



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

SÉRGIO SOUZA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA**

São Cristóvão, SE

Maio de 2019

SÉRGIO SOUZA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe para o Curso de Mestrado.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luciana Coêlho Mendonça

São Cristóvão, SE

Maio de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Oliveira, Sérgio Souza  
O48a Avaliação operacional de uma estação de tratamento de esgotos  
em uma universidade pública / Sérgio Souza Oliveira ;  
orientadora Luciana Coêlho Mendonça . - São Cristóvão, 2019.  
110 f. : il.

Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade  
Federal de Sergipe, 2019.

1. Engenharia civil. 2. Oxidação. 3. Padrões de desempenho.  
4. Esgotos. I. Mendonça, Luciana Coêlho Orient. II. Título.

CDU 625



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
**PROEC**  
 EM ENGENHARIA CIVIL | UFS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 17 (dezesete) dias do mês de maio de 2019, às 09h30min (nove horas e trinta minutos), reuniram-se, no miniauditório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFS na cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, os membros da Comissão Examinadora, formada pelos professores doutores LUCIANA COELHO MENDONÇA (orientadora), DANIEL MOUREIRA FONTES LIMA (Examinador interno – UFS) e MÁRCIO GOMES BARBOZA (Examinador externo à Instituição) para a realização da Defesa de Dissertação de Mestrado do Trabalho intitulado **Avaliação Operacional de uma Estação de Tratamento de Esgotos em uma Universidade Pública** do mestrando SÉRGIO SOUZA OLIVEIRA. Após a apresentação do candidato e a arguição dos membros da supracitada Comissão, o candidato foi considerado APROVADO. Não havendo nada mais a tratar, eu, LUCIANA COELHO MENDONÇA, presidente da Comissão, lavrei a presente ata, que será assinada por mim, pelo candidato e pelos demais membros da Comissão Examinadora. São Cristóvão, Cidade Universitária “Prof. José Aloísio de Campos”, 17 de maio de 2019.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> LUCIANA COELHO MENDONÇA  
 (Presidente - Orientadora)

Prof. Dr. DANIEL MOUREIRA FONTES LIMA  
 (Examinador interno)

Prof. Dr. MÁRCIO GOMES BARBOZA  
 (Examinador externo)

SÉRGIO SOUZA OLIVEIRA  
 (Candidato)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela conclusão de mais uma etapa na minha vida acadêmica.

A minha família, pelo apoio e compreensão em todos os momentos que foi preciso maior dedicação aos estudos.

À Professora Luciana Coêlho Mendonça, pela orientação, apoio e paciência durante a execução deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), em especial aos que fazem parte da subárea de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, por todos os ensinamentos.

À laboratorista Tamires do Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA), pela ajuda na execução dos ensaios de laboratório.

Aos operadores e administração da Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Sergipe – *campus* São Cristóvão, pelo apoio durante as coletas de amostras.

Aos companheiros Bruno e Thalyson, pelo auxílio durante as coletas e ensaios de laboratório.

Aos colegas das disciplinas de mestrado, pelo incentivo e contribuições durante todo o período do curso.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 Níveis de Tratamento de Esgotos .....	4
3.2 Tratamento Preliminar .....	5
3.3 Tratamento Secundário.....	13
3.3.1 Fundamentos da Digestão Anaeróbia .....	14
3.3.2 Reator UASB.....	14
3.3.3 Valo de Oxidação .....	22
3.4 Tratamento Terciário .....	26
3.5 Reúso do Efluente.....	28
3.6 Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários ...	29
3.7 Eficiências de Estações de Tratamento .....	30
3.8 Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários .....	31
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais.....	34
4.2 Caracterização do objeto de pesquisa.....	34
4.3 Pontos de Coleta.....	48
4.4 Ensaios de Laboratório .....	48
4.5 Tratamento Estatístico dos Dados .....	49
4.6 Cálculo dos Parâmetros .....	49

4.6.1 Eficiência de Remoção .....	49
4.6.2 Índice Volumétrico de Lodo no Valo de Oxidação .....	50
4.6.3 Relação Alimento/Micro-organismos no Valo de Oxidação.....	50
4.7 Rotina Operacional e Conservação das Instalações Físicas .....	50
4.8 Questionários .....	50
4.9 Análise da ETE.....	51
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
5.1 Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais.....	52
5.2 Coletas de amostras e ensaios de laboratório .....	55
5.2.1 Análise dos Resultados .....	56
5.3 Análise do Projeto da ETE .....	73
5.4 Monitoramento da Rotina da ETE.....	76
5.4.1 Resultado dos Questionários Aplicados aos Operadores da ETE .....	77
5.4.1.1 Manual de Operação .....	77
5.4.1.2 Operadores.....	78
5.4.1.3 Manutenção .....	79
5.4.1.4 Monitoramento .....	80
5.4.1.5 Operação propriamente dita.....	81
5.4.1.6 Resultado das questões abertas aplicadas aos operadores .....	81
5.4.2 Resultado dos Questionários Aplicados à Administração da ETE.....	82
5.4.2.1 Manual de Operação .....	82
5.4.2.2 Operadores.....	83
5.4.2.3 Manutenção .....	84
5.4.2.4 Monitoramento .....	84
5.4.2.5 Resultado das questões abertas aplicadas à administração da ETE.....	85
5.4.3 Resultado da Aplicação dos Questionários .....	85
5.4.4 Dificuldades da Universidade Quanto à Administração da ETE .....	87
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Dimensões da Calha Parshall.....	11
<b>Figura 2</b> – Desenho Esquemático de um Reator UASB.....	15
<b>Figura 3</b> – Lodos Ativados Convencional.....	23
<b>Figura 4</b> – Lodos Ativados de Fluxo Intermitente.....	24
<b>Figura 5</b> – Representação em perspectiva da ETE da UFS <i>campus</i> São Cristóvão.....	35
<b>Figura 6</b> – Localização da ETE no <i>campus</i> São Cristóvão – UFS.....	35
<b>Figura 7</b> – Bacias de Coletas de Esgoto do <i>campus</i> São Cristóvão.....	36
<b>Figura 8</b> – Tratamento Preliminar.....	38
<b>Figura 9</b> – Vista superior do UASB.....	41
<b>Figura 10</b> – Planta Baixa dos Módulos do Reator.....	41
<b>Figura 11</b> – Reator de Lodo Ativado (Valo de Oxidação) .....	44
<b>Figura 12</b> – Tanque de Contato.....	45
<b>Figura 13</b> – Reservatório de Acúmulo.....	47
<b>Figura 14</b> – Leitos de Secagem.....	47
<b>Figura 15</b> – Pontos de Coleta de Amostras.....	48
<b>Figura 16</b> – Trinca na Parede do Reservatório de Acúmulo.....	56
<b>Figura 17</b> – <i>Box-plot</i> Vazões Afluentes.....	56
<b>Figura 18</b> – Vazões Afluentes.....	57
<b>Figura 19</b> – Material retido na grade do tratamento preliminar.....	59
<b>Figura 20</b> – Quantidade de material retido na grade.....	59
<b>Figura 21</b> – <i>Box-plot</i> DQO Afluente.....	60
<b>Figura 22</b> – DQO Afluente.....	61
<b>Figura 23</b> – <i>Box-plot</i> pH Afluente.....	62
<b>Figura 24</b> – <i>Box-plot</i> DQO Efluente do UASB.....	63
<b>Figura 25</b> – <i>Box-plot</i> Eficiência de Remoção de DQO no UASB.....	63
<b>Figura 26</b> – Eficiência de Remoção de DQO no UASB.....	64
<b>Figura 27</b> – <i>Box-plot</i> DQO Efluente do Valo de Oxidação.....	65
<b>Figura 28</b> – <i>Box-plot</i> Eficiência de Remoção de DQO no Valo de Oxidação.....	65
<b>Figura 29</b> – Eficiência de Remoção de DQO no Valo.....	66
<b>Figura 30</b> – <i>Box-plot</i> IVL do Valo de Oxidação.....	66
<b>Figura 31</b> – IVL do Valo de Oxidação.....	67

<b>Figura 32</b> – <i>Box-plot</i> Eficiência de Remoção de DQO na ETE.....	68
<b>Figura 33</b> – Eficiência de Remoção de DQO na ETE.....	69
<b>Figura 34</b> – <i>Box-plot</i> Eficiência de Remoção de Sólidos na ETE.....	70
<b>Figura 35</b> – Remoção de Sólidos na ETE.....	70
<b>Figura 36</b> – Detalhe do Extravasor para a Rede de Drenagem.....	71
<b>Figura 37</b> – Gradeamento.....	74
<b>Figura 38</b> – Estação Elevatória.....	75
<b>Figura 39</b> – Planta Baixa do Reator de Lodo Ativado (Valo de Oxidação).....	76
<b>Figura 40</b> – Hipoclorito de Sódio.....	77
<b>Figura 41</b> – Manual de Operação (pelos operadores).....	77
<b>Figura 42</b> – Operadores (pelos operadores).....	78
<b>Figura 43</b> – Manutenção (pelos operadores).....	79
<b>Figura 44</b> – Monitoramento (pelos operadores).....	80
<b>Figura 45</b> – Operação propriamente dita (pelos operadores).....	81
<b>Figura 46</b> – Manual de Operação (pela administração).....	83
<b>Figura 47</b> – Operadores (pela administração).....	83
<b>Figura 48</b> – Manutenção (pela administração).....	84
<b>Figura 49</b> – Monitoramento (pela administração).....	85
<b>Figura 50</b> – Fluxograma de Processo Sugerido.....	89

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Requisitos para o projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários.....	32
<b>Quadro 2</b> – Pontos, parâmetros e frequência de monitoramento do tratamento preliminar.....	40
<b>Quadro 3</b> – Pontos, parâmetros e frequência de monitoramento do UASB.....	43
<b>Quadro 4</b> – Esquema de operação automatizado do valo de oxidação.....	44
<b>Quadro 5</b> – Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais Brasileiras.....	53
<b>Quadro 6</b> – Dificuldades da Administração da ETE.....	87
<b>Quadro 7</b> – Sugestão de rotina de monitoramento dos parâmetros.....	90
<b>Quadro 8</b> – Sugestões para o processo da ETE.....	91

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Composição Típica do Esgoto Doméstico.....	4
<b>Tabela 2</b> – Espaçamento entre as barras da grade.....	5
<b>Tabela 3</b> – Dimensões da seção retangular das barras.....	6
<b>Tabela 4</b> – Eficiência das grades em função das espessuras das barras.....	7
<b>Tabela 5</b> – Medidores Parshall com escoamento livre: limites de aplicação.....	11
<b>Tabela 6</b> – Dimensões de medidores Parshall em centímetros.....	12
<b>Tabela 7</b> – Coeficientes em função da garganta do medidor Parshall.....	13
<b>Tabela 8</b> – Velocidades superficiais de fluxo para esgoto doméstico.....	17
<b>Tabela 9</b> – Tempo de Detenção Hidráulica em Reatores UASB.....	20
<b>Tabela 10</b> – Interpretação Aproximada do Resultado do IVL.....	25
<b>Tabela 11</b> – Concentração (NMP/100 mL) e percentagem de remoção de coliformes fecais no esgoto tratado em função da dosagem e do tempo de contato com ClO <sub>2</sub> .....	27
<b>Tabela 12</b> – Classificação e Parâmetros para Reúso.....	28
<b>Tabela 13</b> – Padrões da Resolução Conama N° 430.....	30
<b>Tabela 14</b> – Eficiências típicas reportadas na literatura e eficiências observadas.....	31
<b>Tabela 15</b> – Previsão de Vazões para ETE UFS.....	37
<b>Tabela 16</b> – Dosagem de hipoclorito de sódio pela vazão.....	46
<b>Tabela 17</b> – Número de Universidades Federais com o mesmo tipo de tratamento de efluentes.....	52
<b>Tabela 18</b> – pH do afluente da ETE.....	62
<b>Tabela 19</b> – Relação A/M no Valo de Oxidação.....	67
<b>Tabela 20</b> – Análise de Atendimento à Legislação Ambiental - Efluente da ETE/UFS .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/M	Relação Alimento/Micro-organismo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AME	Atividade Metanogênica
CBR	Contactador Biológico Rotativo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Cavalo-vapor
DAFA	Digestor Anearóbio de Fluxo Ascendente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIVAI	Divisão de Administração de Imóveis
DQO	Demanda Química de oxigênio
EE	Estação Elevatória
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ITPS	Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
PV	Poço de Visita
RECESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAMA	Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UCS	Universidade de Caxias do Sul
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFAC	Fundação Universidade Federal do Acre
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFBA	Universidade Federal da Bahia

UFCE	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRR	Fundação Universidade Federal de Roraima
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UFTM	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNB	Universidade de Brasília
UNIFAP	Fundação Universidade Federal do Amapá
UNIR	Fundação Universidade Federal de Rondônia
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
VAS	<i>Visual Analogue Scales</i>

OLIVEIRA, S. S. **Avaliação Operacional de uma Estação de Tratamento de Esgotos em uma Universidade Pública**. 2019. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 2019.

## RESUMO

As atividades humanas degradam o meio ambiente constantemente, poluindo os solos, as águas e o ar, portanto as ações na área de saneamento são de grande importância para garantir um meio ambiente adequado à vida. No contexto brasileiro, a Lei Nº 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Nacional de Saneamento Básico. A implantação do esgotamento sanitário, assim como o seu tratamento, faz parte dessa política e contribui para o controle da poluição ambiental. Na Universidade Federal de Sergipe (UFS), *campus* São Cristóvão, há uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que, como qualquer ETE, necessita que o processo de tratamento possua um acompanhamento sistemático para que ocorra de forma eficiente. Tendo isso em vista, a proposta dessa pesquisa foi avaliar as atividades da operação da ETE da UFS no *campus* São Cristóvão, analisando se compromete o desempenho das etapas de tratamento e deixa de atender à legislação ambiental. Foram, então, feitas visitas rotineiras à estação de tratamento, com o propósito de obter registros fotográficos e coleta de amostras para avaliar o desempenho físico-químico das unidades biológicas (UASB e valo de oxidação). Para a identificação dos problemas, no que se refere à Instituição, foram aplicados questionários tanto aos operadores quanto à administração da estação de tratamento de esgotos. Ao final do trabalho, constatou-se que a vazão afluente do projeto e a carga orgânica do esgoto bruto foram superestimadas, ocasionando um superdimensionamento da estação de tratamento. Verificou-se, também, que a eficiência de remoção de DQO no UASB (2,6%) e no valo de oxidação (2,2%) estão muito inferiores à proposta pelo projeto. Contudo, a DBO do efluente atende ao padrão Resolução Conama nº 430, principalmente em virtude da baixa concentração de matéria orgânica no afluente da estação. Observou-se, ainda, que o tratamento terciário também não está ocorrendo de forma adequada, sendo necessária a implementação de uma rotina para que a desinfecção do efluente aconteça de forma eficiente. Desse modo, seria possível retomar a filosofia original do projeto de reutilizar o efluente tratado como fonte de irrigação para as áreas verdes do *campus*. Para que a ETE funcione de forma adequada, sugere-se: algumas alterações estruturais nas unidades de tratamento, a elaboração de um manual de operação com o detalhamento de todas as atividades da estação de tratamento, a implementação de sistemáticas coletas de amostras e análises de laboratório, a manutenção preventiva dos equipamentos e a criação de uma escala de trabalho baseada em turnos para os operadores. Conclui-se, então, que existem grandes dificuldades para que uma instituição pública de ensino opere uma estação de tratamento de esgotos de forma adequada.

**Palavras-chave:** UASB. Valo de oxidação. Desempenho. Esgoto Sanitário.

OLIVEIRA, S. S. **Avaliação Operacional de uma Estação de Tratamento de Esgotos em uma Universidade Pública**. 2019. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 2019.

## ABSTRACT

The human activities constantly degrade the environment, polluting the soil, the water and the air, therefore actions in the area of sanitation are of great importance to ensure an adequate environment for life. In the Brazilian context, the law No. 11,445 / 2007 establishes the national guidelines for the basic sanitation services and for the National Policy of Sanitation. The implementation of a sewage system, along with its treatment, is part of this national policy and contributes to the environmental pollution control. At the Federal University of Sergipe (UFS), São Cristóvão *campus*, there is a Wastewater Treatment Plant (WWTP) that, like any WWTP, requires the treatment process to be systematically monitored so that it occurs efficiently. Thus, the purpose of this research was to evaluate the operation activities of the university's WWTP at São Cristóvão *campus*, analyzing whether it affects the performance of the treatment stages and fails to comply with environmental legislation. Routine visits to the treatment station were then made, with the purpose of obtaining photographic records and collecting samples to evaluate the physical-chemical performance of the biological units (UASB and oxidation ditch). In order to identify the problems, regarding the Institution, questionnaires were applied to the operators and to the administration of the wastewater treatment plant. At the end of the research, it was verified that the project flow and the raw sewage organic load were overestimated, resulting in the oversize of the treatment station. It was also verified that the COD removal efficiency in the UASB (2,6%) and in the oxidation ditch (2,2%) are much lower than the project had proposed. Nevertheless, the effluent's BOD meets the Conama Resolution No. 430 standard, mainly due to the low concentration of organic matter in the station affluent. Moreover, it was observed that the tertiary treatment is not occurring properly either, making it necessary the implementation of a routine so that the disinfection of the effluent happens efficiently. Thus, it would be possible to return to the original philosophy of the project to reuse the treated effluent as a source of irrigation for the green areas of the *campus*. In order for the ETE to function properly, it is suggested: some structural changes at the treatment units, the elaboration of an operation manual detailing all the treatment plant's activities, the implementation of systematic sampling collection and laboratory analysis, the equipment's preventive maintenance and the creation of a shift-based work schedule for the operators. It is, therefore, concluded that there are major difficulties for a public educational institution to operate a sewage treatment plant adequately.

