_v = \frac{Q_{méd} \cdot S_0 DQO}{V_r} \quad (30)$$

Em que:

$C_v$ = Cargo orgânica volumétrica ( $\text{kgDQO } m^{-3} \text{ d}^{-1}$ );

$Q_{méd}$ = vazão média afluyente ( $m^3 \text{ d}^{-1}$ );

$V_r$ = volume do reator ( $m^3$ ).

$S_0 DQO$ = concentração média de DBO afluyente ( $\text{mg } L^{-1}$ ).

$$CHV = \frac{Q_{méd}}{V_r} \therefore CHV = \frac{1943,14}{570} \therefore 3,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$$

Estudos experimentais evidenciam que o valor de  $C_{HV}$  não deve ultrapassar o valor de  $5,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  (CHERNICHARO, 2017). Como foi observado, o valor encontrado atendeu ao que é preconizado na literatura.

$$C_V = \frac{Q_{\text{méd}} * S_{ODQO}}{V_r} \therefore C_V = \frac{1943,14 * 0,6}{570} \therefore C_V = 2,05 \text{ kgDQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$$

Verifica-se em reatores que a carga orgânica volumétrica aplicada ao reator é bem inferior quando se trata de esgoto doméstico, situando-se na faixa de 2,5 a 3,5  $\text{kgDQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  (CHERNICHARO, 2017).

Foram observadas as velocidades superficiais, ou, velocidades ascensionais, seguindo a Equação 31.

$$v = \frac{Q}{A_r} \quad (31)$$

Em que:

$v$ = velocidade ascensional ( $\text{m s}^{-1}$ );

$Q$ = vazão ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ );

$A_r$ = área da seção transversal do reator ( $\text{m}^2$ ).

Primeiramente, foi mensurada a vazão máxima diária, dada pela Equação 32:

$$Q = \frac{P * q * k_1}{86400} \quad (32)$$

Em que:

$Q$ = vazão máxima diária ( $\text{L s}^{-1}$ );

$P$ = população abastecida (hab);

$q$  = quota per capita ( $\text{L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )

$k_1$ = coeficiente do dia de maior consumo

$$Q = \frac{P * q * k_1}{86400} \therefore Q = \frac{12702 * 131,86 * 1,2}{86400} \therefore Q = 23,26 \text{ L s}^{-1} \text{ ou } 2009,664 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

- Para  $Q_{\text{méd}}$ :  $v = Q_{\text{méd}}/A_r = 80,9642/126,5 = 0,64 \text{ m h}^{-1}$ ;
- Para  $Q_{\text{máx}}^{\text{horária}}$ :  $v = Q_{\text{máx}}/A_r = 125,6042/126,5 = 0,99 \text{ m h}^{-1}$ ;
- Para  $Q_{\text{máx}}^{\text{diária}}$ :  $v = Q_{\text{máx}}/A_r = 83,7360/126,5 = 0,66 \text{ m h}^{-1}$

Observou-se que as velocidades superficiais encontradas estão de acordo com os valores recomendados na tabela 18 abaixo:

Tabela 18: Velocidades superficiais recomendadas para o projeto de reatores UASB

Vazão afluyente	Velocidade superficial (m h <sup>-1</sup> )
Vazão Média	0,5 a 0,7
Vazão Máxima	≤ 1,1
Picos temporários de vazão, com duração entre 2 e 4 horas	< 1,5

Fonte: Chernicharo (2016)

Para dimensionar o sistema de distribuição de esgoto afluyente, adotou-se uma área de influência de 2,25 m<sup>2</sup>, por tubo de distribuição, seguindo a literatura. Então o número de tubos pode ser calculado por meio da Equação 33:

$$N_d = \frac{A_t}{A_d} \quad (33)$$

Em que:

$N_d$  = número de distribuidores;

$A_t$  = área da seção transversal do reator (m<sup>2</sup>);

$A_d$  = área de influência de cada distribuidor (m<sup>2</sup>).

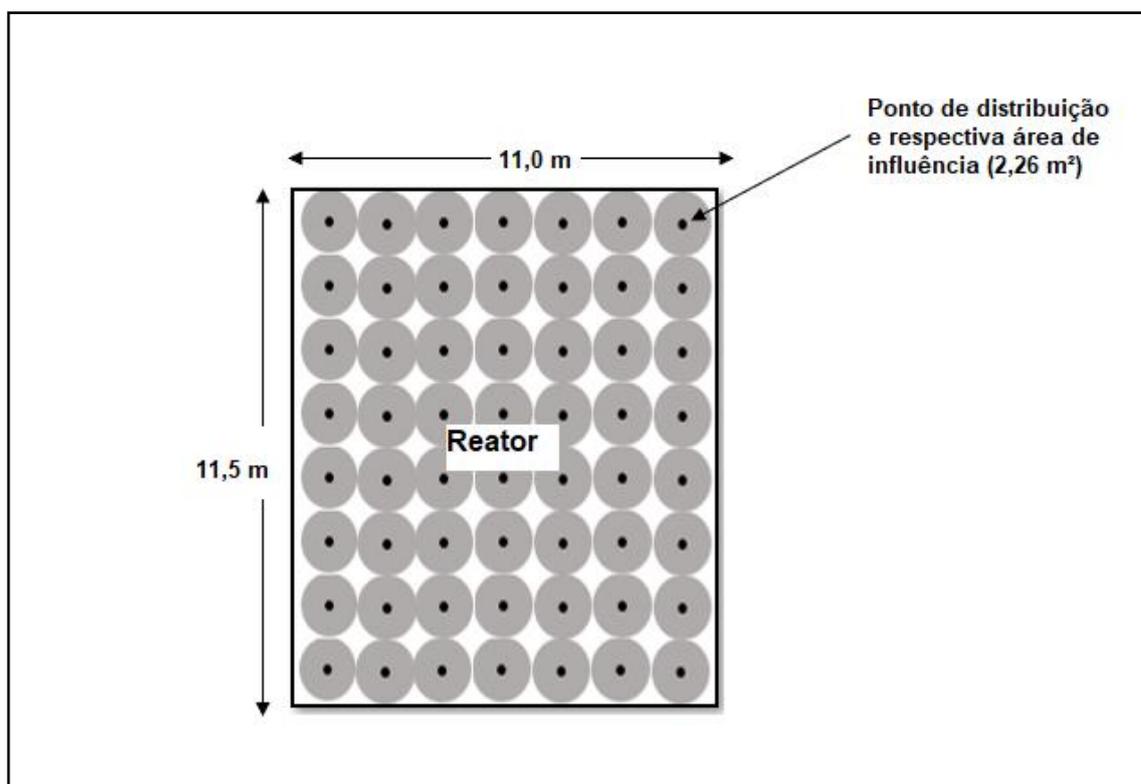
$$N_d = \frac{126,5}{2,25} \therefore N_d = 56,2 \text{ tubos}$$

Em função da necessária simetria do reator, adotam-se 56 tubos de distribuição, como a seguir:

- Ao longo do comprimento do reator (11,5 m): 8 tubos;
- Ao longo da largura de cada reator (11,0 m): 7 tubos.

Assim, foi adotado no reator 56 tubos de distribuição, com uma área de influência equivalente a  $A_d = 226,5/56 = 2,26$  m<sup>2</sup>. A figura 16 demonstra o esquema de distribuição do reator com as áreas de influência de cada tubo de distribuição.

Figura 16 - Esquema das áreas de influência de cada tubo de distribuição (fundo do reator)



Fonte: A autora (2019)

Para realizar a estimativa da eficiência de remoção de DQO do sistema foi utilizada a Equação 34:

$$ED_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * t^{-0,35}) \quad (34)$$

Em que:

$E_{DQO}$ = eficiência do reator UASB, em termos de DQO (%);

t: tempo de detenção hidráulica (h);

0,68: constante empírica;

0,35: constante empírica.

$$ED_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * t^{-0,35}) \therefore ED_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * t^{-0,35}) \therefore ED_{DQO} = 65,6 \%$$

Para realizar a estimativa da eficiência de remoção de DQO do sistema foi utilizada a Equação 35:

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70 * t^{-0,50}) \quad (35)$$

$E_{DBO}$ = eficiência do reator UASB, em termos de DBO (%);

t: tempo de detenção hidráulica (h);

0,70: constante empírica;

0,50: constante empírica.

$$\begin{aligned} \text{EDBO} &= 100 * (1 - 0,70 * t^{-0,50}) \therefore \text{EDQO} = 100 * (1 - 0,70 * 7^{-0,50}) \therefore \text{EDBO} \\ &= 73,5\% \end{aligned}$$

Após a estimativa das eficiências, determinou-se as concentrações de DQO e de DBO no efluente final, de acordo com a Equação 36:

$$S = S_0 - (E * S_0)/100 \quad (36)$$

$$\text{SDQO} = 600 - \frac{65,6 * 600}{100} = 206,4 \text{ mgDQO L}^{-1}$$

$$\text{SDBO} = 300 - \frac{73,5 * 300}{100} = 79,5 \text{ mgDBO L}^{-1}$$

Verificou-se, portanto, que a utilização de um reator anaeróbio reduzirá consideravelmente as concentrações de DQO e DBO do efluente que entrará na rampa de escoamento.