**Keywords:** UASB. Oxidation ditch. Performance. Wastewater.

## 1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente é degradado de várias formas. Os efluentes líquidos sem tratamento e os resíduos sólidos dispostos inadequadamente degradam as águas e o solo, e a emissão de gases reduz a qualidade do ar. As ações na área de saneamento têm como principal objetivo mitigar os efeitos da poluição para garantir um meio ambiente adequado à vida.

A Lei Nº 11.445 (BRASIL, 2007) determina as diretrizes e a política federal para o saneamento básico. Considera saneamento básico o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Ainda, segundo a lei, o esgotamento sanitário é composto pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de: coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários.

Segundo Chernicharo (2007), os sistemas de coleta e tratamento de esgotos no Brasil devem ser de baixo custo de implantação e operação, ser simples de operar, ter baixa mecanização e ter sustentabilidade. Para Haandel e Lettinga (1994), deve-se especificar um sistema de tratamento de esgotos que seja viável tecnicamente e que leve em consideração fatores como custos de construção e manutenção, disponibilidade de área para implantação, disponibilidade de materiais de construção e equipamentos, e existência de mão de obra especializada.

De acordo com Mendonça e Mendonça (2016), os métodos de tratamento de efluentes mais utilizados em países de clima tropical são: lagoas de estabilização, lagoas aeradas mecanicamente, reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), lodos ativados e *wetlands*.

Segundo Mendonça (2002), as combinações de diferentes métodos de tratamentos de esgotos são utilizadas atualmente. O tratamento anaeróbio é utilizado anteriormente ao tratamento aeróbio com o objetivo de diminuir a carga orgânica de entrada, reduzindo o consumo de energia e a produção de lodo.

Os reatores anaeróbios dificilmente possuem eficiência que atenda à legislação ambiental brasileira, necessitando de pós-tratamento de seus efluentes. O pós-tratamento tem a função de completar a remoção da matéria orgânica, dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos organismos patogênicos (CHERNICHARO, 2001). Esse pós-tratamento é comumente realizado em reatores aeróbios.

De acordo com Oliveira e Von Sperling (2005a), a qualidade dos efluentes oriundos de estações de tratamento de esgotos é motivo de atenção em diversos países, com isso têm sido

criadas leis e políticas ambientais para tentar influenciar na seleção dos pontos de descarga e nos níveis de tratamento, mitigando assim os impactos gerados ao meio ambiente.

Como forma de mitigação dos impactos negativos, a Universidade Federal de Sergipe, *campus* São Cristóvão, dispõe de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que, como qualquer ETE, necessita que o tratamento tenha um acompanhamento sistemático, para que ocorra de forma eficiente.

A Universidade Federal de Sergipe, assim como outras instituições públicas brasileiras, carece de efetivo e orçamento suficientes para atender todas as suas necessidades.

Assim, a proposta desta pesquisa foi avaliar as atividades de operação da ETE da UFS, *campus* São Cristóvão, analisando se comprometem o desempenho das etapas do tratamento e se, com isso, os parâmetros físico-químicos estão atendendo os limites da legislação ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a operação e a manutenção da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da UFS *campus* São Cristóvão.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Levantar os tipos de tratamento de esgotos existentes nas universidades federais brasileiras;
- Identificar as principais dificuldades de uma Instituição Pública de Ensino quanto à conservação das instalações físicas e acompanhamento do desempenho de uma ETE;
- Avaliar a eficiência da ETE da UFS *campus* São Cristóvão, quanto à remoção de sólidos e matéria orgânica;
- Identificar problemas de projeto e de operação da ETE;
- Indicar soluções para cada etapa de tratamento da ETE em estudo.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Níveis de Tratamento de Esgotos

Segundo Metcalf e Eddy (2015), a composição típica do esgoto bruto doméstico é a apresentada na Tabela 1.

Sendo uma composição média, é necessária a caracterização do esgoto a ser tratado para que seja possível eleger os métodos de tratamento mais adequados.

**Tabela 1** – Composição Típica do Esgoto Doméstico Bruto

Constituinte	Concentração		
	Forte	Média	Fraca
Sólidos Totais (mg/L)	1612	806	537
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	1121	560	374
Sólidos Dissolvidos Totais Fixos (mg/L)	672	336	224
Sólidos Dissolvidos Totais Voláteis (mg/L)	449	225	150
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	389	195	130
Sólidos Suspensos Totais Fixos (mg/L)	86	43	29
Sólidos Suspensos Totais Voláteis (mg/L)	304	152	101
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	23	12	8
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	200	133
Carbono Orgânico Total (mg/L)	328	164	109
DQO (mg/L)	1016	508	339
Nitrogênio Total (N) (mg/L)	69	35	23
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	29	14	10
Amônia Livre (mg/L)	41	20	14
Fósforo Total (P) (mg/L)	11	5,6	3,7
Fósforo Orgânico (mg/L)	6,3	3,2	2,1
Fósforo Inorgânico (mg/L)	4,7	2,4	1,6
Potássio (mg/L)	32	16	11
Cloretos (mg/L)	118	59	39
Sulfatos (mg/L)	72	36	24
Óleos e Graxas (mg/L)	153	76	51

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2015)

De acordo com Von Sperling (2005), os níveis de tratamento de esgotos são classificados como: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros e areia, como também medir a vazão dos esgotos. O tratamento primário tem a função de remover os sólidos suspensos sedimentáveis e matéria orgânica em suspensão, enquanto o tratamento secundário (mecanismos biológicos) tem como principal objetivo a remoção da matéria orgânica dissolvida e finamente particulada, e eventualmente nutrientes. Já o tratamento terciário visa à remoção de poluentes específicos e a remoção complementar de nutrientes e micro-organismos patogênicos.

### 3.2 Tratamento Preliminar

Devido aos esgotos sanitários conterem sólidos grosseiros e partículas abrasivas, se faz necessário um tratamento preliminar, com a utilização de dispositivos de retenção, remoção e/ou trituração (MENDONÇA, 2000).

O tratamento preliminar é composto principalmente por gradeamento, desarenador (caixa de areia) e calha Parshall. O gradeamento tem a função de reter os sólidos grosseiros que foram lançados no sistema de coleta, evitando que estes venham a danificar as bombas ou obstruir tubulações. O desarenador propicia a retenção de areia e de outros sólidos grosseiros, que são introduzidos indevidamente no sistema. A calha Parshall tem o objetivo de quantificar a vazão dos esgotos que chega à ETE.

De acordo com Mendonça (2000), o gradeamento é composto por barras metálicas, paralelas entre si, com a mesma espessura e com igual espaçamento. O espaçamento entre as barras depende do material que será retido e dos equipamentos que se deseja proteger, podendo ser grossa, média ou fina. As grades médias, com espaçamento de 25 mm, geralmente são aplicadas no tratamento de águas residuais. Os espaços entre as barras são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Espaçamento entre as barras da grade

Tipo	Espaçamento	
	polegadas	mm
Grossa	Acima de 1 ½	40 a 100
Média	¾ a 1 ½	20 a 40
Fina	¾ a ¾	10 a 20

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto *et al.* (1977)

O mesmo autor ainda cita que as barras da grade podem ter seções de vários formatos, porém o formato mais comum é o retangular, tendo suas dimensões mostradas no Tabela 3. As grades podem ser simples ou mecanizadas. As grades simples são aquelas em que a limpeza é manual e têm inclinação com a horizontal de 45° a 60°. Já as grades mecanizadas têm limpeza mecânica, automatizada ou não, e têm inclinação com a horizontal de 60° a 90°.

**Tabela 3** – Dimensões da seção retangular das barras

Tipo de Grade	Seção	
	mm x mm	pol x pol
Grossa	10 x 50	3/8 x 2
	10 x 60	3/8 x 2 1/2
	13 x 40	1/2 x 1 1/2
	13 x 50	1/2 x 2
Média	8 x 50	5/16 x 2
	10 x 40	3/8 x 1 1/2
	10 x 50	3/8 x 2
Fina	6 x 40	1/4 x 1 1/2
	8 x 40	5/16 x 1 1/2
	10 x 40	3/8 x 1 1/2

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto *et al.* (1977)

No dimensionamento da grade, determina-se primeiramente o tipo, o formato, as dimensões e o espaçamento entre as barras da grade. Ao escolher as características da grade, obtém-se a velocidade de escoamento, que não pode ser muito baixa, para não permitir a sedimentação no canal, nem muito alta, o que ocasionaria o arraste dos materiais através da grade. Recomenda-se uma velocidade de escoamento mínima de 0,6 m/s e máxima de 1,2 m/s (MENDONÇA, 2000).

No entanto, Azevedo Netto *et al.* (1977) recomenda velocidade mínima de 0,40 m/s e velocidade máxima de 0,75 m/s, para escoamento do esgoto através das barras da grade limpas.

A área do canal é determinada pela soma das áreas das barras, com a área útil dos espaçamentos entre as mesmas, e se calcula pela Equação 1 (MENDONÇA, 2000).

$$S = Au ((a + t)/a) \quad (1)$$

Em que:

S: área do canal até o nível da água (m<sup>2</sup>);

Au: área entre as barras (m<sup>2</sup>);

a: espaçamento entre as barras (m);

t: espessura da barra, normal ao sentido do fluxo (m).

A Equação 1 também pode ser escrita como mostra a Equação 2.

$$S = Au/E \quad (2)$$

Em que:

E = eficiência da grade.

A eficiência das grades para as dimensões mais usuais é mostrada na Tabela 4.

**Tabela 4** – Eficiência das grades em função das espessuras das barras.

Espessura das barras (t)	Eficiências (E)		
	a = 3/4" (20 mm)	a = 1" (25 mm)	a = 1 1/4" (30 mm)
1/4" (6 mm)	0,750	0,800	0,834
5/16" (8 mm)	0,730	0,768	0,803
3/8" (10 mm)	0,677	0,728	0,770
1/2" (13 mm)	0,600	0,667	0,715

Fonte: Azevedo Netto *et al.* (1977)

De acordo com Mendonça (2000), o material retido pela grade depende dos hábitos da população, da época do ano, das características da rede de coleta e do espaçamento entre as barras da grade. O material retido tem massa específica em torno de 0,96 kg/L, é composto por 80% de água, sendo o restante constituído principalmente por papel, trapos, resíduos de cozinha e material lançado na rede, nos poços de visita. Em pequenas estações de tratamento de esgoto o material retido é retirado manualmente, e em instalações maiores a retirada é feita mecanicamente. Por sua vez, Azevedo Netto *et al.* (1977) cita que o material retido na grade tem massa específica de 0,70 a 1,00 kg/L, sendo composto por 70% a 90% de água.

Ainda segundo Azevedo Netto *et al.* (1977), o canal onde se localiza a grade deve ter um *by-pass* para possibilitar manutenção, para garantir a continuidade do processo. O comprimento do canal deve ser calculado utilizando-se a Equação 3, de forma que evite turbulência próximo à grade.

$$L = v \times t \quad (3)$$

Em que:

L: comprimento do canal (m);

v: velocidade no canal (m/s);

t: tempo de detenção no canal (s), geralmente  $t = 3s$ .

A velocidade é estimada pela Equação 4 (equação da continuidade).

$$v = Q_{\max}/S \quad (4)$$

Em que:

v: velocidade no canal (m/s);

$Q_{\max}$ : vazão máxima ( $m^3/s$ );

S: área da seção transversal do canal até o nível do esgoto ( $m^2$ ).

Segundo Mendonça (2000), o fundo do canal deve estar, no mínimo, 15cm mais baixo que a cota inferior do emissário afluente, com o objetivo de evitar que o nível do esgoto no canal seja superior ao nível do esgoto à montante. As perdas de carga nas grades manuais não passam de 15cm.

Na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), nos projetos das ETEs, já é prevista a instalação de peneira com malha de 6 mm no tratamento preliminar, para evitar entupimentos e acúmulos de sólidos no sistema. A instalação da peneira não é utilizada em substituição ao gradeamento, e sim como um complemento ao mesmo (MIKI, 2010).

Após a grade, deve estar localizada a caixa de areia, que têm o objetivo de reter areia e outros materiais inertes e densos que estejam presentes nos esgotos. Estas unidades são tanques de sedimentação que têm a finalidade de remover material não biodegradável, que possam causar abrasão ou entupimentos em outras unidades à jusante. O material retido nas caixas de areia deve ser recolhido e depositado em local adequado para este fim (MENDONÇA, 2000).

O princípio de funcionamento dos desarenadores, é que a corrente líquida esteja em regime laminar de escoamento, propiciando que a velocidade de sedimentação das partículas seja suficiente para alcançar o fundo do desarenador e que a velocidade horizontal do líquido seja insuficiente para transportar estas partículas por arraste. Em desarenadores de estações de tratamento de esgotos recomenda-se a remoção de partículas com tamanho igual ou maior que 0,2 mm. A velocidade de escoamento do esgoto recomendada nos desarenadores é de 0,30 m/s, com tolerância de 20%, pois velocidades abaixo de 0,15 m/s causa sedimentação muito maior de matéria orgânica, e velocidades superiores a 0,40 m/s causam arraste de material inerte para as outras unidades da estação de tratamento (MENDONÇA, 2000).

Nos bairros Jardim América e Ypiranga, localizados na cidade de São Paulo-SP, foi observada a quantidade de material retido em desarenadores de estações de tratamentos de esgotos, na ordem de 29 L/ 1000 m<sup>3</sup> e 15 L/ 1000 m<sup>3</sup>, respectivamente (AZEVEDO NETTO e HESS, 1970 *apud* MENDONÇA, 2000).

De acordo com Mendonça (2000), para períodos de inverno, podem ocorrer valores na faixa de 30 L a 40 L/1000 m<sup>3</sup> de esgotos. Os valores dependem da população atendida pelo sistema, se atende área residencial e/ou industrial, se as ruas são pavimentadas (MENDONÇA, 2000).

O desarenador pode ser composto de dois canais iguais e paralelos. O dimensionamento é feito para um canal e é espelhado para o outro. A lâmina d'água no desarenador é dada pela Equação 5 (MENDONÇA, 2000).

$$H = H_{\max} - Z \quad (5)$$

Em que:

H: lâmina líquida no desarenador (m);

H<sub>max</sub>: lâmina líquida na calha Parshall (m);

Z: ressalto entre o desarenador e a calha Parshall (m), encontra-se utilizando-se a Equação 6.

$$Z = (Q_{\max} \times H_{\min} - Q_{\min} \times H_{\max}) / (Q_{\max} - Q_{\min}) \quad (6)$$

Em que:

Z: ressalto (m);

Q<sub>max</sub>: vazão máxima (m<sup>3</sup>/s);

Q<sub>min</sub>: vazão mínima (m<sup>3</sup>/s);

H<sub>max</sub>: lâmina líquida máxima (m);

H<sub>min</sub>: lâmina líquida mínima (m).

A largura da caixa de areia é dimensionada pela Equação 7.

$$b = Q_{\max}/(H \times v) \quad (7)$$

Em que:

b: largura da caixa de areia (m);

$Q_{\max}$ : vazão máxima ( $m^3/s$ );

H: altura da lâmina líquida na caixa de areia (m);

v: velocidade (recomendada 0,30 m/s).

O comprimento da caixa de areia é calculado pela Equação 8.

$$L = 25H \quad (8)$$

Em que:

H: altura da lâmina líquida na caixa de areia (m).

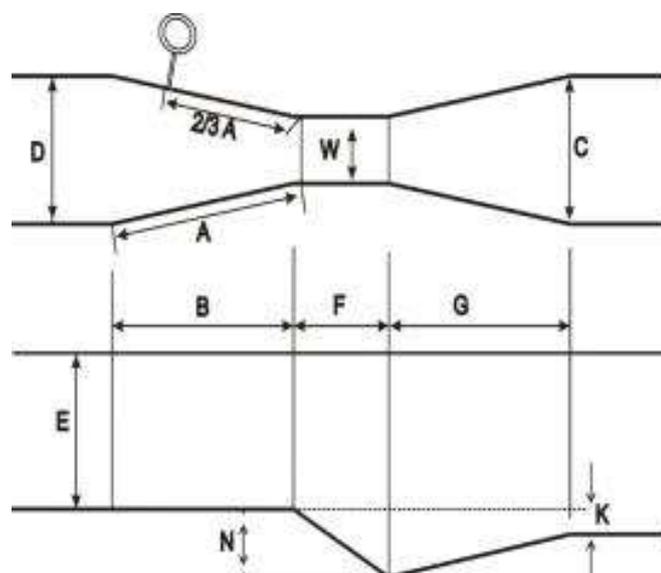
Após a caixa de areia, localiza-se o medidor de vazão. Os principais tipos de dispositivos para medir vazão de águas residuais são os canais parabólicos, os vertedores proporcionais, as calhas Parshall, os medidores Venturi, os medidores Palmer-Bowlus, os vertedores retangulares e triangulares. Os medidores de vazão são fundamentais em qualquer sistema de tratamento de esgotos, e possui custo insignificante, em relação ao custo total da obra. Os medidores Parshall têm a vantagem de depender de suas próprias características hidráulicas, pois uma só medida de carga é suficiente, tem uma pequena perda de carga, não possuem obstáculos capazes de formar depósitos de material. Esses medidores são especificados pela largura nominal “W”, que é uma medida aproximada do valor da garganta contraída do dispositivo. As dimensões aproximadas para os medidores Parshall de largura de garganta “W”, estão apresentadas na Tabela 5 (MENDONÇA, 2000).

**Tabela 5** – Medidores Parshall com escoamento livre: limites de aplicação.

W		Capacidade (L/s)	
Pol/Pés	Centímetros	Mínima	Máxima
3"	7,6	0,85	53,8
6"	15,2	1,42	110,4
9"	22,9	2,55	251,9
1'	30,5	3,11	455,6
1 ½'	45,7	4,25	696,2
2'	61,0	11,89	936,7
3'	91,5	17,26	1426,3
4'	122,0	36,79	1921,5
5'	152,5	45,30	2422
6'	183,0	73,6	2929
7'	213,5	84,95	3440
8'	244,0	99,10	3950
10'	305,0	200,0	5660

Fonte: Azevedo Netto *et al.* (1998)

As dimensões padrões para os medidores Parshall são apresentados na Tabela 6 e referenciadas na Figura 1.

**Figura 1** – Dimensões da calha Parshall

Fonte: Azevedo Netto *et al.* (1998)

**Tabela 6** – Dimensões de medidores Parshall em centímetros.

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
pol/pés	cm									
1”	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3”	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6”	15,2	62,3	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9”	22,9	88,1	86,4	38,1	57,5	76,2	30,5	47,5	7,6	11,4
1’	30,5	137,1	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 ½’	45,7	144,8	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2’	61,0	152,3	149,3	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3’	91,5	167,5	164,2	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4’	122,0	182,8	179,2	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5’	152,5	198,0	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6’	183,0	213,3	209,1	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7’	213,5	228,6	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8’	244,0	244,0	239,0	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10’	305,0	274,5	260,8	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3

Fonte: Azevedo Netto et al. (1998)

A profundidade da lâmina líquida deverá ser estimada para as vazões máxima, média e mínima, utilizando-se a Equação 9 para o medidor Parshall.

$$Q = K \times H^n \quad (9)$$

Esta fórmula pode ser escrita em função da profundidade da lâmina líquida, como pode ser visto na Equação 10.

$$H = (Q/K)^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

Em que:

H: profundidade da lâmina líquida (m);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/s);

K, n: coeficientes em função da garganta do medidor Parshall (Tabela 7).

Segundo Ramos (2008), rotinas eficientes de operação e limpeza das unidades de gradeamento e desarenação evitam que materiais grosseiros e areia cheguem ao processo biológico, o que resultaria na diminuição de sua eficiência.

**Tabela 7** – Coeficientes em função da garganta do medidor Parshall

W		n	K
Pol/pés	m		
3"	0,076	1,547	0,176
6"	0,152	1,580	0,381
9"	0,229	1,530	0,535
1'	0,305	1,522	0,690
1 ½'	0,457	1,538	1,054
2'	0,610	1,550	1,426
3'	0,915	1,556	2,182
4'	1,220	1,578	2,935
5'	1,525	1,587	3,728
6'	1,830	1,595	4,515
7'	2,135	1,601	5,306
8'	2,440	1,606	6,101

Fonte: Azevedo Netto *et al.* (1998)

Um tratamento preliminar ineficiente resulta em acúmulo de sólidos inertes no reator, devendo ser descartados periodicamente (CHERNICHARO, 2007).

### 3.3 Tratamento Secundário

Os sistemas biológicos de tratamento utilizam micro-organismos confinados para a degradação da matéria orgânica. A degradação que aconteceria no meio ambiente, acontece em uma unidade de tratamento projetada com este objetivo. Estas unidades de tratamentos são denominadas reatores biológicos ou biorreatores (FERREIRA e CORAIOLA, 2008).

O tratamento secundário, etapa que utiliza reatores biológicos, pode ou não necessitar de unidades de tratamento primário, ou seja, decantadores primários para remoção de sólidos suspensos sedimentáveis (BARROS *et al.*, 1995).

O nível de tratamento secundário processa-se de forma anaeróbia, aeróbia ou pela combinação sequencial destes dois métodos. Os processos aeróbios são aqueles que necessitam

do oxigênio para acontecer, enquanto os processos anaeróbios acontecem na ausência de oxigênio molecular.

De acordo com Lettinga *et al.* (1984), são vantagens do tratamento anaeróbio em relação ao tratamento aeróbio: menor produção de lodo; menor quantidade de nutrientes requeridos; não requer energia de aeração; produção de gás metano; possibilidade de processar altas cargas; o lodo pode ficar sem alimento por muitos meses; e vários compostos podem ser preservados quando for importante, como a amônia para utilização na irrigação. Ainda, segundo os mesmos autores, são desvantagens do tratamento anaeróbio comparado ao aeróbio: os micro-organismos anaeróbios são sensíveis às condições ambientais; e requer pós-tratamento para diminuição da carga orgânica efluente.

Os processos anaeróbios têm sido estudados desde que, em 1902, Omelianski descreveu que micro-organismos específicos poderiam degradar a celulose com formação de metano. Em 1914, o tanque *Imhoff* já era bastante utilizado nos Estados Unidos, utilizando uma zona de sedimentação na parte superior e um separador de gases. Porém sua utilização era limitada devido ao tamanho do tanque. A separação da zona de digestão permitiu melhoria da eficiência do processo, com aplicação de aquecimento e mistura no digestor. Desta forma foi criado o digestor anaeróbio convencional, que tem sido utilizado no tratamento de águas residuárias (CHERNICHARO, 1992 *apud* MONTEGGIA *et al.*, 1998).

### **3.3.1 Fundamentos da Digestão Anaeróbia**

Segundo Pontes (2003), a digestão anaeróbia acontece em três etapas: a hidrólise, a produção de ácidos (acidogênese e acetogênese) e a metanogênese.

Na hidrólise a matéria orgânica particulada complexa é transformada em compostos solúveis mais simples, através de enzimas excretadas pelas bactérias. Na acidogênese as bactérias metabolizam os produtos solúveis resultantes da hidrólise, que são transformados em produtos orgânicos simples pelas endoenzimas, no interior das células bacterianas. Na acetogênese os produtos gerados pela acidogênese são transformados em substratos apropriados para as archaeas metanogênicas. Por sua vez, na metanogênese acontece a produção de metano a partir do acetato ou a partir do dióxido de carbono (CHERNICHARO, 2007).

### **3.3.2 Reator UASB**

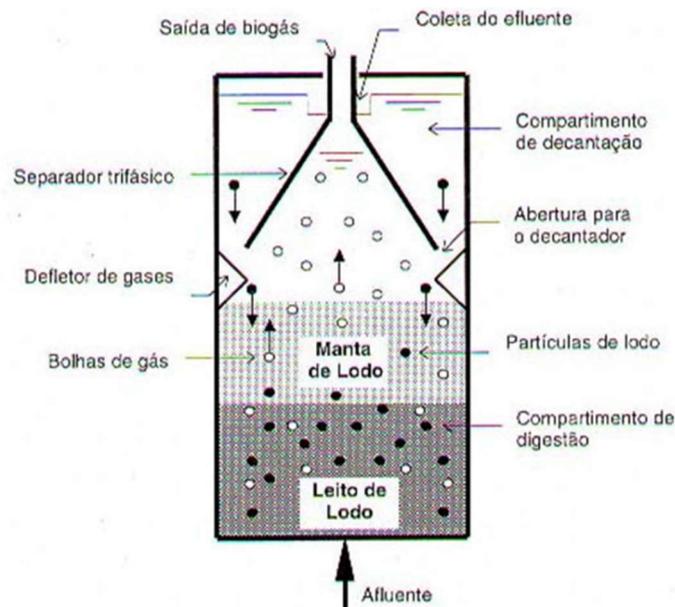
Dentre os diversos tipos de reatores anaeróbios, o reator UASB está consolidado como uma importante opção no tratamento de esgotos em países de clima quente. No Brasil, a maioria

das análises de alternativas de sistemas de tratamento de efluentes tem o UASB como uma das principais opções (LOBATO, 2011).

O reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) ou reator anaeróbio de manta de lodo ou Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente (DAFA) teve seu desenvolvimento na década de 70. É o reator anaeróbio de alta taxa mais usado no tratamento de esgoto. É composto por vários dispositivos, dentre os principais estão: zona de digestão, zona de sedimentação, separador de fases e saída do biogás (HAANDEL e LETTINGA, 1994).

O esgoto bruto é direcionado para o fundo do reator através de tubos dispersores, para ser distribuído o mais uniformemente possível. O esgoto, então, atravessa o leito de lodo e a manta de lodo ascendentemente, onde ocorre a digestão do esgoto por micro-organismos anaeróbios. Ao passar pelos defletores, que são barreiras físicas que desviam o fluxo, o gás é separado e direcionado para um compartimento de coleta gasosa, e o líquido, junto com os sólidos, vão para a zona de decantação. Nesta região, os sólidos decantam e voltam para a zona de digestão, enquanto que o líquido é vertido em uma calha que o direciona para tubulações de saída do reator. Para melhor entendimento, pode ser observada a Figura 2.

**Figura 2** – Desenho Esquemático de um Reator UASB



Fonte: Chernicharo (2007)

São vantagens dos reatores UASB: sistema compacto, com baixa demanda de área; baixo custo para implantar e operar; baixa produção de lodo; baixo consumo de energia; satisfatória eficiência na remoção de matéria orgânica (65 a 75%); possibilidade de rápido

reinício após período sem alimentação. As principais desvantagens são: possibilidade de emissão de maus odores; baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas; elevado intervalo de tempo para partida do sistema; necessidade de pós-tratamento (CHERNICHARO, 2001).

Estima-se a produção de lodo em sistemas anaeróbios é na ordem de 0,10 a 0,20 kgSST/kgDQO<sub>aplicada</sub> (CAMPOS *et al.*, 1999). No entanto, foi encontrada, em alguns reatores UASB, produção de lodo na ordem de 0,20 a 0,27 kgSST/kgDQO<sub>aplicada</sub> (HAANDEL e LETTINGA, 1994). De qualquer forma, uma das vantagens do processo anaeróbio em relação ao aeróbio é uma inferior produção de lodo (MENDONÇA, 2002).

Segundo Monteggia *et al.* (1998), o lodo com características granulares é o recomendado para estes reatores. Este tipo de lodo ocorre quando a biomassa floculada e dispersa se agrega e cresce na forma de flocos esféricos, com características que resistem a forças hidráulicas e com excelente aspecto físico e biológico.

De acordo com Chernicharo (1992 *apud* Monteggia *et al.*, 1998), máximas velocidades ascensionais são ditadas pelo tipo de lodo existente no reator e pela carga orgânica aplicada. Para lodos floculentos, a velocidade não deve exceder 0,5 a 1,5 m/h para uma carga orgânica acima de 5-6 kg DQO/(m<sup>3</sup>.dia). Para lodos granulares, as velocidades podem ser de até 10 m/h em reatores com alturas de 6,0 m. Por sua vez, Lettinga e Hulshoffpol (1991 *apud* Monteggia *et al.*, 1998) recomendam velocidades de 0,5 m/h para lodos floculentos, com picos de 2 m/h.

A velocidade superficial do fluxo é calculada a partir da relação entre a vazão afluente e a seção transversal do reator.

$$v = Q/A \text{ ou } v = H/TDH \quad (11)$$

Em que:

v: velocidade superficial do fluxo (m/h);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/h);

A: área da seção transversal do reator (m<sup>2</sup>);

H: altura do reator;

TDH: tempo de detenção hidráulica.

Para o caso de tratamento de esgotos domésticos, recomendam-se as velocidades superficiais de fluxo, mostradas na Tabela 8.

**Tabela 8** – Velocidades superficiais para esgoto doméstico

<b>Vazão Afluente</b>	<b>Velocidade Superficial (m/h)</b>
Vazão média	0,5 a 0,7
Vazão máxima	0,9 a 1,1
Picos temporários	< 1,5

Fonte: Chernicharo (2007)

De acordo com Chernicharo (2007), os reatores desenvolvem predominantemente lodo do tipo flocculento no tratamento de esgotos domésticos. As velocidades superficiais levam a reatores com profundidades úteis entre 4,0 e 5,0 m, sendo a altura do compartimento de decantação de 1,5 a 2,0 m, e a altura do compartimento de digestão de 2,5 a 3,5 m.

A determinação da quantidade e da atividade de biomassa existente no reator é uma das rotinas mais importantes em uma unidade de tratamento. Obtendo-se o perfil dos sólidos, da biomassa presente e da sua atividade metanogênica, possibilita-se a identificação da altura e da concentração do leito de lodo no reator, podendo-se determinar os pontos e as rotinas de descarte mais adequados (VERSIANI, 2005).

A partida de um reator UASB é definida por um período instável operacionalmente, e que favorece a seleção e retenção dos micro-organismos. Quando não é feita a inoculação do reator, o tempo de desenvolvimento da massa microbiana pode levar cerca de 6 meses. O volume de inóculo utilizado para a partida é geralmente determinado em função da carga biológica inicial aplicada ao sistema de tratamento. Usualmente é utilizado 0,1 kg DQO/(kg ST.dia) (VERSIANI, 2005).

Em reatores UASB é de fundamental importância a formação de uma manta de lodo com características adequadas ao tratamento do esgoto. Este lodo deve ter características granulares, que indicam um processo de partida adequado do reator. Os lodos granulares se caracterizam por terem elevadas idades e excelente sedimentação, levando a uma maior densidade de micro-organismos na manta de lodo (GHANGREKAR, 2005 *apud* RAMOS, 2008).

De acordo com Defour *et al.* (1994), o UASB é uma opção econômica e atraente para tratamento anaeróbio de efluentes, porém sua eficiência depende da formação do lodo granular acumulado no fundo do reator.

Segundo Chernicharo (2007), a carga biológica ou carga de lodo refere-se à quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de biomassa.

$$CB = (Q \times S)/M \quad (12)$$

Em que:

CB: carga biológica ou carga de lodo (kgDQO/kgSVT.dia);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/dia);

S: concentração de substrato do afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>);

M: massa de micro-organismos presentes no reator (kgSVT/m<sup>3</sup>).

É recomendado que as cargas biológicas iniciais, durante a partida de um reator anaeróbio, sejam da ordem de 0,05 a 0,15 kgDQO/kgSVT.dia, dependendo do tipo de afluente a ser tratado. Experiências recentes com reatores de manta de lodo no tratamento de esgotos domésticos, na cidade de Itabira-MG, indicaram que a aplicação de cargas biológicas da ordem de 0,30 kgDQO/kgSVT.dia, durante a partida do sistema, não prejudicaram a estabilidade do processo em termos de pH e de ácidos graxos voláteis. Estas cargas devem ser aumentadas gradativamente, em função da eficiência do sistema. A carga biológica, durante o regime permanente, pode atingir, de acordo com o tipo de afluente a ser tratado, valores em torno de 2,0 kgDQO/kgSVT.dia (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Ramos (2008), sendo a capacidade de acumulação de lodo no interior do reator limitada, é necessário o descarte deste lodo periodicamente. A quantidade de lodo a ser descartada é proporcional à quantidade de lodo produzida pelo reator.

O emprego de rotinas operacionais adequadas, como o descarte do excesso de lodo e a remoção da espuma formada, leva à melhoria na eficiência do tratamento (Sato *et al.*, 2005 *apud* RAMOS, 2008).

Os processos anaeróbios são sensíveis a mudanças ambientais, sendo os fatores ambientais mais importantes: a temperatura, o pH, a alcalinidade, os ácidos voláteis, os nutrientes e a ausência de substâncias tóxicas (VERSIANI, 2005).

A temperatura influencia na seleção das espécies de micro-organismos da digestão anaeróbia, pois esses não possuem meios de controlar a temperatura interna.

A interação da alcalinidade com os ácidos voláteis durante a digestão anaeróbia se baseia na capacidade da alcalinidade do sistema em neutralizar os ácidos formados no processo e também em tamponar o pH na eventualidade de acúmulo de ácidos voláteis (HAANDEL e LETTINGA, 1994).

A carga orgânica volumétrica é a quantidade de matéria orgânica por unidade de volume a que é submetido diariamente o reator UASB, e é encontrada utilizando-se a Equação 13 (VERSIANI, 2005).

$$COV = (Q \times S)/V \quad (13)$$

Em que:

COV: carga orgânica volumétrica (kgDQO/m<sup>3</sup>.dia);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/dia);

S: concentração de substrato afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>);

V: volume total do reator (m<sup>3</sup>).

Segundo Campos *et al.* (1999), em esgotos domésticos a carga orgânica volumétrica apresenta valores entre 2,5 e 3,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia.

O volume do reator pode ser calculado conhecendo-se a vazão e a concentração do esgoto, e admitindo-se uma determinada carga orgânica volumétrica. No caso de esgotos de baixa concentração, como é o caso de esgotos domésticos, a carga orgânica não é um fator limitante considerando-se o volume total do reator. Neste caso, o dimensionamento do reator deve ser feito utilizando a carga hidráulica volumétrica (CHERNICHARO, 2007).

A carga hidráulica volumétrica é o volume de esgoto que passa diariamente pelo reator, por unidade de volume do próprio reator (Equação 14). E o tempo de detenção hidráulica é o inverso da carga hidráulica volumétrica, como pode ser visto na Equação 15 (VERSIANI, 2005).

$$CHV = Q/V \quad (14)$$

Em que:

CHV: carga hidráulica volumétrica (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.dia);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/dia);

V: volume total do reator (m<sup>3</sup>).

$$TDH = V/Q \quad (15)$$

Em que:

TDH: tempo de detenção hidráulica (dia).