Realizou-se a determinação da produção de metano pela Equação 37:

$$\text{DQO CH}_4 = Q * (S_0 - S) - Y_{\text{obs}} * Q * S \quad (37)$$

Em que:

DQO<sub>CH4</sub>: carga de DQO convertida em metano (kgDQO<sub>CH4</sub> d<sup>-1</sup>);

Q: vazão de esgoto afluyente (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

S<sub>0</sub>: concentração de DQO afluyente (kgDQO m<sup>-3</sup>);

S: concentração de DQO efluente (kgDQO m<sup>-3</sup>);

Y<sub>obs</sub>: coeficiente de produção de metano (kgDQO<sub>CH4</sub> d<sup>-1</sup>), em termos de DQO.

$$\begin{aligned} \text{DQO CH}_4 &= Q * (S_0 - S) - Y_{\text{obs}} * Q * S \therefore \text{DQO CH}_4 \\ &= 1943,14 * (0,6 - 0,2064) - 0,21 * 1943,14 * 0,2064 \therefore \text{DQO CH}_4 \\ &= 519,98 \cong 520 \text{ kgDQO d}^{-1} \end{aligned}$$

Por meio das Equação 38 e 39, encontra-se a produção volumétrica de metano.

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO CH}_4}{f(T)} \quad (38)$$

$$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R \cdot (273 + T)} \quad (39)$$

Em que:

$Q_{CH_4}$  = produção volumétrica de metano ( $m^3 d^{-1}$ );

$f(T)$  = fator de correção para a temperatura operacional do reator ( $kgDQO m^{-3}$ );

$P$  = pressão atmosférica (1 atm);

$K_{DQO}$  = DQO correspondente a um mol de  $CH_4$  (64 gDQO  $mol^{-1}$ );

$R$  = constante dos gases (0,08206 atm L  $mol^{-1} K^{-1}$ );

$T$  = temperatura operacional do reator.

Após realização de cálculos e considerando a temperatura operacional do reator igual a 23°C, foi obtido o valor de  $f(T)$  igual a 2,64  $kgDQO m^{-3}$ .

Aplicando na Equação 38, verificou-se:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \therefore Q_{CH_4} = \frac{520}{2,64} \therefore Q_{CH_4} = 197 m^3 d^{-1}$$

Consecutivamente avaliou-se a produção de biogás pela Equação 40:

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad (40)$$

Em que:

$Q_{biogás}$ : produção volumétrica de biogás ( $m^3 d^{-1}$ );

$Q_{CH_4}$ : produção volumétrica do metano ( $m^3 d^{-1}$ );

$C_{CH_4}$ : concentração de metano no biogás, usualmente entre 70 a 80%.

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \therefore Q_{biogás} = \frac{197}{0,75} = 263 m^3 d^{-1}$$

Verificou-se, portanto, que a implementação do sistema, além de reduzir percentuais consideráveis de carga orgânica tem potencial gerador de energia, que poderá ser utilizado pelo próprio Campo Experimental.

Para o sistema de decantação, deve-se estipular primeiro o número de compartimentos de decantação em cada reator. Foi escolhido um sistema que terá como comprimento a própria largura do reator (11,0 m), e como largura, um valor da ordem de 2,5 a 3,5 (JORDÃO; PESSOA, 2017). Escolheu-se adotar o valor médio, ou seja, 3,0 m. Ademais, adotando uma largura do coletor de gás adjacente (a cada

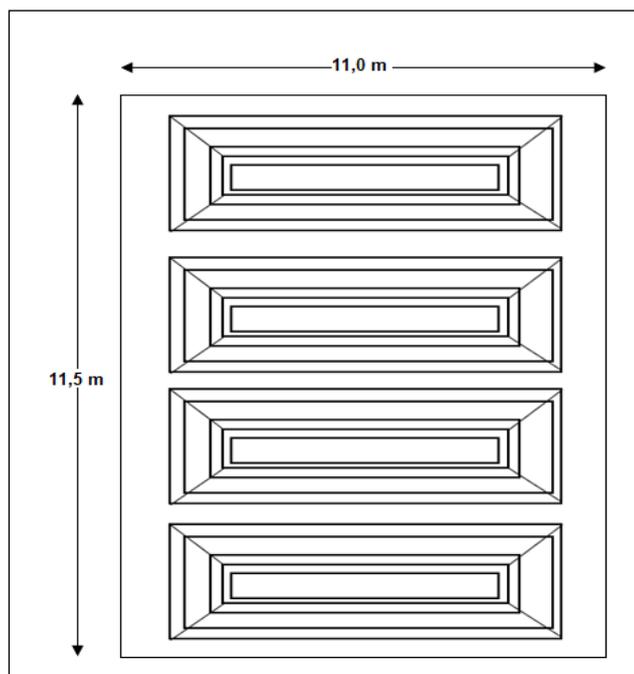
dois compartimentos de decantação) igual a 0,3 m, sendo 11,5 o comprimento do reator, o número de compartimentos de decantação ( $n_d$ ) pôde ser calculado:

$$11,5 = (3,00 * n_d) + (0,30 * n_d) \therefore n_d = 4 \text{ compartimentos}$$

- a área superficial de cada compartimento de decantação terá:  $11,5 \times 3,00 \text{ m} = 34,5 \text{ m}^2$ ;
- área de decantação no reator:  $34,5 \times 4 = 138 \text{ m}^2$ ;

Ressalta-se que foram adotados 4 separadores trifásicos, compatível ao número de compartimentos de decantação (figura 17).

Figura 17: Representação esquemática dos separadores trifásicos (planta superior)



Fonte: A autora (2019)

Quanto ao dimensionamento dos coletores de gases, foi determinado o uso de 4 coletores:

- Comprimento de cada coletor (ao longo da largura do reator): 6,00 m;
- Comprimento total de coletores de gases:  $C_{tg} = 6 \cdot 4 = 24,0 \text{ m}$ ;
- Largura de cada coletor, junto a interface líquido-gás:  $L_i = 0,25 \text{ m}$  (adotando o mínimo exigido);

- Área total de coletores de gases, junto à interface líquido-gás:  $A_i = 24,0 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 6 \text{ m}^2$
- Verificação da taxa de liberação de biogás, segundo a Equação 41:

$$K_g = \frac{Q_{\text{biogás}}}{A_i} \therefore K_g = 1,82 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1} \quad (41)$$

Verificou-se que a taxa de liberação está de acordo com a mínima de  $1,0 \text{ m}^3 \text{ gás/m}^2 \text{ h}$ .

Para finalizar o dimensionamento do Reator de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo, realizou-se o cálculo da produção de lodo, por meio da Equação 42.

$$P_{\text{lodo}} = Y * CO_{DQO} \quad (42)$$

Em que:

$P_{\text{lodo}}$  = produção de sólidos no sistema ( $\text{kgSST d}^{-1}$ );

$Y$  = coeficiente de sólidos no sistema ( $\text{kgSST/kgDQO}_{\text{aplicada}}$ );

$CO_{DQO}$  = carga de DQO aplicada ao sistema ( $\text{kgDQO d}^{-1}$ ).

$$P_{\text{lodo}} = Y * CO_{DQO} \therefore P_{\text{lodo}} = 0,18 * 1165,884 \therefore P_{\text{lodo}} = 210 \text{ kgSST d}^{-1}$$

Assim, o volume do lodo foi dado pela Equação 43;

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma * C_{\text{lodo}}} \quad (43)$$

Em que:

$V_{\text{lodo}}$  = produção volumétrica do lodo ( $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$ );

$\gamma$  = massa específica do lodo ( $1020 \text{ kgm}^{-3}$ );

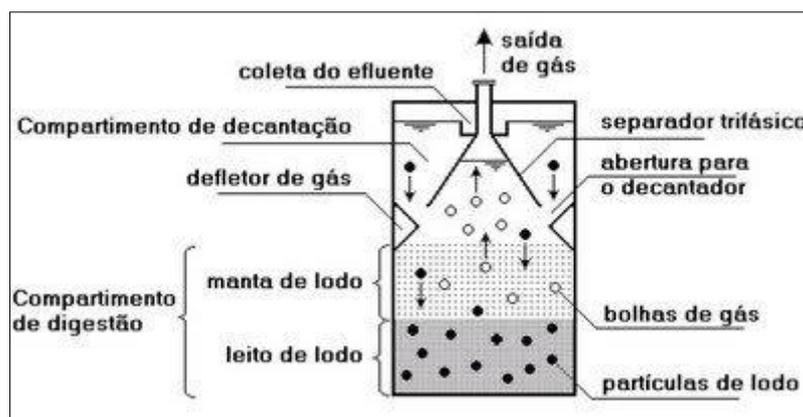
$C_{\text{lodo}}$  = concentração do lodo em (% = 4%).

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma * C_{\text{lodo}}} \therefore V_{\text{lodo}} = 5,15 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

O lodo gerado deverá ser adensado, estabilizado, condicionado, desidratado, higienizado e encaminhado à disposição final, que poderá ser uma reciclagem agrícola, recuperação de áreas degradadas, *landfarming*, uso não agrícola, incineração, oxidação úmida ou aterro sanitário (SPERLING, 2014).

A figura 18 apresenta um desenho esquemático de um reator UASB, para exemplificação do sistema dimensionado.

Figura 18: Desenho esquemático de um reator UASB



Fonte: Chernicharo (2016)

## 5.6 Dimensionamento da rampa de escoamento

O dimensionamento das rampas foi baseado no memorial descritivo da COPASA e na literatura de Matos e Matos (2017).

Na locação das rampas de escoamento superficial, que ocupam área significativa do terreno, posicionou-se a maior dimensão delas paralela às curvas de nível. Ademais, na seção longitudinal seção mista, ou seja, um aterro na cabeceira das rampas e um corte no final. Essa técnica de locação e conformação foi aplicada pela COPASA e acredita-se que o sistema deve ser mantido para reduzir o volume de escavação e o custo de implantação.

Ressalta-se que o terreno da ETE possui declividade na ordem de 2% e as rampas dimensionadas de 5% e que o efluente chega até as rampas por gravidade, não sendo necessário o uso de elevatória.

Para determinar a largura da rampa, utilizou-se o critério de vazão por unidade de largura de faixa (MATOS; MATOS, 2017). Por meio da Equação 44, determinou-se que:

$$L = \frac{Q}{TA} \quad (44)$$

Em que:

L= largura da rampa (m);

Q= vazão média ( $m^3 h^{-1}$ );

TA= taxa de aplicação.

Como preconizado por Matos e Matos (2017), a taxa de aplicação de águas residuárias nas rampas de escoamento deve estar, preferencialmente entre 0,05 a 0,32 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>. Adotou-se uma aplicação contínua, com frequência de 7 dias, a uma taxa de aplicação de 0,32 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. Tem-se, portanto:

$$L = \frac{Q}{TA} \therefore L = \frac{81 \text{ m}^3/\text{h}}{0,32 \text{ m}^3/\text{h.m}} \cong 250 \text{ m}$$

É recomendado que as rampas tenham largura igual ou superior ao seu comprimento, pois há a melhora do desempenho do sistema, diminuindo a formação de zonas mortas e aumentando a uniformidade da distribuição da água residuária no sistema (MATO, MATOS; 2017). Assim, foram adotadas rampas com largura de 25 metros e comprimento de 30 metros,

Para a construção das rampas, foram adotados módulos de escoamento. Considerando que as rampas interferem significativamente nos custos totais do empreendimento, em vez de serem construídos 20 módulos de 25 metros de largura (10 em operação e 10 em descanso), foi considerada a construção de 10 módulos (5 em operação e 5 em descanso).

Este resultado derivou da etapalização do processo, pois conforme figura de projeção populacional disponibilizada pela COPASA, em 2024 (1<sup>a</sup> etapa do empreendimento), a vazão média terá alcance de 42 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Ademais, proposição de rampas de repouso é recomendada para permitir oxigenação indispensável para oxidação do material orgânico.

Ressalta-se que a aplicação será contínua, com frequência de 7 dias semanais.

Foi utilizado o modelo matemático da Equação 45, da Universidade da Califórnia (EPA,1981) para a concentração relativa de DBO em esgoto doméstico em escoamento em rampas de solo vegetado. Ressalta-se que o modelo é apresentado em Matos e Matos (2017).

$$\frac{C_s}{C_0} = 0,72 \times e^{(-0,01975 * q^{0,5} * \frac{z}{L})} \quad (45)$$

Em que:

C<sub>s</sub>= concentração de DBO no ponto z (mg L<sup>-1</sup>);

C<sub>0</sub> = concentração inicial de DBO (mg L<sup>-1</sup>);

A= constante;  
 K= coeficiente de decaimento ( $m^{-1}$ ); e  
 z= distância percorrida na rampa (m).

Foi observada uma concentração de DBO efluente do UASB de 79,5  $mg L^{-1}$ . Ademais, foi considerado um comprimento Z de 30 m.

$$\frac{C_s}{C_0} = 0,72 \times e^{(-0,01975 * q^{0,5} * \frac{z}{0,5})} \therefore C_s = 22,43 \text{ mg } L^{-1}$$

Considerando a taxa de aplicação de  $0,32 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , não foi apresentado por Matos e Matos (2017) um modelo matemático geral de remoção de DQO assim como foi apresentado o modelo EPA (1981) acima. O modelo exposto restringe-se ao cultivo com azavém e aveia-preta. Sendo assim, de forma geral, nos resultados de pesquisas têm sido consideradas as seguintes eficiências na remoção de poluentes: 70 a 85% de DQO, 70% a 85% da DBO, 60% a 80% do  $P_{total}$  e 50% a 90% para  $N_{total}$  (MATOS; MATOS, 2017).

Diante das colocações, foi adotada uma remoção de 70% de DQO, estimando uma concentração efluente de  $61,92 \text{ mg } L^{-1}$ .

Como preconizado por Matos e Matos (2017) as maiores taxas de remoção de nutrientes ocorrem nos primeiros metros de rampa. Loures (2002) obteve nos primeiros 8 m de comprimento de rampa, com 2% de declividade, para uma taxa de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  de esgoto doméstico, eficiências de remoção de 66,4% para  $DBO_5$  e de 62,5% para DQO.

Nesse sentido, optou-se por um tratamento secundário, de degradação anaeróbia, anterior às rampas, para melhorar a eficiência da ETE projetada e também garantir a uniformidade de distribuição do afluente. Se os sólidos suspensos estiverem presentes em concentrações altas, é viável efetuar um tratamento preliminar e secundário, evitando problemas ao solo e à vegetação cultivada nas rampas (MATOS; MATOS, 2017).

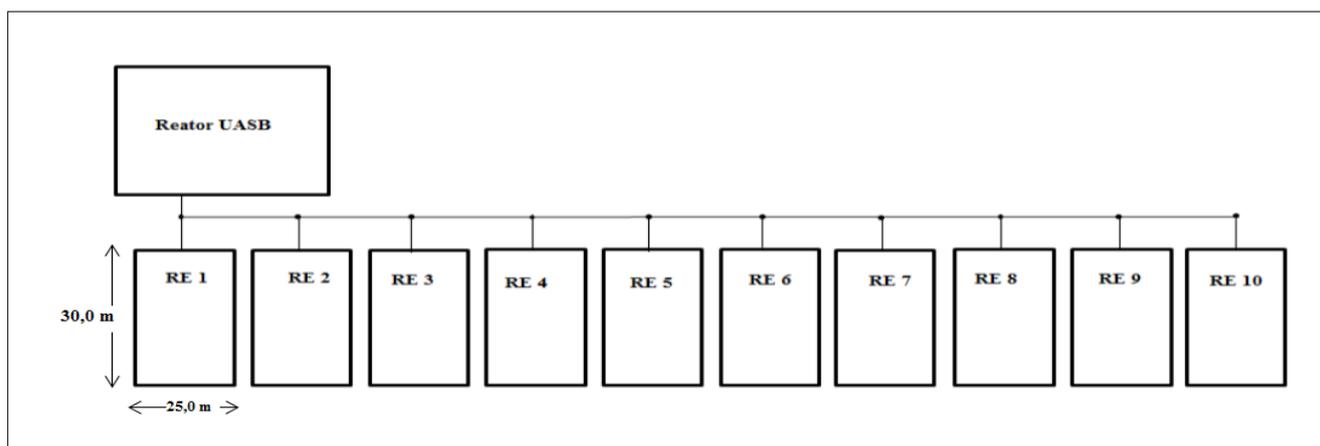
Diante de uma concentração do efluente final do Reator UASB de  $79,5 \text{ mg } L^{-1}$  DBO, certificou-se que esse sistema teve uma eficiência de remoção de aproximadamente 72%. Fonseca (2000) obteve remoções de 54% a 75% e de 47% a 75%, para taxas de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  a  $0,36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , respectivamente.