De acordo com Chernicharo (2007), a carga volumétrica não deve ser maior que 5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.dia, que corresponde a um tempo de detenção hidráulica mínimo de 4,8 horas. O parâmetro tempo de detenção hidráulica é de fundamental importância por estar diretamente relacionado com a velocidade do processo de digestão anaeróbia, o que, por sua vez, depende

do tamanho do reator. Ainda, segundo o mesmo, as faixas usuais para tempos de detenção hidráulica em reatores UASB são as citadas na Tabela 9.

**Tabela 9 – Tempo de Detenção Hidráulica em Reatores UASB**

Temperatura do Esgoto (°C)	Tempo Médio (h)	Tempo Mínimo (h)
16 -19	>10 - 14	>7 - 9
20 – 26	>6 - 9	>4 - 6
> 26	>6	>4

Fonte: Chernicharo (2007)

Desta forma, conhecendo-se a vazão do afluente, e admitindo-se o tempo de detenção hidráulica de projeto, obtêm-se o volume do reator, conforme Equação 16.

$$V = Q * TDH \quad (16)$$

Um conceito fundamental no reator UASB se refere ao contato ótimo entre a biomassa do reator e o esgoto a ser tratado, que pode ser conseguido através de uma distribuição uniforme na entrada do esgoto no reator. Enumeram-se três fatores que afetam o contato da biomassa com o esgoto no reator. O primeiro é a formação de canais preferenciais no interior do reator. O segundo é a formação de zona morta pela compactação do lodo ou obstrução dos espaços intersticiais da camada de lodo por sólidos não degradáveis. E o terceiro é o entupimento dos tubos de distribuição ou por falha de projeto (MONTEGGIA *et al.*, 1998).

De acordo com Vieira e Garcia (1992), o esgoto doméstico tem carga orgânica reduzida, então a produção de gás não contribui de maneira significativa para a mistura no reator. Desta forma, necessita-se que haja uma distribuição homogênea no fundo do reator, prevenindo-se a ocorrência de áreas de estagnação e curto circuitos.

Segundo Chernicharo (2007), para garantir perfeita distribuição da vazão afluente no fundo do reator, deve-se utilizar tubos distribuidores verticais que recebem o esgoto de compartimentos de distribuição. O número de tubos distribuidores é determinado em função da área da seção transversal do reator e da área de influência de cada tubo distribuidor, como pode ser visto na Equação 17. Devido à enorme importância do correto sistema de distribuição, recomenda-se área de influência do tubo distribuidor na ordem de 2,0 a 3,0 m<sup>2</sup> para o tratamento de esgotos domésticos.

$$N_d = A/A_d \quad (17)$$

Em que:

$N_d$ : número de distribuidores;

$A$ : área da seção transversal do reator ( $m^2$ );

$A_d$ : área de influência de cada distribuidor ( $m^2$ ).

A presença de material particulado no afluente do reator UASB, contribui para a limitação da digestão anaeróbia e para uma menor eficiência do sistema de tratamento. A hidrólise da matéria orgânica pode ser dificultada pela elevada presença de material particulado (VAVILIN *et al.*, 1996 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2009).

### 3.3.2.1 Desempenho dos reatores UASB

Um reator UASB bem projetado apresenta uma eficiência média de 65% de remoção de DQO e 70% de remoção de DBO. No tratamento de esgotos domésticos, o efluente apresenta concentração máxima de DBO igual a 120 mg/L e de SST igual a 80 mg/L (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

Em 1981, Lettinga e equipe conseguiram remoção de DQO de 75% em um reator de 6  $m^3$ , em escala piloto, com tempo de detenção hidráulica de 12 horas, previamente inoculado com lodo digerido, a uma temperatura de 20 °C. Em 1983, a mesma equipe conseguiu uma remoção de DBO de 65 a 90% em um reator de 120 litros, com tempo de detenção hidráulica de 12 horas, inoculado com lodo anaeróbio granular, a uma temperatura de 8 a 20 °C (VERSIANI, 2005).

Em Cali na Colômbia, um reator UASB com volume de 64  $m^3$ , operado entre 1983 e 1987, obteve remoção de DQO de 71% e de SST de 70%, para um tempo de detenção hidráulica de 5 horas. Em 1989, no bairro de Pedregal em Campina Grande na Paraíba, um reator UASB com capacidade de 160  $m^3$  foi operado sem prévia inoculação e obteve remoção de DQO, nas 10 primeiras semanas, de 30 a 40% e, da 20<sup>a</sup> a 30<sup>a</sup> semana obteve uma remoção de DQO de 75 a 85%. No mesmo ano, na cidade de Kampur na Índia, um reator UASB de 120 $m^3$ , operando com TDH de 6 horas, durante 12 meses, apresentou remoção de DQO de 74% e de SST de 75% (HAANDEL e LETTINGA, 1994).

O reator só atingirá a eficiência de projeto rapidamente, se houver uma prévia inoculação com lodo anaeróbio. Caso não aconteça a inoculação, essa eficiência só será conseguida dentro de 20 a 30 semanas.

### 3.3.3 Valo de Oxidação

O valo de oxidação é um processo de lodos ativados de aeração prolongada modificado.

A utilização de reatores UASB isolados pode não se apresentar como uma solução eficiente para o atendimento da legislação ambiental brasileira, sendo necessário um pós-tratamento. Assim, o processo de lodos ativados se mostra como uma importante alternativa para este tratamento secundário (MIKI, 2010).

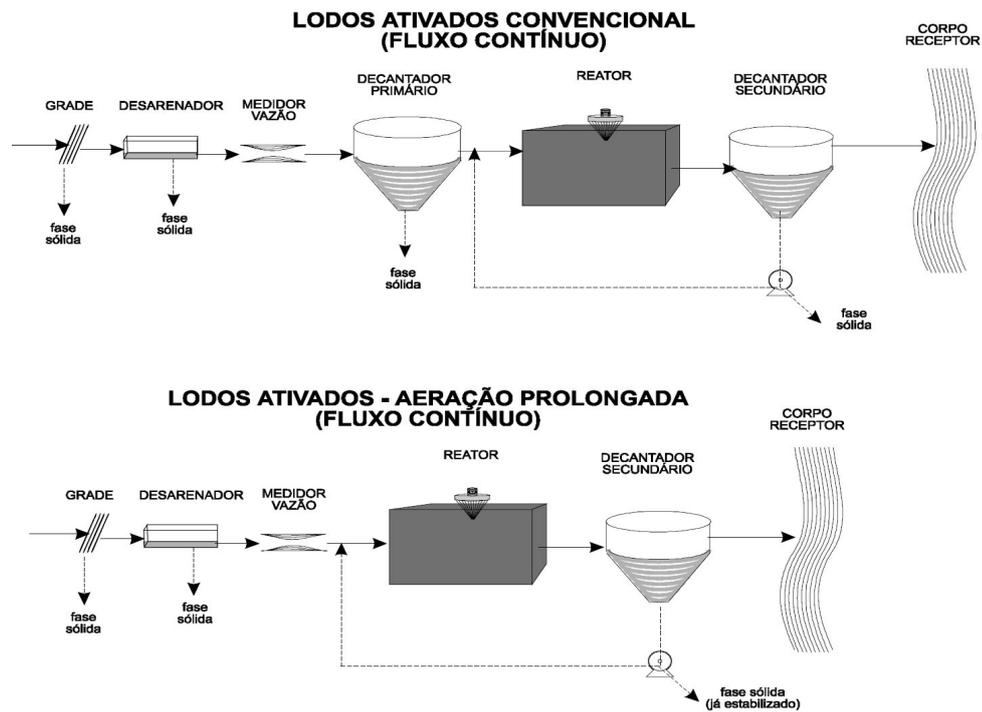
Lodos ativados é o processo de tratamento de efluentes domésticos e industriais mais utilizados no mundo, porém tem a desvantagem de gerar uma grande quantidade de lodo (WEI *et al.*, 2003).

O sistema de lodos ativados é composto de tanque de aeração, decantador secundário e recirculação do lodo. No tanque de aeração ocorrem reações bioquímicas que promovem a remoção da matéria orgânica. No decantador secundário ocorre a sedimentação do lodo, clarificando o efluente. O lodo sedimentado no decantador é recirculado para o tanque de aeração, aumentando a concentração da biomassa (VON SPERLING, 1997).

Segundo Von Sperling (1997), o sistema de lodos ativados necessita de uma mecanização superior aos demais sistemas de tratamento, portanto inclui níveis operacionais sofisticados e maior consumo de energia elétrica. Os sistemas de lodos ativados mais utilizados são os convencionais e os de aeração prolongada.

No sistema convencional, parte da matéria orgânica sedimentável é retirada em um decantador primário, conforme Figura 3, porém, quando o sistema de lodos ativados está na sequência de reatores UASB, estes substituem o decantador primário, pois removem grande parte da matéria orgânica e dos sólidos. Nesse sistema convencional, a idade do lodo é de 4 a 10 dias, e o tempo de detenção hidráulica é em torno de 6 a 8 horas. Com essa idade, o lodo requer um tratamento posterior, pois ainda tem elevado teor de matéria orgânica. Já no sistema de aeração prolongada, a idade do lodo é de 18 a 30 dias, e o tempo de detenção hidráulica é na ordem de 16 a 24 horas. Devido a essa idade, o lodo é estabilizado dentro do tanque de aeração. Desta forma, os sistemas de aeração prolongada geralmente não possuem decantador primário, com o objetivo de evitar a necessidade de tratamento posterior do lodo, como mostra a Figura 3 (VON SPERLING, 1997).

**Figura 3 – Lodos Ativados Convencional**



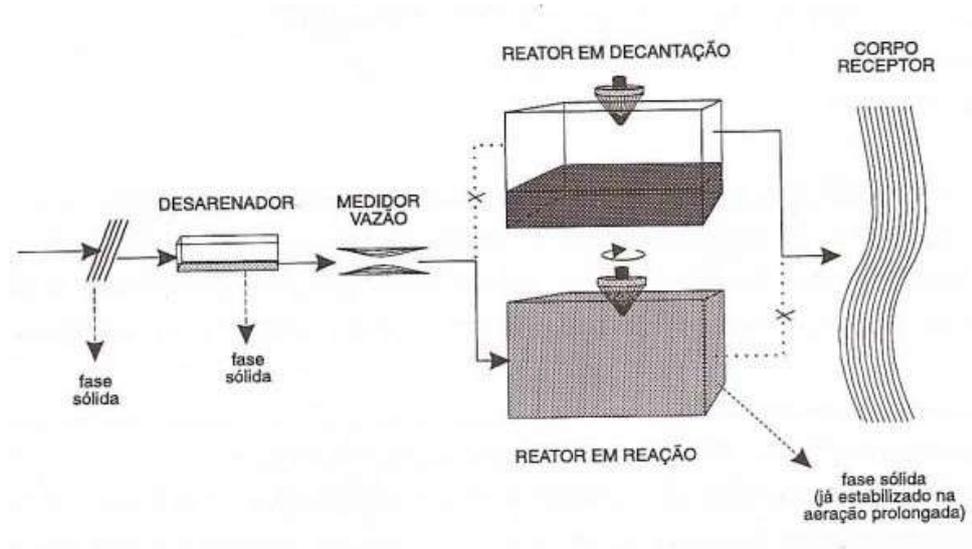
Fonte: Von Sperling (1997)

O sistema de lodos ativados pode ser de fluxo contínuo ou de fluxo intermitente (bateladas). No caso do fluxo contínuo, o esgoto está sempre entrando e saindo do tanque de aeração. Já o sistema em bateladas, todas as etapas do processo são feitas em sequência no tempo, em um único tanque, como se vê na Figura 4.

De acordo com Santos *et al.* (2005), em decantadores de fluxo contínuo, o líquido continua em movimento. Então o esgoto só será clarificado se a taxa de escoamento superficial aplicada não exceder a velocidade de sedimentação da interface entre o líquido clarificado e o lodo.

O sistema de lodos ativados em bateladas tem operação sequencial e funciona em ciclos. Em cada um dos ciclos, o tanque opera inicialmente como tanque de aeração e depois como decantador. A operação em cada um dos ciclos resulta na divisão do volume do reator em duas partes sobrepostas, sendo a parte superior a zona de carga, que é alternadamente enchida e esvaziada, e a parte inferior consiste na zona de lodo, onde acumula-se o lodo do reator após sedimentação. Este tanque funcionará bem como reator, se o oxigênio fornecido for satisfatório, e se a massa de micro-organismos aeróbios for suficiente para metabolizar a matéria orgânica. A adoção de um tempo de decantação e de uma altura de zona de carga adequados garantirá um satisfatório desempenho do tanque como decantador (SANTOS *et al.*, 2005).

**Figura 4 – Lodos Ativados de Fluxo Intermitente**



Fonte: Von Sperling (1997)

O processo de lodos ativados opera numa faixa larga de concentrações de Oxigênio Dissolvido, mas existe um intervalo desejado entre 3,0 e 5,0 mg/L. Abaixo desta faixa pode acontecer a morte de micro-organismos, e acima pode provocar baixa decantabilidade do lodo. Com relação aos sólidos suspensos no tanque de aeração, parte destes está na forma de flocos de lodo ativado. O SSV poderá estar entre 2000 e 4000 mg/L (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

São parâmetros de controle do sistema de lodos ativados: a relação alimento/micro-organismo (A/M); o índice volumétrico de lodo (IVL); a análise da microbiota; e os parâmetros físico-químicos, como: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis. O parâmetro A/M é a relação entre a quantidade de carga orgânica de esgoto e de micro-organismos presentes no reator. O IVL representa o volume tomado por um grama de lodo do reator com 30 minutos de decantação (CORDI *et al.*, 2008).

De acordo com Von Sperling (1997), a relação A/M é um parâmetro bastante utilizado em projetos e na operação de estações de tratamento de esgotos, e tem por base a quantidade de alimento fornecida por dia, por quantidade de micro-organismos existente no sistema, e é dada pela Equação 18.

$$A/M = (Q \times S_o)/(V \times X_v) \quad (18)$$

Em que:

A/M: relação alimento/micro-organismos (kg DBO<sub>5</sub>/kgSSV.dia);

Q: vazão (m<sup>3</sup>/dia);

So: concentração de DBO<sub>5</sub> afluente (g/m<sup>3</sup>);

V: volume total do reator (m<sup>3</sup>);

Xv: concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>).

A relação alimento/micro-organismos se apresenta, na maior parte das vezes, dentro das faixas a seguir. Para o sistema de lodos ativados convencional, mostra-se entre 0,3 e 0,8 kg DBO<sub>5</sub>/kgSSV.dia e, para o sistema de aeração prolongada, aparece entre 0,08 e 0,15 kg DBO<sub>5</sub>/kgSSV.dia (VON SPERLING, 1997).

Pode-se verificar a sedimentabilidade do lodo utilizando-se o IVL, que expressa o volume ocupado por um grama de lodo depois de uma decantação de 30 minutos, como pode ser visto na Equação 19. Utilizando a Tabela 10, é possível verificar a qualidade da sedimentabilidade do lodo (AMORIM *et al.*, 2014).

$$IVL = SD_{30}/SS_{RB} \quad (19)$$

Em que:

IVL: índice volumétrico de lodo (mL/g);

SD<sub>30</sub>: sólidos sedimentáveis após 30 minutos (mL/L);

SS<sub>RB</sub>: sólidos suspensos do reator biológico (mg/L).

**Tabela 10** – Interpretação Aproximada do Resultado do IVL

Sedimentabilidade	Faixas de IVL (mL/g)
Ótima	0 - 50
Boa	50 - 100
Média	100 - 200
Ruim	200 - 300
Péssima	> 300

Fonte: Amorim *et al.* (2014)

O valo de oxidação é composto, basicamente, de um valo de fluxo orbital, constituído por canais contíguos, interligados nas extremidades; um ou mais aeradores de eixo vertical, instalados nas extremidades dos canais, impulsionam o esgoto ao longo do valo, fornecendo oxigênio ao processo e mantendo o lodo em suspensão. No valo de oxidação, a autodepuração acontece pelo contato do esgoto com o oxigênio dissolvido e a massa biológica mantida em

suspensão, assim como acontece no processo de lodos ativados, sendo a eficiência medida pela quantidade de matéria orgânica metabolizada por unidade de volume na unidade de tempo, valor este expresso por kg DBO/m<sup>3</sup>.dia (PARENTE e SILVA, 2002).

Os fatores de controle no valo de oxidação são o oxigênio introduzido e o retorno do lodo. No retorno do lodo, têm-se que considerar duas situações: a operação descontínua e a operação contínua. Na operação descontínua, o sistema caracteriza-se pela não existência de decantador secundário, utilizando-se o próprio valo como câmara de sedimentação, não existindo a recirculação de lodo. Para que aconteça a sedimentação, o funcionamento dos aeradores é interrompido durante 20 a 30 min. Neste intervalo de tempo, a velocidade do fluxo diminui e os sólidos sedimentáveis vão para o fundo da unidade, clarificando a camada superior, que é descarregada por um dispositivo adequado. Os aeradores serão ligados quando surgir alguma submergência do lodo. O ciclo é reiniciado quando o nível do esgoto chega ao máximo. De acordo com a maioria dos autores, o excesso de lodo deve ser encaminhado para os leitos de secagem, ao atingir uma concentração de 8000 mg/L de sólidos em suspensão no interior do valo. A operação contínua é mais simples, porém requer um dispositivo de sedimentação posterior ao valo (BEZERRA, 2004).