Quanto à eficiência do método de escoamento superficial verificou-se que este é eficiente na remoção de alguns contaminantes da água residuária, como o

fósforo, que se deve à retenção de sólidos suspensos nos primeiros metros de rampa. É muito eficiente na remoção de nitrogênio, sendo citados valores entre 60% e 90%. No entanto, a remoção de fósforo é menor, com aproximadamente 50%, assim como a redução nos valores de coliformes totais e fecais demonstra, em que a técnica se mostra menos eficiente (MATOS; MATOS, 2017).

No entanto, para fins desse estudo, propôs-se um sistema posterior às rampas de escoamento, melhorando a eficiência do processo, na remoção e reduzindo os riscos sanitários mencionados no referencial teórico. A figura 19 demonstra a vista de cima das rampas, com unidades de 25 metros de largura por 30 metros de comprimento.

Figura 19: Vista de cima das rampas de escoamento



Fonte: A autora (2019)

## 5.7 Dimensionamento da Lagoa de Maturação

### 5.7.1 Remoção de organismos patogênicos

As lagoas de maturação são projetadas com a finalidade de remover organismos patogênicos, entre eles bactérias vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Também possibilitam um polimento no efluente de qualquer sistema de tratamento de esgotos. Ressalta-se, portanto, o objetivo da implementação das lagoas de maturação, que tem como principal objetivo remoção de patógenos e não a remoção adicional de DBO. Constituem-se, assim, de uma alternativa econômica à desinfecção do efluente por métodos como a cloração (SPERLING, 2019).

O dimensionamento da Lagoa de Maturação foi realizado por meio das literaturas de Sperling (2017) e Jordão e Pessoa (2017). Em projetos para a remoção de coliformes, os principais parâmetros são o tempo de detenção hidráulica (t), a profundidade da lagoa (H), o número de lagoas (n), e a relação comprimento/largura (L/B).

A alternativa escolhida foi a utilização de três lagoas de maturação em série. Conforme resumo abaixo, das faixas de valores típicos de  $K_b$  (20°C) para lagoas de maturação, adotou-se um valor para o tempo de detenção hidráulica (t), conforme as faixas de valores típicos de  $K_b$  (Tabela 19).

Tabela 19: Resumo das faixas de valores típicos de  $K_b$

<b>Tipo de Lagoa</b>	<b>Tempo de detenção t (d)</b>	<b>Profundidade H (m)</b>	<b>Relação (L/B)</b>	<b><math>K_b</math> mistura completa (d<sup>-1</sup>)</b>
Maturação em série	3 a 5 (em cada lagoa)	0,8 a 1,2	1 a 3	0,6 a 1,2

Fonte: Sperling (2017) adaptado

Assim, o volume das lagoas é calculado adotando o tempo de detenção total igual a 12 dias (4 dias em cada lagoa). Logo:

$$V = t * Q \therefore V = 4 \text{ d} * 1943,14 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \therefore V = 7772,56 \text{ m}^3 \text{ (Adotou-se } 8000,00 \text{ m}^3)$$

Usualmente as lagoas de maturação são projetadas com baixas profundidades, maximizando a fotossíntese e os efeitos bactericidas da radiação UV (SPERLING, 2017). Adotou-se uma profundidade H de 1 metro. Portanto:

- Área superficial de cada lagoa:  $A=V/H= 8000\text{m}^3/1\text{m}= 8000\text{m}^2$ ;
- Área superficial total=  $8000 \text{ m}^2 \times 3= 24000\text{m}^2$ .

Adotou-se uma relação de L/B igual a 2 metros, com uma lagoa retangular, de forma a reduzir o número de dispersão e aumentar a eficiência de remoção de coliformes.

Assim, as dimensões foram:

- Número de lagoas: 3 (preferencialmente adotam-se três ou mais)
- Comprimento: 128 metros.

- Largura: 64 metros.

A área total requerida pela lagoa de maturação, incluindo taludes e vias é em torno de 25% superior à área líquida determinada. Portanto, a área total estimada :  $1,25 \times 24.000 \text{ m}^2 = 30.000 \text{ m}^2$

A estimativa da remoção de patógenos foi dada conforme o regime hidráulico de mistura completa, por meio da Equação 46:

$$N = \frac{N_0}{(1 + K_b \cdot \frac{t}{n})^n} \quad (46)$$

Em que:

$N_0$  = contagem de coliformes no afluente (org/100 ml);

$N$  = contagem de coliformes no efluente (org/100ml);

$K_b$  = coeficiente de decaimento bacteriano ( $\text{d}^{-1}$ );

$t$  = tempo de detenção total (d);

$n$  = número de lagoas em série.

O valor do coeficiente de decaimento foi corrigido, conforme a Equação 47 abaixo:

$$K_{bT} = K_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (47)$$

Em que:

$K_{bT}$  = coeficiente de decaimento bacteriano em uma temperatura do líquido T qualquer;

$K_{b20}$  = coeficiente de decaimento bacteriano na temperatura do líquido de 20°C;

$\Theta$  = coeficiente de temperatura.

Adotando um  $K_b$  (20°C) de  $1,2 \text{ d}^{-1}$  para lagoas secundárias e um  $\Theta$  de 1,07 verificou-se:

$$K_t = K_{20} * \theta^{(T-20)} \therefore K_t = 1,2 * 1,07^2 \therefore K_t = 1,4 \text{ d}^{-1}$$

Conforme a tabela 11 apresentada no referencial teórico, o esgoto bruto possui em torno de  $10^6 \text{ CF}/100 \text{ mL}$ . Sperling (2014) afirma que o sistema formado por UASB e escoamento superficial (rampa de escoamento) tem uma eficiência de remoção de coliformes de 2 a 3 unidades logarítmicas. Se considerarmos 2 unidades, a eficiência conferida ao sistema é de aproximadamente 99%. Jordão e

Pessoa (2017) assume ainda que o uso de reator UASB mais um polimento tem eficiência de 99,999% na redução de organismos patogênicos do tipo bactérias. No entanto, para este estudo propôs-se ainda o sistema de lagoa de maturação, a fim de eliminar quaisquer outras evidências de coliformes fecais.

Assumindo uma remoção de 3 unidades logarítmicas, ou seja, remoção de 99,9% de coliformes, no sistema precedente, verificou-se uma contagem de coliformes afluente à lagoa de maturação de  $10^3$  CF/100 ml. Assim, a estimativa de patógenos efluente do sistema foi de:

$$N = \frac{N_0}{(1 + Kb * \frac{t}{n})^n} \therefore N = \frac{10^3}{(1 + 1,4 * \frac{12}{3})^3} \therefore N = 3,48 \frac{CF}{100} mL$$

A eficiência da lagoa é dada por:

$$E = \frac{N_0 - N}{N_0} \therefore E = \frac{10^3 - 3,97}{10^3} \therefore E = 0,9965 = 99,60\%$$

Para calcular a eficiência de remoção de helmintos em lagoas de maturação utiliza-se a Equação 48:

$$E = 100 * [1 - 0,14. e^{(-0,49.t+0,0085.t^2)}] \quad (48)$$

Admitindo que t é o tempo de detenção hidráulica em cada lagoa em série, tem-se:

$$E = 100 * [1 - 0,14. e^{(-0,49.4+0,0085.4^2)}] \therefore E_1 = 98 \%$$

Considerando que no esgoto afluente tem  $10^3$  ovos  $L^{-1}$ , a concentração afluente na segunda lagoa foi de 20,0 ovos  $L^{-1}$ , na terceira lagoa foi de 0,4 ovos  $L^{-1}$ . Observou-se, portanto, que em termos práticos o valor corresponde a valores nulos no efluente, sendo eficiente ao que se propunha ( $\leq 1$  ovo de helmintos por litro de água residuária tratada).

Conforme tabela 6, sobre as recomendações relativas à qualidade microbiológica, para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto, não é recomendável a presença de coliformes fecais no efluente para pastagens, mas em revisões posteriores, sugeriu-se  $10^4 - 10^5$  CTer 100 mL. Acredita-se que o sistema composto por reator UASB + Rampa de Escoamento + Lagoa de Maturação dimensionado atendeu às recomendações.

A Tabela 20 apresenta diretrizes da OMS de 2006. Considerando a Categoria C para pastagens, verificou-se que o efluente deverá ter um valor  $\leq 10^5$  *E. coli* 100 mL<sup>-1</sup>, enfatizando que o sistema dimensionado atendeu às recomendações. No entanto, para certificar-se quanto a ausência de microrganismos patogênicos, deve-se levar em consideração o tempo de sobrevivência de patógenos e coliformes em produtos agrícolas e forrageiros (Tabela 7). Dessa maneira, é necessário um período de pousio do pasto equivalente ao período determinado de vida dos coliformes em produtos agrícolas. Ademais, deve-se atentar às práticas de manejo na área, como podas frequentes que podem auxiliar na exposição do pasto à radiação ultravioleta e conseqüentemente desinfecção de microrganismos.

Tabela 20 - Diretrizes OMS para uso agrícola de esgotos sanitários

Categoria irrigação	Opção	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (log <sub>10</sub> )	Qualidade do efluente	
			E. coli 100 mL <sup>-1</sup>	Ovos de helmintos L <sup>-1</sup>
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$	$\leq 1$
	B	3	$\leq 10^4$	
	C	2	$\leq 10^5$	
	D	4	$\leq 10^6$	
	E	6 ou 7	$\leq 10^7$	
Restrita	F	4	$\leq 10^8$	
	G	3	$\leq 10^9$	
	H	< 1	$\leq 10^{10}$	

Fonte: WHO (2006)

### 5.7.2 Remoção de DBO

Mesmo que a lagoa de maturação não tenha como objetivo principal o cálculo da DBO é possível estimá-la pela Equação 49:

$$S = \frac{S_0}{(1 + K \cdot \frac{t}{n})^n} \quad (49)$$

Em que:

S<sub>0</sub>= concentração de DBO total afluente (mg L<sup>-1</sup>);

S= concentração de DBO solúvel efluente (mg L<sup>-1</sup>);

K= coeficiente de remoção de DBO (d<sup>-1</sup>);

t= tempo de detenção total (d);

$n$  = número de lagoas em série.

O valor do coeficiente de remoção de DBO foi corrigido, assim como o coeficiente de decaimento. Portanto, adotando um  $K_b$  (20°C) de 0,32 d<sup>-1</sup> para lagoas secundárias e um  $\Theta$  de 1,05, verificou-se:

$$KT = K_{20} * \theta^{(T-20)} \therefore KT = 0,32 * 1,05^2 \therefore KT = 0,35 \text{ d}^{-1}$$

$$S = \frac{S_0}{(1 + K * \frac{t}{n})^n} \therefore S = \frac{22,43}{(1 + 0,35 * \frac{12}{3})^3} = 1,62 \text{ mg L}^{-1} \text{ DBO}$$

Diante de todo o sistema empregado, foi possível constatar ótima remoção de matéria orgânica no sistema.

## 5.8 Área de fertirrigação

Após sair das lagoas de maturação em série, o efluente chegará à área de fertirrigação por gravidade. A área de fertirrigação corresponde a 20,5 ha. A vazão considerada foi a vazão média. Ou seja, a vazão média que terá alcance até 2024 ( $1028,16 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ ). Foram adotadas 7 subáreas, e para cada uma delas, foi disponibilizada uma área de 2,93 hectares. Assim, em cada dia da semana, a operação do sistema irrigará uma área.

## 5.9 Determinação da taxa de aplicação

Para se avaliar as necessidades básicas nutricionais das plantas e evitar adição de nutrientes acima da capacidade do solo de retê-los, Matos e Matos (2017) recomenda equacionar a dose do efluente a ser aplicado, tomando-se por base o nutriente cuja quantidade seja satisfeita com a menor dose. É determinado um elemento químico referencial utilizado para definição de água residuária, geralmente N, P, K. A Equação 50 determina a dose da seguinte forma:

$$D_{ref} = \frac{Q_{req}}{C_{disp-resíduo}} \quad (50)$$

Em que:

$D_{ref}$ = estimativa da dose recomendada considerando os elementos químicos de interesse (massa ou volume por unidade de área de solo e tempo);

$Q_{req}$ = quantidade requerida de nutrientes aceitável de poluentes (massa por unidade de área)

$C_{disp-resíduo}$ = concentração de nutrientes disponibilizável pelo resíduo (massa por unidade de volume ou massa e tempo).

No esgoto doméstico (Tabela 4) verifica-se que o elemento em maior concentração, dos mencionados, é o nitrogênio e, portanto, apresentará menor estimativa da dose. Assim, como a dose é a menor, esse elemento químico foi utilizado como referencial para definição da dose de água residuária a ser aplicada, a fim de não fornecer nutrientes acima dos requeridos pela cultura (MATOS; MATOS, 2017).

Assim, a determinação da dose ( $D_{AR}$ ) foi obtida pela relação a seguir, baseada no método do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa. Ressalta-se que a cultura escolhida foi o Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*).

$$D_{AR} = \frac{N \text{ absorvido pela cultura} - N \text{ disponibilizado do solo}}{N \text{ disponibilizado pela água residuária}}$$

A Equação 51 definiu a dose de aplicação:

$$D_{AR} = 1000 \left[ N_{abs} - \left( T_{m1} * MO * \rho_s * p * 10^7 * 0,05 * \frac{n}{12} \right) \right] / \left[ T_{m2} * \frac{n}{12} * N_{org} + (N_{am} + N_{nitrate}) * PR \right] \quad (51)$$

Em que:

$D_{AR}$  = taxa de aplicação ou dose de aplicação ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );

$N_{ABS}$  = absorção de N pela cultura para a obtenção da produtividade desejada ( $144 \text{ kg ha}^{-1}$ );

$N_{DISP-SOLO}$ : N aproveitável disponibilizado com a mineralização do material orgânico já contido no solo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$T_{m1}$  = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo ( $0,01 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

$MO$  = conteúdo de MO orgânica do solo (adotando  $0,03 \text{ Kg Kg}^{-1}$ );

$\rho_s$  = massa específica do solo (adotando latossolo vermelho) ( $1 \text{ g cm}^{-3}$ );

$P$  = profundidade do solo considerada (m) (0,2 m)

$n/12$  = fração do ano relativa ao período de cultivo (ano) (Será considerado o ano inteiro, portanto  $n=12$ ).

$T_{m2}$  = taxa de mineralização do  $N_{org}$  ( $0,2 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para lodo digerido anaerobiamente).

$PR$  = por possuir sistema radicular fasciculado e relativamente profundo, o capim-elefante proporciona uma recuperação entre 70 a 85% do nitrogênio aplicado na forma mineral (MATOS; MATOS, 2017). Portanto, será considerado  $PR = 0,7$ .

Foi definida uma dose de aplicação baseada na etapalização da área de fertirrigação. Ou seja, como o sistema dimensionado é válido para até 2024, utilizou-se a vazão de  $1028,16 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  e a população de 6760 habitantes.

A concentração do nitrogênio amoniacal foi de  $4,5 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , resultando em uma carga de  $30420 \text{ g d}^{-1}$  ( $30,42 \text{ kg d}^{-1}$ ). A concentração de nitrogênio verificada na tabela 10 foi de  $3,5 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , resultando em uma carga de  $23660 \text{ g d}^{-1}$  ( $23,66 \text{ kg d}^{-1}$ ). Não foi informada a carga de nitrato, sendo considerada zero. Assim, a concentração de nitrogênio orgânico será:

- $N_{\text{amon}} = (30,42 * 1000) / 1028,16 = 29,6 \text{ gm}^{-3}$  ou  $29,6 \text{ mg L}^{-1}$ ;
- $N_{\text{org}} = (23,66 * 1000) / 1028,16 = 23,01 \text{ gm}^{-3}$  ou  $23,02 \text{ mg L}^{-1}$ ;
- $N_{\text{nitrato}} = 0$ ;
- $N_{\text{total}} = N_{\text{amon}} + N_{\text{org}} + N_{\text{nitrato}} = 29,6 + 23,02 = 52,8 \text{ mg L}^{-1}$

Assim, a dose de aplicação foi calculada:

$$D_{\text{AR}} = \frac{1000 \left[ 144 - \left( 0,01 * 0,03 * 1 * 0,2 * 10^7 * 0,05 * \frac{12}{12} \right) \right]}{\left[ 0,2 * \frac{12}{12} * 23,02 + (29,6 + 0) * 0,7 \right]} \therefore D_{\text{AR}} = 4500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$= 450 \text{ mm ano}^{-1}$$

Ressalta-se que só será lançada na área de fertirrigação a dose necessária, sendo importante a adoção de um sistema que reserve a água que não será utilizada, como bacias de infiltração.