### 3.4 Tratamento Terciário

O tratamento terciário tem como objetivo a remoção de poluentes específicos, a remoção complementar de poluentes não removidos pelo tratamento secundário, e a remoção de patógenos. De acordo com Sonune e Ghate (2004), o tratamento primário e o secundário removem a maioria da matéria orgânica dos esgotos, porém em um número cada vez mais crescente de casos, essa remoção se torna ineficiente quando se trata de reúso de águas residuárias ou quando o curso d'água receptor exige um grau mais apurado de tratamento, dessa forma o tratamento terciário é adicionado ao sistema para garantir uma maior remoção de matéria orgânica e sólidos, e remover nutrientes e materiais tóxicos.

As principais formas de remoção de micro-organismos patogênicos são: lagoa de maturação, disposição no solo, cloração, ozonização e radiação ultravioleta (BARROS *et al.*, 1995).

Na maioria das estações de tratamento de esgotos do Brasil, não existe o tratamento terciário e, quando existe, esse acontece pela cloração do efluente. Ao longo de décadas, o cloro tem sido o desinfetante mais utilizado no mundo, resultando em uma grande melhoria para a saúde da população mundial. Porém, descobriu-se que a interação do cloro com a matéria orgânica do meio produz subprodutos cancerígenos conhecidos como trihalometanos. Este

problema levou à procura de desinfetantes alternativos, como o dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), o ozônio e a radiação ultravioleta. O dióxido de cloro foi estudado como um substituto do cloro, pois tem ação rápida, igual ou superior ao cloro na inativação de bactérias e vírus, tendo mais eficiência na destruição de cistos de protozoários patogênicos. O mesmo tem suas propriedades oxidantes e desinfetantes praticamente inalteradas entre o pH 4 e 10 (LAPOLLI *et al.*, 2005).

O dióxido de cloro não produz cloro gasoso nem hipoclorito quando oxida matéria orgânica e, por oxidar os precursores dos trihalometanos, apresenta baixa formação de subprodutos organoclorados (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Lapolli *et al.* (2005) puderam concluir, através de experimentos, que a dosagem mais indicada para desinfecção de esgotos sanitários com dióxido de cloro, que foram tratados pelo processo lodos ativados, é de 2,0 mg  $\text{ClO}_2$ /L com um tempo de contato de 20min, conseguindo a remoção de 100% de coliformes fecais, oxidando parcialmente a matéria orgânica remanescente e mantendo o pH e o  $\text{ClO}_2$  residual dentro dos limites das normas ambientais brasileira e americana, conforme mostra a Tabela 11.

**Tabela 11** – Concentração (NMP/100 mL) e percentagem de remoção de coliformes fecais no esgoto tratado em função da dosagem e do tempo de contato com  $\text{ClO}_2$

Tempo de contato (min)	Dosagem aplicada de $\text{ClO}_2$ (mg/L)									
	1,0		1,5		2,0		2,5		3,0	
	Col. fecais	% remoção	Col. fecais	% remoção	Col. fecais	% remoção	Col. fecais	% remoção	Col. fecais	% remoção
<b>0</b>	2,6 x 10 <sup>4</sup>	-	2,6 x 10 <sup>4</sup>	-	2,6 x 10 <sup>4</sup>	-	2,6 x 10 <sup>4</sup>	-	2,6 x 10 <sup>4</sup>	-
<b>5</b>	1,3 x 10 <sup>3</sup>	95,12	1,1 x 10 <sup>2</sup>	99,57	9,0 x 10 <sup>1</sup>	99,66	1,5 x 10 <sup>1</sup>	99,94	1,0 x 10 <sup>1</sup>	99,96
<b>10</b>	1,2 x 10 <sup>3</sup>	95,50	8,5 x 10 <sup>1</sup>	99,67	2,8 x 10 <sup>1</sup>	99,89	7,4 x 10 <sup>0</sup>	99,97	0	100
<b>15</b>	1,1 x 10 <sup>3</sup>	95,96	8,0 x 10 <sup>1</sup>	99,69	1,5 x 10 <sup>1</sup>	99,94	0	100	0	100
<b>20</b>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	96,08	6,6 x 10 <sup>1</sup>	99,75	0	100	0	100	0	100
<b>25</b>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	96,15	3,8 x 10 <sup>1</sup>	99,86	0	100	0	100	0	100
<b>30</b>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	96,15	3,4 x 10 <sup>1</sup>	99,87	0	100	0	100	0	100

Fonte: Lapolli *et al.* (2005)

### 3.5 Reúso do Efluente

Segundo a NBR 13969 (ABNT, 1997), o esgoto doméstico tratado deve ser utilizado para fins que utilizem água não potável, porém devem ter segurança sanitária, como: irrigação de jardins, lavagem de veículos e pisos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística de espelhos d'água, na irrigação agrícola e pastagens etc. Esta norma define uma classificação e parâmetros para esgotos, conforme o uso, conforme exposto na Tabela 12.

**Tabela 12** – Classificação e Parâmetros para Reúso

	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>	<b>Classe 4</b>
<b>Indicações de uso</b>	Lavagem de carros; chafarizes; outros usos com possível aspiração de aerossóis.	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins; manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Descargas em vasos sanitários.	Pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. (*)
<b>Turbidez (UNT)</b>	< 5	< 5	< 10	-
<b>Coliforme fecal (NMP/100 mL)</b>	< 200	< 500	< 500	< 5000
<b>Sólidos dissolvidos totais (mg/L)</b>	< 200	-	-	-
<b>pH</b>	6 a 8	-	-	-
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	0,5 a 1,5	> 0,5	-	-
<b>Oxigênio Dissolvido (mg/L)</b>	-	-	-	2,0

\* As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado de ABNT (1997)

Conforme a Resolução do CNRH Nº 54 (BRASIL, 2005), o reúso direto não potável da água compreende as modalidades de: reúso para fins urbanos, reúso para fins agrícolas e florestais, reúso para fins ambientais, reúso para fins industriais e reúso para a aquicultura. Esta resolução cita que as diretrizes, critérios e parâmetros para o reúso deste recurso serão definidos pelos órgãos competentes.

Em 2010, a Resolução do CNRH Nº 121 estabeleceu diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água para fins agrícolas e florestais, uma das modalidades citadas na Resolução do CNRH Nº 54 (BRASIL, 2005), estando as outras modalidades de reúso da água ainda sem a definição das diretrizes e critérios.

De acordo com Hespanhol (2002), o reúso urbano não potável da água tem alguns problemas como: altos custos na implantação de sistemas duplos de distribuição, dificuldades de operação e possibilidade de conexões cruzadas. Cita ainda que em vários países europeus e asiáticos industrializados, localizados em regiões áridas, o reúso não potável da água para fins urbanos é bastante praticado.

### **3.6 Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários**

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 430 (BRASIL, 2011), deverão ser obedecidas as seguintes condições para lançamento direto de efluente de sistemas de tratamento de esgotos sanitários: o pH deve estar entre 5 e 9; temperatura menor que 40°C, com variação da temperatura do corpo receptor menor que 3°C no limite da zona de mistura; materiais sedimentáveis de até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*; DBO de no máximo 120 mg/L (sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60%, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor); óleos e graxas de até 100 mg/L; ausência de materiais flutuantes. Para melhor entendimento, os parâmetros estão agrupados na Tabela 13.

**Tabela 13 - Padrões da Resolução Conama N° 430**

<b>Parâmetro</b>	<b>Limite</b>
pH	entre 5 a 9
Temperatura	< 40°C
Materiais sedimentáveis	≤ 1 mL/L
DBO	≤ 120 mg/L ou eficiência ≥ 60%
Óleos e graxas	≤ 100 mg/L
Materiais flutuantes	ausentes

Fonte: Brasil (2011)

De acordo com Mara (2013), a correlação DBO/DQO para esgoto doméstico é 0,5. Silva e Mendonça (2003) e Scalize *et al.* (2004) atestam esta relação, com variações entre 0,4 e 0,5.

Esta correlação é importante, pois a análise de DBO tem custo mais elevado e demanda mais tempo na realização do ensaio (ÁVILA, 2005).

### 3.7 Eficiências de Estações de Tratamento

Para que uma estação de tratamento de esgotos possa atingir seus objetivos de proteger a saúde da população e preservar o meio ambiente, torna-se necessário que o sistema de tratamento tenha sido bem projetado e construído, e que a operação ocorra de forma correta (RECESA, 2008).

Segundo Sonune e Ghate (2004), com o objetivo de não agredir o curso d'água receptor, as estações de tratamento de esgotos requerem uma gestão que garanta a eficiência técnica, econômica e ambiental do tratamento. Para isso é necessário um treinamento certificado dos operadores, monitoramento do afluente e do efluente da estação, e controle do processo.

Oliveira e Von Sperling (2005a; 2005b) analisaram a eficiência de 166 estações de tratamento de esgotos urbanos em operação nos estados de Minas Gerais e São Paulo. A análise englobou seis métodos de tratamento: fossa séptica seguida de filtro anaeróbio, lagoas facultativas, lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, lodos ativados, reatores UASB isoladamente, e reatores UASB seguidos por pós-tratamento. O resultado mostrou que a remoção da matéria orgânica esteve dentro do esperado; a remoção de SST esteve abaixo; a remoção de coliformes foi maior que o citado na literatura; e a remoção de nutrientes foi baixa, pois nenhum dos sistemas foi projetado com esse objetivo.

Na Tabela 14, destaca-se a eficiência observada na pesquisa citada acima e a eficiência encontrada na literatura por Von Sperling (2005).

**Tabela 14** - Eficiências típicas relatadas na literatura e eficiências efetivamente observadas

<b>Constituinte</b>	<b>Faixas</b>	<b>Lodos Ativados</b>	<b>UASB</b>
DQO (%)	Literatura	80 a 93	55 a 70
	Reais	62 a 93	44 a 77
SST(%)	Literatura	87 a 93	65 a 80
	Reais	53 a 95	57 a 81
Nitrogênio Total (%)	Literatura	< 60	< 60
	Reais	20 a 78	-19 a -6
Fósforo Total (%)	Literatura	< 35	< 35
	Reais	35 a 55	-21 a 16
Coliformes	Literatura	1 a 2	0,5 a 1,5
Fecais (%)	Reais	1,4 a 2,8	0 a 1,3

Fonte: Adaptado de Oliveira e Von Sperling (2005a)

Em seguida, foi feito um segundo estudo pelos mesmos autores, avaliando a influência de fatores de projeto e de operação na eficiência das estações tratamento de esgotos, levando-se em conta a concentração e a eficiência na remoção de DBO. Objetivou-se analisar a influência das condições de carga, do porte da estação e do envolvimento operacional no desempenho das estações de tratamento de esgotos. Os resultados mostraram que não existe relação estável entre as variáveis analisadas e a eficiência da estação de tratamento; e que a influência de cada variável é diferente para cada ETE, podendo ser consequência de projeto, de operação ou de ambos.

Dois anos depois, Oliveira e Von Sperling (2007) afirmaram que uma ETE será completamente confiável quando não houver falha de desempenho, ou seja, caso os limites citados na legislação ambiental não tenham sido ultrapassados.

### **3.8 Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**

De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011), os requisitos para o projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários são os dispostos no Quadro 1.

Ainda segundo esta norma, parâmetros básicos mínimos devem ser considerados para projetar uma ETE, como: vazões afluentes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais e voláteis, nitrogênio total, fósforo total, coliforme termotolerantes, temperatura e outros indicadores biológicos quando relevantes. A determinação dos parâmetros deve ser feita por meio de investigação local com validade

reconhecida. Na impossibilidade da investigação local, a norma cita faixa de valores que podem ser utilizados como parâmetros, porém é necessária uma justificativa.

**Quadro 1** – Requisitos para o projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários

<p>Relatório de estudo de concepção do sistema de esgoto sanitário, contendo:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) População a ser atendida nas diversas etapas do plano.</li> <li>b) Vazões e caracterização do esgoto afluyente nas diversas etapas do plano.</li> <li>c) Exigências ambientais e legais.</li> <li>d) Características do efluente tratado.</li> <li>e) Forma de disposição do efluente final: ponto de lançamento, corpo receptor, previsão de reúso.</li> <li>f) Forma de armazenamento e disposição final dos subprodutos sólidos.</li> <li>g) Área selecionada para a construção da ETE.</li> <li>h) Sondagem do subsolo da área.</li> <li>i) Cota máxima de enchente da área selecionada.</li> <li>j) Avaliação de lançamento de efluentes não domésticos na rede de coleta.</li> <li>k) Avaliação de emissões de gases do efeito estufa pela ETE.</li> </ul>
<p>Atividades Mínimas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Seleção e interpretação das informações disponíveis.</li> <li>b) Avaliação das opções de processos de tratamento.</li> <li>c) Seleção dos parâmetros de dimensionamento e seus valores.</li> <li>d) Dimensionamentos das unidades de tratamento.</li> <li>e) Elaboração dos arranjos em planta das opções definidas.</li> <li>f) Avaliação de custo de implantação e operação das opções definidas.</li> <li>g) Comparação técnica, econômica e ambiental das opções definidas, e escolha da melhor solução.</li> <li>h) Dimensionamentos dos órgãos auxiliares e sistemas de utilidades</li> <li>i) Seleção dos equipamentos e acessórios.</li> <li>j) Locação definitiva das unidades.</li> <li>k) Elaboração do perfil hidráulico.</li> <li>l) Elaboração do relatório do projeto hidráulico-sanitário.</li> <li>m) Elaboração das diretrizes de operação, de processo e de manutenção.</li> <li>n) Previsão de projetos de supervisão e controle, arquitetônico, paisagístico, funcional de laboratório e manutenção.</li> <li>o) Previsão de vias de acesso no entorno da ETE.</li> <li>p) Avaliação da emissão de odores, ruídos e aerossóis que possam causar incômodo à vizinhança, e indicação de medidas mitigadoras.</li> </ul>

Fonte: ABNT (2011)

Todas as unidades da ETE e canalizações a jusante de tanque de acumulação, com saída em regime de vazão contínua, devem ser dimensionadas utilizando-se a vazão média. No

entanto, as estações elevatórias de esgoto bruto, canalizações, medidores e dispositivos de entrada e saída, devem ser dimensionados utilizando-se a vazão máxima horária (ABNT, 2011).

A NBR 12209 (ABNT, 2011) também recomenda: que todas as unidades da ETE sejam projetadas com sistema de *by-pass* e esgotamento; que seja instalado um sistema de medição de vazão afluente, e quando as vazões médias forem superiores a 100 L/s deve ser previsto um sistema de totalizador de volume afluente; que as canalizações sejam projetadas de modo a evitar deposição de sólidos; que os acessos às unidades da estação sejam projetados prevendo a segurança e a facilidade de trabalho da operação; que sejam instalados dispositivos de segurança e previstas condições para evitar riscos de explosão, intoxicação e desconforto, provenientes do manejo do gás da estação de tratamento; que a estação tenha definido o tratamento do lodo gerado, o manejo dos resíduos sólidos e dos gases oriundos do processo. Além disso, a norma em questão informa que o relatório do projeto hidráulico-sanitário da estação de tratamento de esgotos deve conter: descrição do manejo dos resíduos da ETE; balanço de massa; memória de cálculo do projeto; planta de situação da ETE contendo a área de projeto e o corpo receptor; planta de locação das unidades; fluxograma do processo e planta de arranjo geral; perfis hidráulicos das fases líquidas e sólidas; plantas, cortes e detalhes; plantas e perfis de cortes e aterros; especificações de materiais e serviços; especificações de equipamentos e acessórios; estimativa orçamentária; diretrizes de operação e manutenção da ETE.

Segundo a NBR 12207 (ABNT, 2016), recomenda-se para o cálculo das estações elevatórias e ETE, o amortecimento das vazões afluentes através da composição dos hidrogramas das vazões dos trechos a montante.

De acordo com Rosso e Dias (2011), o método de cálculo que considera o amortecimento das vazões nos interceptores faz com que haja o achatamento do hidrograma de vazão pela defasagem horária das contribuições em marcha, possibilitando maior fidelidade e economia no dimensionamento da estação de tratamento de esgotos.

Para se calcular a contribuição de despejos, devem ser considerados: a população a ser atendida; a produção de esgotos como sendo 80% do consumo local de água; e considerar habitantes permanentes e temporários, caso existam (ABNT, 1993).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais

De acordo com o sistema e-MEC do Ministério da Educação, existem 63 universidades federais ativas no Brasil. Tendo isso em vista, foi feito um levantamento dos tipos de sistemas de tratamento de efluentes implantados nestas instituições de ensino. Os dados foram levantados através de leitura de artigos e dissertações, por contato com as superintendências dos *campi* através de *e-mail* e por consulta através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC). Após a coleta, os dados foram tabulados para verificar quais são os processos mais utilizados.