### 5.9.1 Riscos Ambientais

Independentemente do método de tratamento escolhido para disposição de águas residuárias no solo, deve-se atentar à taxa de aplicação e também aos riscos ambientais da aplicação (fertirrigação), preocupando-se com a contaminação das águas subterrâneas e superficiais, contaminação das plantas por metais pesados e microrganismos patogênicos (MATOS; MATOS, 2017).

Quando o solo está com conteúdo de água acima da capacidade de campo é baixa a capacidade de infiltração da água residuária no solo, podendo o resíduo alcançar canais de drenagem e cursos d'água. Nesse sentido, o aumento na concentração de N, P e K nas águas superficiais pode promover o crescimento de plantas aquáticas e algas, reduzindo os fins mais nobres da água. Outro ponto focal é a salinização do solo, que ocorre devido as altas concentrações de sais no solo. Este é um fator de estresse para as plantas, ocasionando abaixamento do potencial osmótico da água, tornando a água menos disponível para as plantas, afetando seu desenvolvimento (MATOS; MATOS, 2017).

O cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) se faz importante para o monitoramento do solo. É avaliado o risco de dispersão de argila, sendo que elevadas concentrações de  $\text{Na}^+$  na solução do solo em comparação com o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  tendem a deteriorar sua estrutura: dispersão dos coloides, entupimentos dos macroporos. E assim, decréscimo na permeabilidade à água e aos gases (ERTHAL, 2010). Ademais, a RAS juntamente com pH são parâmetros utilizados para caracterizar solos salinos e sódicos (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

Ressalta-se ainda que as investigações de solo devem ser realizadas em conjuntos com as análises de águas subterrâneas. Deve-se realizar monitoramento segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, acompanhando os valores de referência de qualidade, investigação e prevenção, garantindo a qualidade destes. As águas subterrâneas representam uma das principais preocupações no processo de viabilização do uso agrícola, pois as águas residuárias dispostas no solo podem se somar à componente de infiltração das chuvas na recarga dos aquíferos (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006). E, se o monitoramento durante a fertirrigação não for adequado e eficaz, pode haver a contaminação dos aquíferos.

Entende-se, portanto, que os fatores limitantes para uma aplicação sustentável de doméstico tratado no solo são a salinidade, sodicidade, lixiviação do nitrato para águas subterrâneas e a lixiviação do fósforo ou seu acúmulo (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

### **5.11 Discussões finais**

Diante da proposta de dimensionamento de um sistema de tratamento de efluentes domésticos, produzidos pela cidade de Felixlândia, em Minas Gerais, foi idealizado um sistema baseado em tratamento preliminar, reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, rampas de escoamento e lagoa de maturação. A estação de tratamento de efluente doméstico foi dimensionada para um alcance de 12702 habitantes, até 2039. Verificou-se, portanto que o sistema empregado alcançou o objetivo de atender 90% da população municipal, que segundo dados do IBGE, possui 14121 habitantes.

Foi idealizado um tratamento que pudesse alcançar níveis satisfatórios de remoção de carga orgânica e sólidos. Por isso, decidiu-se implementar além das rampas de escoamento, o reator UASB, que trouxesse a confiabilidade necessária ao tratamento. A utilização do reator em conjunto com o escoamento superficial foi capaz de trazer uma eficiência de 92,5 % de remoção de carga orgânica (DBO) e uma eficiência de remoção de sólidos suspensos, como mencionado por Sperling (2014) na faixa de 80 a 93 %. Em adição, com a utilização das lagoas de maturação, o sistema teve eficiência de remoção de DBO de aproximadamente 99,5%, considerando que o líquido efluente das lagoas teve concentração de 1,62 mg L<sup>-1</sup>.

É conveniente ressaltar que a implantação de um reator anaeróbio envolve aspectos que devem ser controlados e monitorados como odor, atração de insetos, contaminação do subsolo e água. Mas, tendo em vista os benefícios trazidos à população, com o tratamento do efluente doméstico, a utilização da técnica é viável. O transporte do lodo deve ser realizado com segurança também. Propõe-se que o lodo, após tomada das devidas providências, seja encaminhado ao aterro conveniado ao município.

Além de se atentar à produção de lodo, deve-se preocupar também com a produção e o manejo de gás, como o biogás. Nesse sentido, a estação pode vir a ser fonte geradora de energia e ser autossuficiente, como proposto por Coelho (2015), que estudou as perspectivas de geração de energia elétrica a partir da recuperação e do uso do biogás advindo do processo de tratamento anaeróbio de esgotos domésticos. Coelho (2015) conclui que o aproveitamento energético de biogás da ETE em estudo chegou próximo de sua autossuficiência, ou seja, o biogás supre quase toda a necessidade energética da estação. Proposições como essa são objeto de estudo de outros experimentos.

Por meio da implantação das lagoas de maturação em série e das técnicas anteriormente empregadas, o sistema dimensionado poderá ser direcionado a área de fertirrigação e posteriormente ao consumo bovino, seguindo as recomendações explicitadas anteriormente. Neste sentido, o sistema apresentado foi uma complementação do sistema da COPASA. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração (CHERNICHARO,2017). Autores como Jordão e Pessoa (2017), Chernicharo (2017), Sperling (2014) apresentam como desvantagem da técnica o elevado requisito de área. No entanto, como a área experimental se

trata de uma fazenda e que foram destinados 12,5 hectares para implantação da ETE (excluindo a área de fertirrigação), esse aspecto aparentemente não é um fator limitante.

Além de técnicas convencionais de tratamento de efluentes domésticos que podem envolver reatores, decantadores e filtros, foram adotados o escoamento superficial e a fertirrigação de pastagem, que foram diferenciais no estudo. Muitas são as vantagens para disposição de águas residuárias no solo, dentre elas o baixo investimento, o benefício agrícola, o pequeno custo de operação das unidades de tratamento, o baixo consumo de energia e a não existência de efluentes a serem lançados em corpos d'água (MATOS; MATOS, 2017).

Quanto ao arcabouço legal, na legislação brasileira, Resolução CONAMA nº 430/2011 é estabelecido que para o lançamento em corpos d'água, a DBO seja menor que  $120 \text{ mg L}^{-1}$ . Na legislação do Estado de Minas Gerais, estabelecida na DN COPAM/CERH nº 01/2008, considera uma DBO máxima de  $60 \text{ mgL}^{-1}$ . Desse modo, verificou-se também que em caso de necessidade, a água residuária tratada poderia ser lançada em corpos hídricos, sem provocar alteração na classe do enquadramento do curso d'água. Como explicitado na fundamentação teórica, não há uma recomendação internacional para aplicação dos efluentes no sólido, sendo utilizada na situação as diretrizes da OMS. No entanto, deve-se efetuar a remoção de nutrientes antes do lançamento em corpos d'água, a fim de se evitar floração algal e eutrofização.

Ademais, é conveniente ressaltar que para fins desse estudo não foram considerados aspectos construtivos. Ou seja, os resultados apresentados foram analisados no âmbito das normas pertinentes à Engenharia Ambiental e Sanitária, e não de Engenharia Civil.

Por fim, apresentou-se a figura 20 e tabela 21, em que a primeira simplifica os dados dimensionados para a ETE de Felixlândia - MG, auxiliando na compreensão dos resultados encontrados e a segunda apresenta a eficiência de remoção de DBO de cada unidade da ETE.