### 4.2 Caracterização do objeto de pesquisa

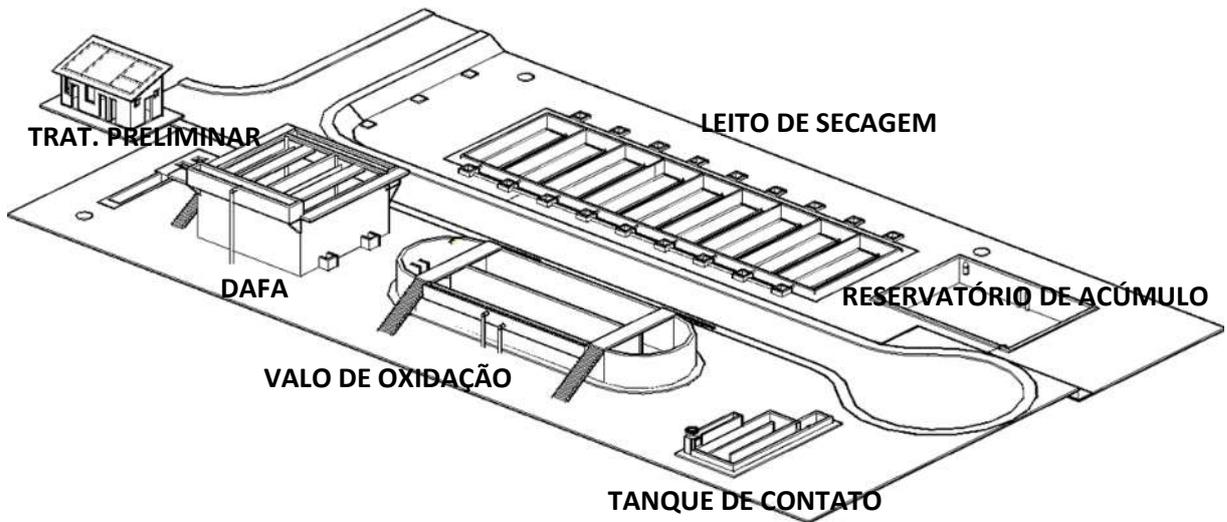
A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da UFS *campus* São Cristóvão, onde foram feitas as coletas de amostras e foram observadas as condições físicas e operacionais das etapas do sistema de tratamento de esgotos.

Na Universidade Federal de Sergipe, *campus* São Cristóvão, a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) era composta por lagoas de estabilização até o ano de 2015 e, a partir do mês de julho daquele ano, o sistema de tratamento foi substituído por reator UASB com pós-tratamento em valo de oxidação.

Atualmente a ETE é composta por tratamento preliminar, Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente (DAFA), Valo de Oxidação, Tanque de Contato, Reservatório de Acúmulo e Leito de Secagem de Lodo, conforme pode ser verificado na Figura 5.

A estação de tratamento de esgotos da UFS *campus* São Cristóvão é administrada pela Divisão de Administração de Imóveis (DIVAI/INFRA-UFS), que está situada na Superintendência da UFS.

**Figura 5** – Representação em perspectiva da ETE da UFS *campus* São Cristóvão



Fonte: Adaptado de UFS (2014)

O *campus* está localizado na Avenida Marechal Cândido Rondon S/N, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão - SE, com coordenadas geográficas 10° 55' 33'' Sul e 37° 06' 08'' Oeste, como mostrado na Figura 6.

**Figura 6** – Localização da ETE no *campus* São Cristóvão – UFS



Fonte: Adaptado de Google Earth em 12/12/2018

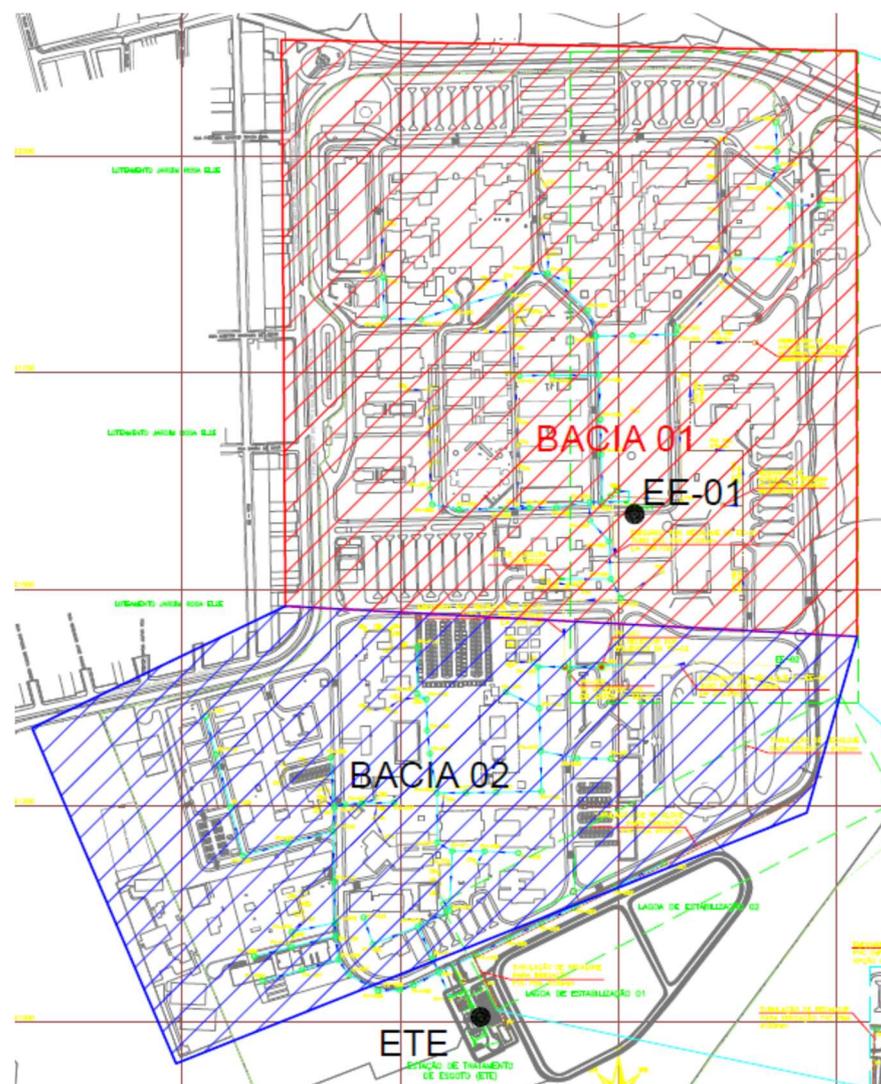
De acordo com o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), a concepção geral do sistema projetado é a seguinte:

A rede coletora foi concebida utilizando os critérios de: aproveitamento máximo possível da topografia do terreno, divisão da área em bacias bem definidas, economia e funcionalidade do sistema a ser executado.

O projeto de coleta foi dividido em duas bacias conforme descrição.

A Bacia 01 está situada na região norte do *campus*. Nessa bacia, os efluentes são direcionados por gravidade através de Poços de Visita (PVs) até a Estação Elevatória EE-01. A Bacia 02 fica ao sul da cidade universitária, sendo que seus efluentes seguem por gravidade até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Para melhor visualização e entendimento do sistema proposto, pode ser verificada a Figura 7.

**Figura 7** – Bacias de Coletas de Esgoto do *campus* São Cristóvão



Fonte: Adaptado da Planta de Concepção Geral do Sistema (SILVA, 2012)

Ainda segundo o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), as vazões a esgotar em todo o sistema de contribuição foram estimadas com base na NBR 7229 de 1993 com valor de 50 litros/habitante x dia (alunos, docentes e funcionários), acrescida de uma taxa de infiltração de 0,0005 L/s.m. Foi realizado um estudo da vazão originada distribuída das edificações existentes e feita uma projeção de futuras vazões conseguindo-se a vazão distribuída por prédio existente e a previsão de vazão para futuras construções, tendo como limite a saturação da área com possibilidade de construção no *campus*, conforme Tabela 15. O sistema foi dimensionado para a situação mais crítica de funcionamento, considerando que toda a população do *campus* estaria presente no mesmo dia. Foi diagnosticado pela empresa executora do projeto que o sistema tem uma grande diluição do esgoto, por admissão de águas pluviais ao sistema de coleta do *campus*.

**Tabela 15 – Previsão de Vazões para ETE UFS**

Ano	Tempo	Vazão		Docentes e funcionários	Notas
		Projetada	Discentes		
		(L/s)			
2010	0,00	11,334	18104	1481	Dados iniciais
2011	1,00	11,614	18551	1518	Projeto do sist. de esgotos com tratamento
2012	2,00	11,901	19009	1555	Previsão de início de operação do sistema
2013	3,00	12,194	19478	1593	
2014	4,00	12,495	19959	1633	
2015	5,00	12,804	20452	1673	
2016	6,00	13,120	20957	1714	
2017	7,00	13,444	21474	1757	
2018	8,00	13,776	22004	1800	
2019	9,00	14,116	22548	1845	
2020	10,00	14,464	23104	1890	
2021	11,00	14,821	23675	1937	
2022	12,00	15,187	24259	1985	
2023	13,00	15,562	24858	2034	
2024	14,00	15,947	25472	2084	
2025	15,00	16,340	26101	2135	
2026	16,00	16,744	26745	2188	

**Tabela 15** – Previsão de Vazões para ETE UFS

(continuação)

Ano	Tempo	Vazão		Docentes e funcionários	Notas
		Projetada (L/s)	Discentes		
2027	17,00	17,157	27405	2242	
2028	18,00	17,581	28082	2297	
2029	19,00	18,015	28775	2354	
2030	20,00	18,459	29485	2412	
2031	21,00	18,915	30213	2472	
2032	22,00	19,382	30959	2533	Previsão de saturação do sistema

Fonte: Silva (2012)

De acordo com o Manual de Operação (SILVA, 2012), a estação de tratamento foi projetada conforme descrito a seguir.

O Tratamento Preliminar é composto de gradeamento, caixa de areia e calha Parshall, como mostra a Figura 8.

**Figura 8** – Tratamento Preliminar

Fonte: Autor (2019)

As barras da grade possuem 6,35 mm na menor dimensão, que fica posicionada frontalmente ao escoamento, e 40 mm na maior dimensão paralela ao escoamento do esgoto, com abertura de 27,65 mm. A grade tem 17 barras. O gradeamento possui dispositivo de

remoção manual e tem inclinação de 60° em relação ao fundo do canal à jusante. O operador deve remover o material retido através de ancinho, quando a seção obstruída atingir 50% do total. O material removido deveria ser depositado em tambores ou caçambas possuindo orifícios no fundo para o escoamento do esgoto. A quantidade de material retido nas grades pode chegar a 0,04 litros por m<sup>3</sup> de esgoto (SILVA, 2012).

Foram projetados dois canais desarenadores paralelos, utilizando-se apenas um canal, enquanto que o outro sofre remoção de areia, requisito esse adotado em projeto. A areia retida deve ser encaminhada para aterro ou ser lavada para outras finalidades. A caixa de areia foi projetada para uma velocidade média dos esgotos em torno de 0,30 m/s. Esta velocidade é mantida aproximadamente constante apesar das variações de vazão, através da instalação de uma calha Parshall a jusante. Velocidades baixas, notadamente as inferiores a 0,15 m/s provocam depósito de matéria orgânica na caixa, indicado pelo aumento da relação SSV/SST do material retido e que provoca exalação de maus odores devido à decomposição. Velocidades superiores a 0,40 m/s provocam arraste de areia e redução da quantidade retida. Foi utilizada uma largura do canal de 0,50 m, dividido em dois canais com 0,25 m de largura cada. O comprimento dos dois canais é de 3,03 m (SILVA, 2012).

De acordo com o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), a limpeza da grade deve ser, no mínimo, diária, e a remoção da areia nas caixas deve ter frequência a cada um ou dois dias, dependendo se há muita areia ou pouca areia.

A calha Parshall foi localizada logo após a caixa de areia, com a finalidade de aferir as vazões na entrada da Estação de Tratamento de Esgotos. No projeto, foi adotado medidor Parshall com calha de garganta W=3” (7,60 cm), cuja vazão mínima é de 0,80 L/s e a máxima de 51,00 L/s (SILVA, 2012).

Segundo o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), o Quadro 2 indica os principais pontos, parâmetros e frequência de monitoramento do tratamento preliminar da estação.

**Quadro 2** – Pontos, parâmetros e frequência de monitoramento do tratamento preliminar

Parâmetro	Unidade	Pontos e frequência de monitoramento				
		Afluente	Gradeamento	Caixa de Areia	Calha Parshall	Efluente
Vazão	L/s	-	-	-	diária	-
Volume de sólidos	m <sup>3</sup> /dia	-	diária	-	-	-
Volume de areia	m <sup>3</sup> /dia	-	-	diária	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	-	diária
pH	-					diária
Sólidos sedimentáveis	mL/L	diária	-	-	-	diária

Fonte: Silva (2012)

Não há unidade específica para o tratamento primário na ETE da UFS. A remoção de sólidos suspensos e parte da matéria orgânica ocorre no reator UASB (Figura 9).

Segundo Silva (2012), o reator UASB é composto pela câmara de digestão, separador trifásico, zona de transição, zona de sedimentação e zona de acumulação de gás. A câmara de digestão é a parte inferior do digestor, onde se localiza o leito de lodo. O esgoto, ao chegar ao fundo do UASB, passa pela câmara de digestão no sentido ascendente, onde acontece o processo anaeróbio. O separador trifásico é composto por defletores, onde acontece a separação dos gases, sólidos sedimentáveis e líquido. A zona de transição está localizada entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação. Na zona de sedimentação, o esgoto chega aos vertedores de superfície, com uma velocidade ascensional que permita a sedimentação dos sólidos e flocos, os quais retornam através da abertura das paredes para a zona de transição e de digestão. A parte líquida é recolhida por calha vertedora. Na zona de acumulação de gás, este é retido e encaminhado por uma rede de coleta para o queimador.

A alimentação do UASB é feita pelo fundo através de tubos verticais de distribuição, como pode ser observado na Figura 9.

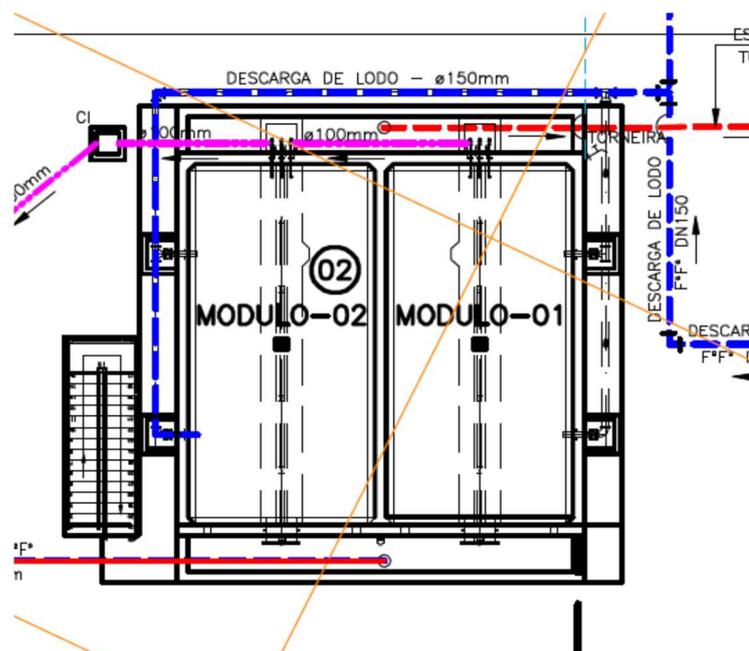
**Figura 9 – Vista superior do UASB**



Fonte: Autor (2019)

Foram construídos dois módulos para o UASB com 10,00 m de comprimento e 5,00 m de largura, 5,40 m de altura útil, perfazendo uma área total de 100 m<sup>2</sup> e um volume útil final de 540,00 m<sup>3</sup>. No projeto, foi considerado um TDH de 6 horas para o reator. Na Planta do Projeto Hidráulico da ETE, são mostrados os dois módulos, conforme Figura 10 (SILVA, 2012).

**Figura 10 – Planta Baixa dos Módulos do Reator**



Fonte: Recorte da Planta do Projeto Hidráulico – Área da ETE (Silva, 2012)

A produção de lodo pode ser estimada entre 0,15 a 0,20 kg SST/kg DQO afluente. O lodo no interior do reator apresenta um teor de sólidos entre 3 a 5%, tendendo a crescer ao longo do tempo se nenhum descarte for feito (SILVA, 2012).

Segundo o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), a verificação das condições ótimas para o descarte deve ser realizada através de coleta de amostras nos registros de amostragem, ou através da avaliação da atividade metanogênica do lodo (AME). O lodo retirado como excesso estará normalmente bem estabilizado, podendo ser enviado diretamente para desidratação, apresentando em geral boas características de secagem. A frequência de descarte deve ser determinada de acordo com as formas citadas, devendo-se observar que após a entrada em carga de um reator novo, passam-se alguns meses até que o descarte se faça necessário. As tubulações de retirada do lodo são de 150 mm. As tomadas de amostra de lodo no UASB foram colocadas a diferentes alturas do fundo do reator, situadas a 0,20 m, a 0,70 m, e a 1,20 m do fundo, indicando facilmente a concentração de lodo ao longo do reator.

A estimativa da eficiência de remoção de DQO ( $E_fDQO$ ) é de 63,68% e a estimativa da concentração de DQO no efluente do UASB ( $DQO_{ef}$ ) é de 217,80 mg/L. A produção de gás gerado no UASB foi estimada em torno de 5 a 20 L/hab.dia, sendo que o metano representa de 50% a 70%. Este gás terá com destino o queimador (SILVA, 2012).

De acordo com o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), o Quadro 3 mostra os principais pontos, parâmetros e frequência de monitoramento recomendados para o digestor anaeróbio.

**Quadro 3** – Pontos, parâmetros e frequência de monitoramento do UASB

Parâmetro	Unidade	Pontos e frequência de monitoramento				
		Afluente	Reator	Efluente	Biogás	Lodo
<b>Eficiência de tratamento</b>						
Sólidos sedimentares	mL/L	diária	-	diária	-	-
SST	mg/L	semanal	-	semanal	-	-
DQO total	mg/L	semanal	-	semanal	-	-
DBO total	mg/L	mensal	-	mensal	-	-
Produção de biogás	m <sup>3</sup> /dia	-	-	-	diária	-
<i>E. coli</i>	N/100mL	semanal	-	semanal	-	-
Ovos de helmintos	N/L	semanal	-	semanal	-	-
<b>Estabilidade operacional</b>						
Temperatura	°C	diária	diária	-	-	-
pH	-	diária	diária	-	-	-
Alcalinidade	mg/L	semanal	-	semanal	-	-
Ácidos graxos voláteis	mg/L	semanal	-	semanal	-	-
Composição do biogás	%CO <sub>2</sub>	-	-	-	mensal	-
<b>Quantidade e qualidade do lodo</b>						
Sólidos totais	mg/L	-	-	-	-	semanal
Sólidos voláteis totais	mg/L	-	-	-	-	semanal
Atividade metanogênica específica	gDQO/gSV x dia	-	-	-	-	mensal
Estabilidade do lodo	gDQO/gSV x dia	-	-	-	-	mensal
Índice volumétrico de lodo (diluído)	mL/g	-	-	-	-	mensal

Fonte: Silva (2012)

Segundo o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), após o tratamento no UASB, o esgoto é encaminhado para o pós-tratamento, que é feito pelo Valo de Oxidação. Esse processo se baseia na oxidação da matéria orgânica por bactérias aeróbias e facultativas, seguido de decantação. A introdução de oxigênio é feita por aeradores superficiais, conforme mostra a Figura 11. O processo acumula a função de decantação, suprimindo a necessidade de decantador secundário. Ainda, de acordo com Silva (2012), para adequar este sistema foram adotados dois tanques de aeração, que são alimentados por bateladas sequenciais, isto é, enquanto ocorre a descarga em um tanque, no outro ocorre as outras operações do processo, simultaneamente.

No entanto, na Memória de Cálculo do projeto da ETE, está relatado que foi utilizado apenas 01 (um) reator de lodos ativados, e o processo ocorre de forma contínua e não por bateladas sequenciais.

**Figura 11** – Reator de Lodo Ativado (Valo de Oxidação)



Fonte: Autor (2019)

Este reator tem tanque em forma orbital com parede divisória e externos circulares, com as seguintes dimensões: comprimento de 28,00 m, largura de 8,00 m (dividido em dois canais de 4,00 m), altura útil de 3,00 m, borda livre de 0,50 m, altura total de 3,30 m, e volume final do valo de oxidação de 630,84 m<sup>3</sup>. Foram utilizados 02 aeradores com potência de 10 Hp cada. O tempo de detenção de projeto é de 8,16 horas (SILVA, 2012).

Segundo o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), o Quadro 4 indica o esquema de operação automatizado das válvulas e aeradores do valo de oxidação.

**Quadro 4** – Esquema de operação automatizado do valo de oxidação

Ciclos de Operação	Níveis de Operação	VB1	VB2	AER1	AER2
01	N.A. Máximo do Reator	○	○	D	D
02	N.A. Mínimo do Reator	○	●	L	L
Após atingir o N.A. mínimo, retornar ao início do ciclo de operação					

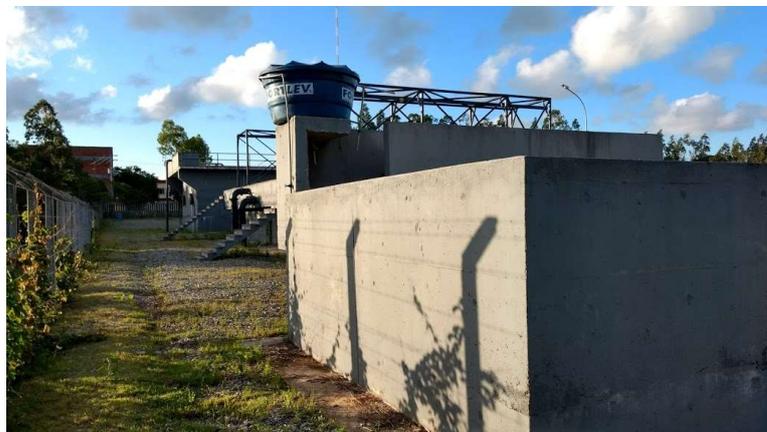
Legenda:

- Válvula Aberta                      D – Aerador Desligado  
 ● Válvula Fechada                    L – Aerador Ligado

Fonte: Silva (2012)

Ainda de acordo com o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), após o tratamento no Valo de Oxidação, o esgoto é encaminhado para o tratamento terciário, composto de Tanque de Contato, conforme Figura 12. Este processo será realizado através da cloração do efluente, com o objetivo de eliminar os patógenos. Foi dimensionado um tanque de contato dotado de chicanas para mistura de esgoto com hipoclorito de sódio de cloro ativo a 12% como forma de garantir tempo de contato de 30 minutos. A quantidade de cloro aplicada deverá deixar um residual de 0,5 mg/L após tempo de contato estabelecido. Foi utilizado um tanque de contato com dimensões úteis de  $L=9,00$  m,  $b=4,00$  m e  $h_{\text{útil}}=1,20$  m.

**Figura 12** – Tanque de Contato



Fonte: Autor (2019)

De acordo com Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), deverá ser observada a vazão, para adotar a quantidade de hipoclorito de sódio necessário para a desinfecção do esgoto, conforme mostra a Tabela 16.

**Tabela 16 – Dosagem de hipoclorito de sódio pela vazão**

<b>Vazão de Chegada</b>		<b>Quantidade de Hipoclorito</b>
<b>Q (L/s)</b>	<b>Q (m³/dia)</b>	<b>q (kg/h) cloro a 12%</b>
1,00	86,40	0,24
2,00	172,80	0,48
3,00	259,20	0,72
4,00	345,60	0,96
5,00	432,00	1,20
6,00	518,40	1,44
7,00	604,80	1,68
8,00	691,20	1,92
9,00	777,60	2,16
10,00	864,00	2,40
12,50	1080,00	3,00
15,00	1296,00	3,60
20,00	1728,00	4,80
21,16	1828,14	5,08
25,00	2160,00	6,00
30,00	2592,00	7,20
35,00	3024,00	8,40
40,00	3456,00	9,60

Fonte: Silva (2012)

Foi dimensionado um reservatório de acúmulo (Figura 13) para reúso dos efluentes tratados na irrigação das áreas verdes do *campus*, com as seguintes dimensões  $L = 14,00$  m,  $b = 10,00$  m e  $h_{\text{útil}} = 1,50$  m, totalizando assim um volume útil de  $210,00$  m<sup>3</sup>. Quando o reservatório de acúmulo extravasar, o efluente é direcionado para a rede de drenagem do *campus* (SILVA, 2012).

**Figura 13 – Reservatório de Acúmulo**



Fonte: Autor (2019)

Foram adotados 09 (nove) leitos de secagem, em alvenaria estrutural com 10,00 m (comprimento) x 4,00 m (largura) x 0,30 m (altura útil da lâmina d'água) cada, com todas as dimensões úteis, sendo parede única para dois leitos vizinhos, e fundo em tijolos maciços assentados sobre camada de areia, como se vê na Figura 14 (SILVA, 2012).

Os leitos de secagem foram projetados para receber o lodo do tratamento secundário, sendo sua drenagem encaminhada para a estação elevatória localizada a montante do UASB.

**Figura 14 – Leitos de Secagem**

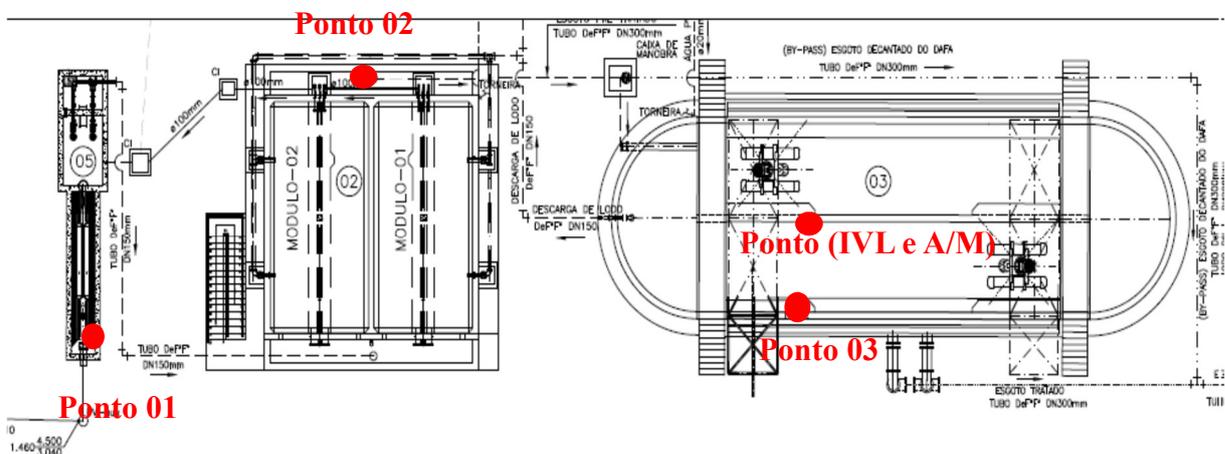


Fonte: Autor (2019)

### 4.3 Pontos de Coleta

As coletas foram realizadas em 03 (três) pontos da estação de tratamento para monitoramento físico-químico e um no valo de oxidação para verificação do IVL e relação A/M, conforme Figura 15. O primeiro ponto de coleta foi após a calha Parshall, o segundo ponto de coleta foi na canaleta de saída do reator UASB, e o terceiro ponto de coleta foi na canaleta de saída do valo de oxidação. O ponto no valo de oxidação foi junto à passarela localizada no meio da unidade.

Figura 15 – Pontos de Coleta de Amostras



Fonte: Recorte da Planta Preliminar do Sistema de Tratamento (SILVA, 2012)

### 4.4 Ensaios de Laboratório

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) do Departamento de Engenharia Civil da UFS, com exceção dos Sólidos Suspensos Voláteis que tiveram os ensaios executados pelo Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), como observa-se nos anexos A, B, C, D, E e F. Os parâmetros analisados foram: Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos, Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta, pH e IVL (Índice Volumétrico de Lodo). No momento da coleta, foi medida a temperatura de cada amostra. Também, a cada visita para coleta de amostras, foi medida a vazão afluente na calha Parshall e coletado o material retido na gradeamento do tratamento preliminar. Os resultados destes ensaios serviram para avaliar a eficiência da ETE da UFS *campus* São Cristóvão, quanto à remoção de sólidos e matéria orgânica, e se atendiam à Resolução CONAMA N° 430/2011.

## 4.5 Tratamento Estatístico dos Dados

Após as coletas de amostras, medições de parâmetros e análises de laboratório, obtiveram-se séries de dados que foram tratados estatisticamente.

Segundo Galvani (2005), na análise de variáveis quantitativas, quando existe uma grande diferença entre os valores da média e da mediana, deve-se utilizar a mediana como valor de referência.

De acordo com simulações feitas por Leotti, Coster e Riboldi (2012), os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia são os mais recomendados para amostras de tamanho maior que 10. Não são recomendados para amostras muito pequenas, em função da baixa performance dos testes de aderência à normalidade.

Segundo Lopes, Branco e Soares (2013), o teste de Shapiro-Wilk mostra-se eficiente para diversas distribuições e variados tamanhos de amostras.

Conforme Shapiro e Wilk (1965, *apud* Royston, 1992), o teste de normalidade de Shapiro-Wilk utiliza a estatística  $W$ , que é definida por:

$$W = (\sum_{i=1}^n a_i * y_i)^2 / \sum_{i=1}^n (y_i - y_{med})^2 \quad (20)$$

Em que:

$n$  = número de elementos da amostra;

$a$  = coeficientes tabelados;

$y_i$  = variável aleatória observada;

$y_{med}$  = média das variáveis aleatórias observadas.

Capela e Capela (2011) citam que o gráfico do tipo *box-plot* é capaz de avaliar a simetria dos dados, a dispersão desses dados e a existência ou não de *outliers*, que são pontos discrepantes aos demais. Ainda, segundo os autores, a existência de *outliers* pode significar dados incorretos ou que merecem atenção especial.

Foi utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todas as séries de dados encontradas e, em seguida, a análise estatística foi feita através do gráfico de caixa (*box-plot*).

## 4.6 Cálculo dos Parâmetros

### 4.6.1 Eficiência de Remoção

De posse dos dados de DQO total e de sólidos totais do afluente e efluente dos reatores (UASB e valo de oxidação), calculou-se a eficiência de remoção desses poluentes, de acordo com a equação 21.

$$E = [(Cafl - Cefl)/Cafl] \times 100 \quad (21)$$

Em que:

E = eficiência de remoção (%);

Cafl = concentração de DQO ou sólidos totais do afluente (mg/L);

Cefl = concentração de DQO ou sólidos totais do efluente (mg/L).

Destaca-se que para o cálculo da eficiência da estação de tratamento, foram utilizados os valores de concentração do afluente do UASB (esgoto bruto) e do efluente do valo de oxidação (efluente da ETE).

#### 4.6.2 Índice Volumétrico de Lodo no Valo de Oxidação

O IVL foi obtido pelo quociente entre o valor dos sólidos sedimentáveis em 30 minutos de decantação em cone *Imhoff* e o valor dos sólidos suspensos totais do esgoto no valo de oxidação.

#### 4.6.3 Relação Alimento/Micro-organismos no Valo de Oxidação

A relação A/M foi calculada através da fórmula  $A/M = (Q \times So)/(V \times Xv)$ , já citada na revisão bibliográfica. Sendo “Q” a vazão afluente, “So” a concentração de DBO obtida pela relação  $DBO = DQO/2$ , “V” o volume útil do valo de oxidação e “Xv” a concentração de sólidos em suspensão voláteis.

#### 4.7 Rotina Operacional e Conservação das Instalações Físicas

Foram feitas visitas à estação de tratamento, para identificar as dificuldades operacionais e de conservação das instalações físicas da ETE, observar a rotina da estação e fazer registros fotográficos.

#### 4.8 Questionários

Foram aplicados questionários aos operadores da ETE e ao setor da universidade que administra a estação de tratamento de esgotos.

De acordo com Amaro, Póvoa e Macedo (2005), na elaboração de um questionário existem as questões abertas e as questões fechadas. As questões de respostas abertas permitem que o interrogado responda com suas próprias palavras, enquanto que, nas questões de respostas fechadas, o interrogado apenas escolhe dentre as opções apresentadas, a que mais corresponde à sua opinião. Para se medir as opiniões do público alvo, deve-se utilizar escalas nas respostas

das questões, como: escala de Likert, VAS (*Visual Analogue Scales*), escala Numérica e escala Guttman. A escala de Likert apresenta cinco respostas possíveis, sendo que o interrogado deve escolher apenas uma, podendo ser: concorda totalmente, concorda, sem opinião, discorda, discorda totalmente. Então, se atribui uma cotação às alternativas, variando de modo consecutivo.

No questionário aplicado aos operadores, foram elaboradas questões fechadas com respostas na escala de Likert e questões abertas, com o objetivo de identificar como está sendo o monitoramento dos processos da estação de tratamento de esgotos e as condições de trabalho. No questionário aplicado à administração da ETE, foram elaboradas questões fechadas com respostas na escala de Likert e questões abertas, com o objetivo de identificar como está a disponibilização de recursos materiais e humanos para o funcionamento da estação de tratamento.

Os questionários estão apresentados nos Apêndices A e B.

A cada possibilidade de resposta do questionário foi atribuído uma pontuação sequencial e decrescente, sendo: concordo totalmente (2), concordo (1), sem opinião (0), discordo (-1) e discordo totalmente (-2). As questões de respostas fechadas foram agrupadas nas seguintes categorias: manual de operação, operadores, manutenção, monitoramento e operação propriamente dita. Então, somou-se os pontos de cada categoria com o objetivo de analisar a tendência do resultado.

#### **4.9 Análise da ETE**

Com o objetivo de identificar problemas em cada etapa do processo de tratamento da estação, foi analisado o projeto de cada unidade, comparando-o com o que preconiza a literatura, normas e legislação ambiental. Para essa análise, foram importantes as considerações feitas ao longo da realização deste trabalho, seja pela observação *in loco*, seja pelo desempenho da ETE.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais

Foi feito um levantamento dos tipos de tratamento de esgotos existentes nas universidades federais brasileiras. Este levantamento foi iniciado em maio de 2017, através de consulta a publicações acadêmicas e envio de mensagens às universidades. Obtiveram-se informações de 35 instituições, como mostrado na Tabela 17. Quanto à abrangência geográfica, obteve-se informações de 26 unidades federativas. Apenas não se obteve resposta da universidade federal foi o Paraná, perfazendo-se 96,30% dos estados brasileiros, conforme Quadro 5.