Figura 20: Resultados do dimensionamento da ETE de Felixlândia - MG

Gradeamento	Desarenador	Calha Parshall	Reator UASB	Rampas de Escoamento	Lagoas de Maturação	Área de Fertirrigação
<p><math>E = 0,76</math></p> <p>AU para <math>h_{máx} = 0,0972 \text{ m}^2</math></p> <p>AT para <math>h_{máx} = 0,1274 \text{ m}^2</math></p> <p><math>b = 0,5 \text{ m}</math></p> <p><math>v = 0,45 \text{ m/s}</math></p> <p><math>N_b = 19</math></p> <p><math>N_e = 20</math></p>	<p><math>A = 0,1163 \text{ m}^2</math></p> <p><math>h_{mín} = 0,1097 \text{ m}</math></p> <p><math>h_{máx} = 0,2598 \text{ m}</math></p> <p><math>b = 0,45 \text{ m}</math></p> <p><math>L = 6,00 \text{ m}</math></p> <p>TAS = 1116,4815 <math>\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}</math></p> <p><math>h = 0,5 \text{ m}</math></p>	<p><math>W = 3'</math></p> <p><math>n = 1,547</math></p> <p><math>K = 0,176</math></p> <p>Comprimento da seção convergente = 62,1 cm</p> <p>Largura da seção divergente = 39,4 cm</p> <p>Largura da seção convergente = 32,1 cm</p> <p><math>Z = 0,0915 \text{ m}</math></p>	<p><math>L_0 = 1165,884 \text{ kg DQO/d}</math></p> <p><math>V_r = 570 \text{ m}^3</math></p> <p><math>A_r = 126,5 \text{ m}^2</math></p> <p><math>H_{\text{útil}} = 4,5 \text{ m}</math></p> <p>TDH = 7 h</p> <p>CHV = 3,41 <math>\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}</math></p> <p>CV = 2,05 <math>\text{kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{d}</math></p> <p><math>v_{\text{méd}} = 0,64 \text{ m/h}</math></p> <p><math>N_d = 56 \text{ tubos}</math></p> <p><math>A_d = 2,26 \text{ m}^2</math></p> <p>E DQO = 65,6 %</p> <p>E DBO = 73,5 %</p> <p>DQOCH4 = 520 <math>\text{kgDQO/d}</math></p> <p>SDBO = 79,5 <math>\text{mg/L}</math></p> <p>SDQO = 206,4 <math>\text{mg/L}</math></p> <p>QCH4 = 197 <math>\text{m}^3/\text{d}</math></p> <p>Q biogás = 263 <math>\text{m}^3/\text{d}</math></p> <p>nº de separadores trifásicos = 4</p> <p>P lodo = 210 <math>\text{kg SST/d}</math></p> <p>V lodo = 5,15 <math>\text{m}^3/\text{d}</math></p>	<p><math>i = 5\%</math></p> <p><math>L = 25 \text{ m}</math></p> <p><math>C = 30 \text{ m}</math></p> <p>nº de módulos = 10</p> <p>Aplicação = 7 dias semanais</p> <p>Cs = 22,43 <math>\text{mg/L de DBO}</math></p> <p>TA = 0,32 <math>\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}</math></p>	<p><math>A_s = 8000 \text{ m}^2</math></p> <p>nº de lagoas = 3</p> <p>AT = 30000 <math>\text{m}^2</math></p> <p>L/B = 2 m</p> <p><math>L = 128 \text{ m}</math></p> <p><math>B = 64 \text{ m}</math></p> <p><math>N = 3,48 \text{ CF}/100 \text{ ml}</math></p> <p>E = 99,60% para Coliformes</p> <p>E para remoção de helmintos em cada lagoa = 98%</p> <p>SDBO = 1,62 <math>\text{mg/L}</math></p>	<p>DAR = 450 <math>\text{mm/ano}</math></p>

Fonte: A autora (2019)

Tabela 21 – Eficiência de Remoção de DBO em cada unidade da ETE dimensionada

	<b>Reator UASB</b>	<b>Rampa de Escoamento</b>	<b>Lagoa de Maturação</b>	<b>Sistema Completo</b>
<b>Eficiência de remoção de DBO*</b>	73,5%	72,0%	93,0%	99,5%

\* A concentração afluyente de DBO foi de 300mg/L. Após percorrer o sistema, a concentração efluente à Lagoa de Maturação foi de 1,62mg/L.

Fonte: A autora (2019)

## 6 CONCLUSÕES

No que tange os objetivos do estudo, este mostrou-se viável quanto à sua eficiência e aplicabilidade para o município escolhido. Felixlândia não possui um sistema adequado e sustentável de captação e tratamento de esgoto doméstico, adotando ainda fossas negras e uma lagoa de dejetos, sem se fundamentar em uma solução sustentável.

Propôs-se, portanto, um sistema capaz de solucionar ou ainda, mitigar esse passivo ambiental do município: gradeamento, peneira, calha Pashal, reator UASB, rampa de escoamento e lagoa de maturação. Foram possíveis reduções de carga orgânica, sólidos totais e organismos patogênicos consideráveis e satisfatórias, que atenderam as resoluções de lançamento em corpos hídricos e também às de disposições no solo.

Salienta-se que a escolha da lagoa de maturação só foi possível devido a disponibilidade de área para sua implantação. Ademais, correspondeu a uma unidade imprescindível para a remoção eficiência de ovos de helmintos, que representam grande risco sanitário, tanto para consumo humano quanto para bovinos.

Além de contar com unidades de um sistema convencional de tratamento de efluentes domésticos, foi possível adotar duas técnicas de disposição de águas residuárias no solo e que ainda eram desconhecidas pela autora do estudo, proporcionando maior embasamento e conhecimento. O escoamento superficial requer baixo custo de implantação, operação e manutenção e, o sistema de disposição solo- planta foi ideal para auxiliar na depuração da água residuária, por meio de oxidação biológica, absorção de nutrientes pelas plantas, entre outros. A fertirrigação, em especial a de pastagens, foi uma alternativa extremamente viável para o descarte adequado do efluente doméstico, devendo ser levado em conta os aspectos sanitários e agrônômicos, assim como os ambientais, mencionados durante o trabalho.

É válido considerar, para a completa eficiência do sistema dimensionado e proposto, a necessidade de monitoramento microbiológico, físico e químico do solo, levando em consideração aspectos de fitotoxicidade e riscos ambientais também, evitando possíveis contaminações do solo, subsolo e riscos à saúde humana.

Assim, o estudo também propôs uma melhor adequação e disposição final da água residuária, evitando o lançamento de esgoto em corpo hídrico, aumentando a disponibilidade hídrica para outros fins.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Face à proposta do estudo e de toda a fundamentação teórica realizada, propõe-se a continuação do trabalho por meio do dimensionamento do sistema de fertirrigação e também das bacias de infiltração, que são importantes unidade para reservar água residuária tratada que ainda não foi disposta na área de fertirrigação.

Propõe-se também, um estudo sobre outras alternativas viáveis, com alta eficiência de remoção de organismos patogênicos, em especial protozoários e helmintos, com requisições menores de área do que as lagoas de maturação e com baixo custo operacional.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017a. 88p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:** relatório pleno. Brasília, 2017b. 169p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648:** Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208:** Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7968:** Diâmetros nominais em tubulações de saneamento nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e interceptores, 1983. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:** Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011. 51p.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, D. P. Utilização de esgotos sanitários para produção de alimentos para animais: aspectos sanitários e produtivos. **Censes**, v.56, n.4, p. 480-487, 2009.

BECERRA-CASTRO et al. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environmental International**, v.75, p.117-135, Feb.2015.

BERTONCINI, E.I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v.1.n.1, p.152-169, 2008.

BRASIL. Lei n.º6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02set. 1981. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 22 nov. 2018

BRASIL. Lei nº11445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 08 de jan. 2007

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 09 de jan. 1997.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 18 de mar. 2005.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.

CIESIELSKI, J. V. R. **Dimensionamento de uma nova estação de tratamento de efluentes domésticos da central de abastecimento do Paraná**. 2011. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2007. 380 p. (UFMG-DESA. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 5).

COELHO et.al. Fertirrigação. **Informe Agropecuário**, v31, n.259, p. 58-70, Nov./Dez.2010

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. **Memorial Descritivo, Justificativo e de Cálculo do Projeto Básico do Sistema de Esgotos Sanitários de Felixlândia – MG**. Belo Horizonte, 2017. 57 p.

CORACCI FILHO, B. **Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método de escoamento superficial**. 1991. 400 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1991.

DAMASCENO, L. M. O. **Fertirrigação com efluente doméstico tratado no cultivo de gérbera com e sem suplementação mineral**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba 2008.

DRUMOND, L. C. D. **Irrigação de Pastagem**. Viçosa, MG: UFV, 2013. 15 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- EPA. **Process design manual: land treatment of municipal wastewater effluents**. Cincinnati, Ohio, 2006. 193p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- EPA. **Process design manual: land treatment of municipal wastewater effluents**. Washington, D.C.: Department of the Interior, 1981. 625 p.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. D.; PEIREIRA, O. G. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, UAEA/UFCEG, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M. M. (coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Recife: PROSAB, 2006. 403p. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab\\_-\\_final.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf).

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE- FUNASA. **Manual de saneamento**. 4.ed. Brasília, 2015. 441p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Saneamento Básico de Minas Gerais – 2014**. Belo Horizonte, 2017. 80p. Sistema Estadual de Informações Sobre Saneamento (Seis).

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: UERJ, 2005. 81p.

GOBBI, S. A. **Remoção de helmintos de esgotos secundários, por meio de filtros rápidos de areia, carvão antracitoso e zeólito para reuso agrícola e urbano não potável.** 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

GONÇALVES, J. M. **Fertirrigação com água residuária de agroindústria (ara) em forrageiras: monitoramento de elementos químicos no perfil do solo.** 2016. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JORDÃO, E. P. e PESSOA C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 8.ed. Rio de Janeiro: 2017. 915 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 4.ed. Campinas: Editora Àtomo, 2017. 494p.

LOURES, A. P. S. **Modelos de remoção de parâmetros qualitativos em sistema para tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial utilizando o capim-coast cross.** 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MATOS, A. T.; MATOS, M.P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos.** Viçosa, MG: UFV, 2017. 371 p.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo.** Viçosa, MG: UFV-DEA, 2003. 133 p.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 4.ed. New York: McGraw Hill, 2002. 1820 p.

MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº1, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [de] Minas Gerais**, Poder executivo, Belo Horizonte, MG, 13 de maio de 2008.

MINAS GERAIS (Estado) Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG nº 2, de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. **Diário Oficial [de] Minas Gerais**, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 29 DE DEZEMBRO DE 2010.

NUVOLARI, A. (COORD.) **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda. 2011. 565 p.

PRO BRAS EMPREENDIMENTOS SUSTENTÁVEIS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Felixlândia - MG**. Belo Horizonte, 2017. 116 p.

PRO BRAS EMPREENDIMENTOS SUSTENTÁVEIS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Felixlândia - MG**. Belo Horizonte, 2018. 506 p.

ROSSI, G. GRISÓLIO, A. P. R., BURGER, K. P. HOPPE, E. G. L. **Situação da cisticercose bovina no Brasil**. Revista Ciências Agrárias, Londrina, PR, v. 35, n.2, p. 927-938,2014.

SIMÃO, F.R; ANTUNES, A.J. Irrigação: manejo eficiente da água na agricultura irrigada em cenários de escassez hídrica. **Informe Agropecuário**, v.36, n.285, p. 20-30, 2015.

SPERLING, M. Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4.ed. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2014. 452p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias,1)

SPERLING, M. Von. **Lagoas de estabilização**. 2.ed. ampl. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2017. 196p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias,3)

SPERLING, M. Von. **Lodos ativados**. 2.ed. ampl. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2008. 428p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4)

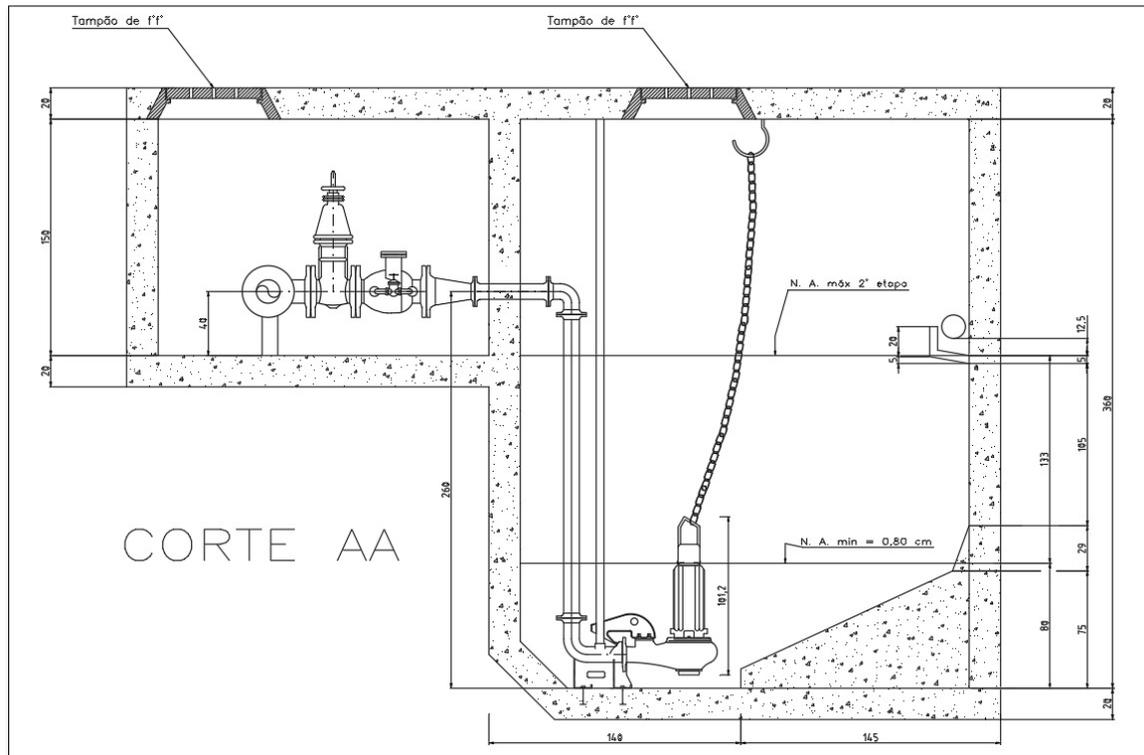
SPERLING, M. Von. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2009. 211p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias,2)

TELLES, D. D; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da Água**: Conceitos, teorias e práticas. 1ª Ed, São Paulo, 2007.

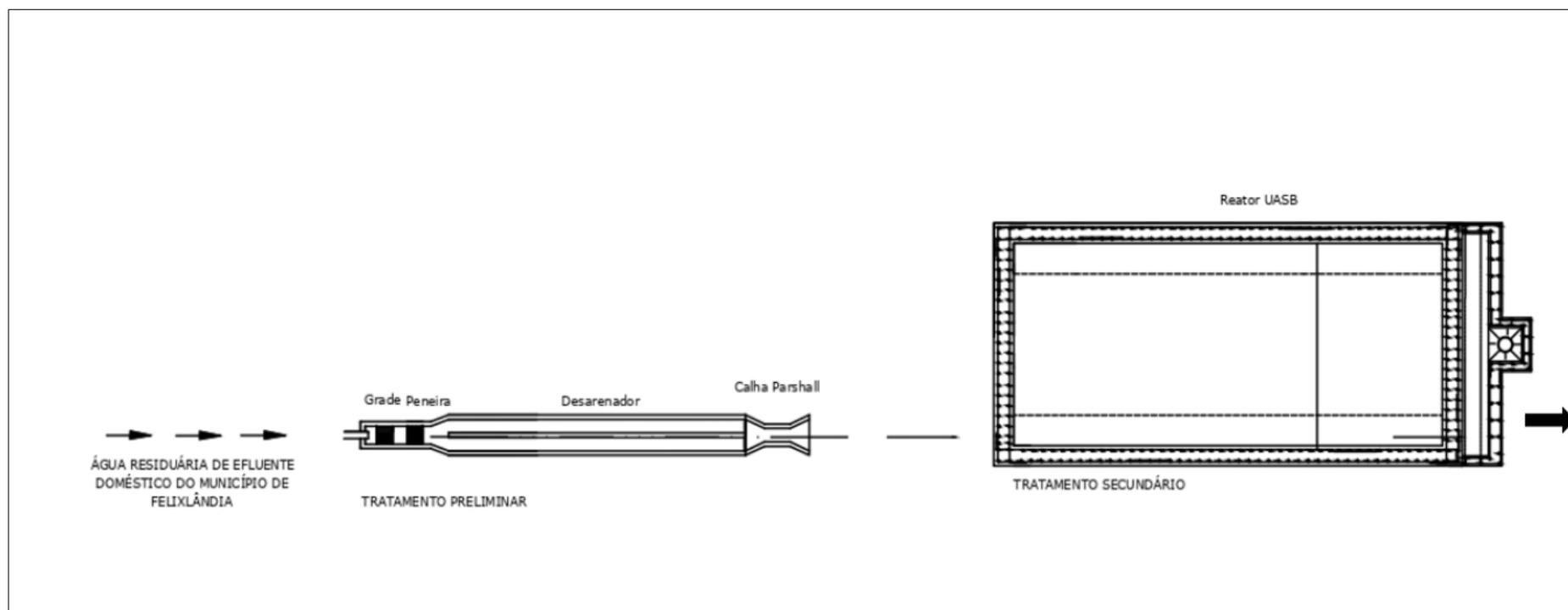
Universidade Federal de Minas Gerais-. **Projeto de requalificação e diagnóstico ambiental para lagoa de dejetos e do córrego do bagre no município de Felixlândia-MG**. p 31. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**: technical report series 778. Geneva, 1989. 67p.

## APÊNDICE A- Casa de bombas



**APÊNDICE B-Desenho esquemático do sistema de tratamento empregado**  
**Tratamento preliminar e reator UASB**



**APÊNDICE B-Desenho esquemático do sistema de tratamento empregado  
Reator UASB, Rampas de Escoamento e Lagoas de Maturação**