Percebe-se que existe predominância da ligação ao sistema de coleta de esgotos urbanos, mas que existe um considerado percentual de instituições utilizando fossa séptica com filtro anaeróbio como sistema de tratamento de efluentes. Outras universidades possuem estações de tratamento de esgotos que funcionam utilizando variados tipos de tratamento, como: lodo ativado com aeração prolongada, UASB com pós-tratamento, reator contactor biológico rotativo e lagoas de estabilização. No caso do *campus* São Cristóvão, da Universidade Federal de Sergipe existe uma ETE própria, composta de reator UASB com pós-tratamento em valo de oxidação. Percebe-se uma grande variedade de processos de tratamento de esgotos nas universidades federais brasileiras, havendo predominância de fossa séptica com filtro anaeróbio, que perfazem 25,71% do total levantado.

**Tabela 17** – Número de Universidades Federais com o mesmo tipo de tratamento de efluentes

<b>Tipo de Tratamento</b>	<b>Quantidade de Instituições</b>	<b>%</b>
Fossa Séptica	5	14,29
Fossa Séptica + Filtro Anaeróbico	9	25,71
Lodo Ativado com Aeração Prolongada	3	8,57
UASB + Pós-tratamento	4	11,43
Reator CBR (Contactor Biológico Rotativo)	1	2,86
Lagoas de Estabilização	3	8,57
Ligado à rede de coleta urbana	10	28,57
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor (2019)

**Quadro 5** – Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais Brasileiras

	<b>Região</b>	<b>Estado</b>	<b>Universidade</b>	<b>Tipo de Tratamento</b>
01	<b>Norte</b>	<b>Acre</b>	Fundação Universidade Federal do Acre (UFAC)	Fossa + Filtro Anaeróbio
02		<b>Amapá</b>	Fundação Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)	Fossa + Filtro + Sumidouro
03		<b>Amazonas</b>	Universidade Federal do Amazonas (UFAM)	Tanques sépticos, filtro anaeróbio, filtro plantado, câmaras de contato com adição de Hipoclorito de Cálcio e escadas de aeração
04		<b>Pará</b>	Universidade Federal do Pará (UFPA)	Fossa + Filtro Anaeróbio
05		<b>Rondônia</b>	Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR)	Fossas Sépticas
06		<b>Roraima</b>	Fundação Universidade Federal de Roraima (UFRR)	Fossa + Sumidouro
07		<b>Tocantins</b>	Universidade Federal do Tocantins (UFT)	Fossas Sépticas
08	<b>Nordeste</b>	<b>Alagoas</b>	Universidade Federal de Alagoas (UFAL)	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa
09		<b>Bahia</b>	Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Escola Politécnica	Reator CBR (Contactor Biológico Rotativo)
10		<b>Ceará</b>	Universidade Federal do Ceará (UFCE)– <i>Campus Pici</i>	Lodos Ativados com Aeração Prolongada
11		<b>Maranhão</b>	Universidade Federal do Maranhão (UFMA)	Fossa + Sumidouro; ou Fossa + Filtro Anaeróbio
12		<b>Paraíba</b>	Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - <i>Campus Pombal</i>	Fossas Sépticas
13			Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – <i>Campus I</i>	Fossa + Sumidouro e Ligado à rede de esgotos
14		<b>Pernambuco</b>	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	Fossa e Filtro Anaeróbio; Outra parte vai para à rede de coleta urbana
15		<b>Piauí</b>	Universidade Federal do Piauí (UFPI)	Ligado à rede de esgotos
16		<b>Rio Grande do Norte</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	Valo de oxidação, decantador secundário, leito de secagem e desinfecção com cloro gasoso
17		<b>Rio Grande do Norte</b>	Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA): os 03 <i>campi</i> .	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, Filtro Biológico Aerado Submerso com Decantador Secundário
18	<b>Sergipe</b>	Universidade Federal de Sergipe (UFS) – <i>Campus São Cristóvão</i>	UASB, valo de oxidação, leito de secagem de lodo, tanque de contato, unidade de desinfecção	

**Quadro 5** – Tipos de Tratamento de Esgotos nas Universidades Federais Brasileiras  
(continuação)

	<b>Região</b>	<b>Estado</b>	<b>Universidade</b>	<b>Tipo de Tratamento</b>
19	<b>Sudeste</b>	<b>Espírito Santo</b>	Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)	Fossa Séptica, Filtro Anaeróbico e Sumidouro
20		<b>Minas Gerais</b>	Universidade Federal de Lavras (UFLA)	Reator UASB e Filtro Biológicos Submersos
21			Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)	Ligado à rede de esgotos
22			Universidade Federal de Viçosa (UFV)	Ligado à rede de esgotos
23			Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	Ligado à rede de esgotos
24			<b>Rio de Janeiro</b>	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
25		Universidade Federal Fluminense (UFF)		Ligado à rede de esgotos
26		<b>São Paulo</b>	Universidade Federal do ABC (UFABC)	Não possui ETE no <i>campus</i> . Ligado à rede de esgotos
27			Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)	Tanque Séptico, Lagoa de Microalgas, UASB e 02 <i>Wetlands</i>
28		<b>Centro-Oeste</b>	<b>Distrito Federal</b>	Universidade de Brasília (UNB)
29	<b>Goiás</b>		Universidade Federal de Goiás (UFG)	Uma lagoa facultativa (110m x 54m), uma lagoa de maturação (180 m x 54m)
30	<b>Mato Grosso</b>		Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)	Tanque biodigestor, filtro anaeróbico e leito de secagem
31	<b>Mato Grosso do Sul</b>		Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)	Não possui ETE no <i>campus</i> . Ligado à rede de esgotos
32	<b>Sul</b>	<b>Rio Grande do Sul</b>	Universidade de Caxias do Sul (UCS)	Lagoa aerada, lagoa de sedimentação e Lagoas de maturação 1 e 2
33			Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – <i>Campus</i> Litoral Norte	Lodo ativado com aeração prolongada, decantador secundário e desinfecção
34			Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	Fossa Séptica, Filtro Biológico e Sumidouro
35		<b>Santa Catarina</b>	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	Não possui ETE no <i>campus</i> . Ligado à rede de esgotos

Fonte: Autor (2019)

O projeto da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão prevê o reuso do efluente tratado na irrigação das áreas verdes do *campus*, porém não está sendo adotado este procedimento. O destino final do efluente da ETE é a rede de drenagem pluvial do campus, que por sua vez lança suas águas em um curso d'água afluente do Rio Poxim.

De acordo com Bezerra (2004), no *campus* de Natal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, o tratamento dos efluentes é feito com a utilização do processo de valo de oxidação, por ter elevada eficiência no tratamento de esgotos domésticos na remoção de matéria orgânica. Segundo o autor, a eficiência da ETE da UFRN, no período observado, foi de 94,5% de remoção de DBO e de 78,5% de remoção de DQO.

## **5.2 Coletas de amostras e ensaios de laboratório**

As coletas foram planejadas para acontecer semanalmente, porém não aconteceu como planejado devido a vários fatores. Iniciaram-se as coletas de amostras e os ensaios de laboratório em outubro de 2017. No mês de novembro de 2017, não aconteceram coletas devido à falta de operador na ETE e à quebra de um dos aeradores que opera no valo de oxidação. No mês de dezembro de 2017, aconteceu apenas um dia de coleta devido à falta de operador e recesso natalino. No mês de janeiro de 2018, foram retomadas as coletas, mas, no fim de fevereiro e no mês de março de 2018, as coletas foram interrompidas devido a uma manutenção no reservatório de acúmulo da ETE.

A manutenção da ETE teve como objetivo corrigir uma trinca na parede do reservatório de acúmulo, conforme mostra a Figura 16. Para isso a DIVAI/UFS orientou uma mudança do fluxo esgoto na ETE, para manter baixo o nível do esgoto no valo de oxidação e assim não mandar o esgoto para o reservatório de acúmulo. O esgoto entrava normalmente pelo tratamento preliminar, passava pelo UASB e depois era enviado para o valo de oxidação. Após a entrada no valo de oxidação, o esgoto era retirado pela saída do lodo e encaminhado para os leitos de secagem de lodo, então o esgoto era encaminhado através da drenagem dos leitos de secagem para o poço de bombeamento e enviado novamente para o UASB.

No mês de abril de 2018, as coletas foram retomadas, e aconteceram até julho de 2018. No entanto, as coletas de amostras no valo de oxidação para o cálculo do IVL aconteceram de julho de 2018 até outubro de 2018. E as coletas para o cálculo da relação A/M do valo de oxidação aconteceram no mês de dezembro de 2018.

**Figura 16** – Trinca na Parede do Reservatório de Acúmulo



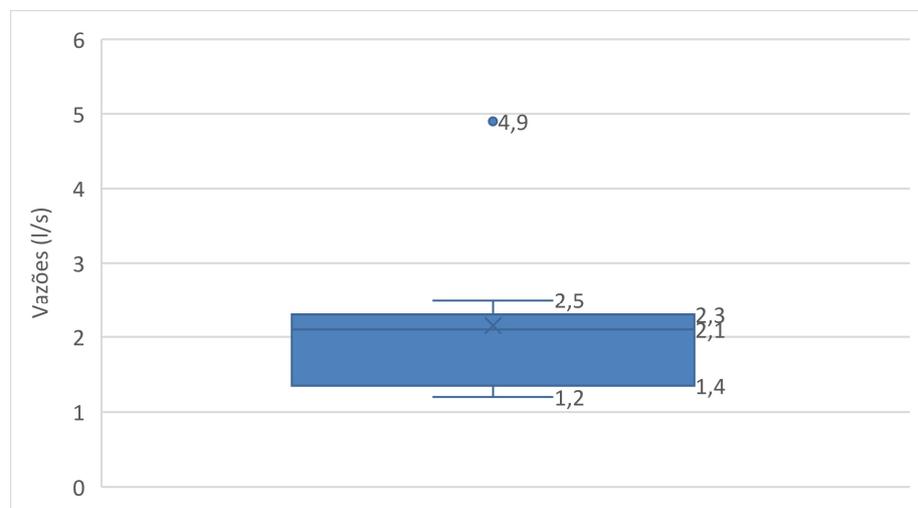
Fonte: Autor (2019)

## 5.2.1 Análise dos Resultados

### 5.2.1.1 Vazão Afluente

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, os dados de vazões afluentes observados durante a pesquisa não seguem uma distribuição normal, pois o valor  $W$  de teste de normalidade calculado (0,740) foi menor que o valor crítico tabelado (0,908), considerando um nível de significância de 5%. Utilizando-se o *box-plot* para os dados de vazões afluentes, observaram-se *outliers* com valor de 4,9 L/s, como mostra a Figura 17. Então estes pontos foram retirados para não influenciar na média.

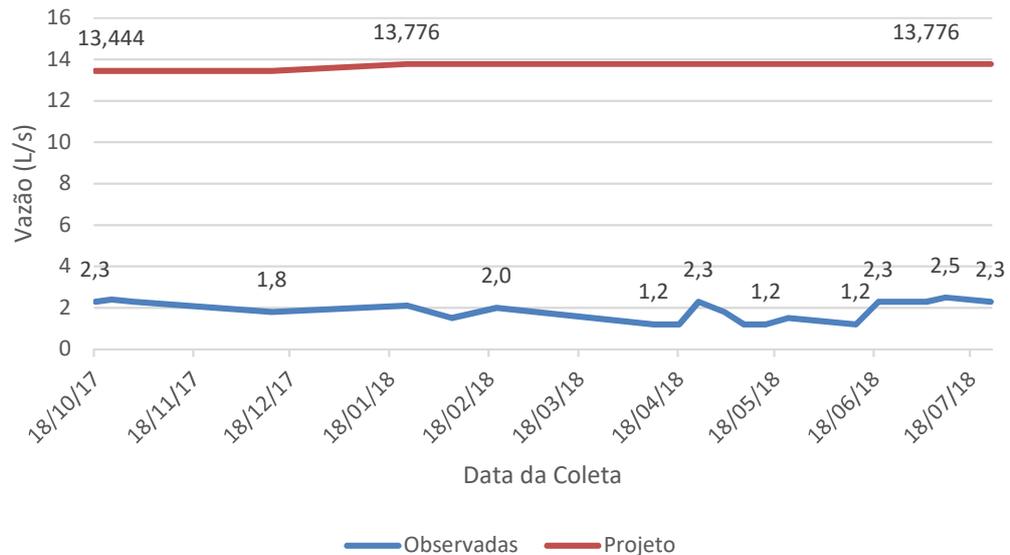
**Figura 17** – *Box-plot* Vazões Afluentes



Fonte: Autor (2019)

De acordo com as previsões de vazões afluente de projeto, no ano de 2017 e 2018, a vazão média seria de 13,44 e 13,78 L/s respectivamente. No entanto, as vazões encontradas no período deste trabalho foram muito menores, tendo como mediana 2,0 L/s (85,41% menor que a vazão de projeto), conforme apresentado na Figura 18.

**Figura 18 – Vazões Afluentes**



Fonte: Autor (2019)

Segundo Menezes e Mendonça (2017), as vazões afluentes da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão, encontradas durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2016, também foram bem menores, 79,34% menor que a de projeto. A vazão média encontrada pelas autoras foi 2,71 L/s, enquanto que a de projeto para o ano de 2016 era de 13,12 L/s.

As vazões de projeto muito maiores que as reais levaram a um superdimensionamento da ETE da UFS *campus* São Cristóvão.

Vazões muito inferiores à de projeto, acarretam tempo de detenção hidráulica (TDH) muito maiores que os projetados nas unidades de tratamento. No caso do UASB, o tempo de detenção hidráulica é calculado pela razão entre o volume e a vazão. O TDH de projeto do UASB da ETE da UFS foi de 6 horas, no entanto considerando as vazões encontradas, o TDH médio está em torno de 70,8 horas. O TDH muito alto implica em baixo incremento de carga orgânica ao sistema e piores condições de mistura, causando prejuízo ao crescimento da biomassa.

A norma NBR 7229 (ABNT, 1993) cita que no cálculo da contribuição de despejos deve ser considerado 80% do consumo local de água e que apenas na falta desse dado pode-se adotar os valores tabelados de contribuição *per capita* de esgotos. No entanto, foi adotado o valor tabelado de norma no projeto da ETE da UFS *campus* São Cristóvão.

Pode-se citar como causas dessa previsão de vazões majoradas, estimativa equivocada do crescimento populacional, consumo *per capita* adotado e a consideração de que toda população estaria presente na instituição no mesmo dia.

Devido à vazão afluyente ser muito menor que a de projeto, sugere-se que a estação opere com apenas um módulo do UASB, enquanto que se dá a reinicialização com nova inoculação do outro módulo. Após um dos módulos ser reinicializado adequadamente, pode-se criar um tratamento primário com decantação no primeiro módulo, deixando-se apenas o segundo módulo funcionando como reator UASB. A transferência do esgoto do decantador primário criado para o módulo do UASB pode acontecer utilizando uma bomba centrífuga, controlando assim a vazão afluyente do reator. Outra sugestão, em função da vazão afluyente ser inferior a de projeto, é dividir o tanque do valo de oxidação em duas partes, tornando a parte onde se localiza a saída um decantador secundário e a primeira parte funcionando apenas como tanque de aeração. Nesta configuração proposta, será necessário criar um sistema de recirculação do lodo do decantador secundário para o tanque de aeração, que pode ser feito utilizando uma bomba submersa para o lodo.

#### **5.2.1.2 Material Retido no Gradeamento**

Nos dias de coleta de amostras de esgotos, também foram colhidos os resíduos retidos na grade do tratamento preliminar. Observou-se grande presença de plásticos e vegetação, como mostra a Figura 19.

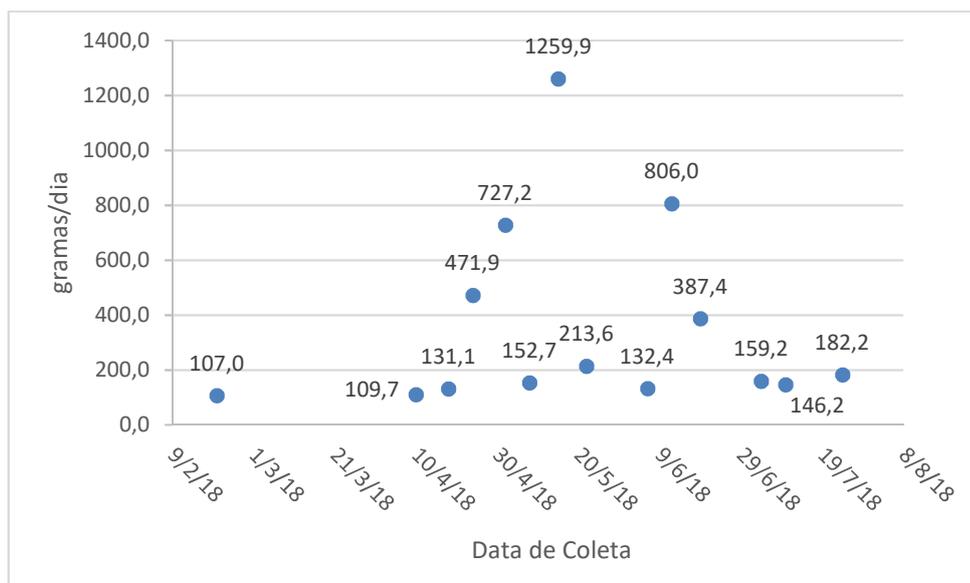
**Figura 19** – Material retido na grade do tratamento preliminar



Fonte: Autor (2019)

Os resíduos retidos na grade foram coletados nos meses de fevereiro a julho de 2018. Analisando os dados obtidos, percebe-se que a limpeza da grade não está sendo feita diariamente, de acordo com o recomendado no Manual de Operação da ETE, como mostra as variações na Figura 20.

**Figura 20** – Quantidade de material retido na grade

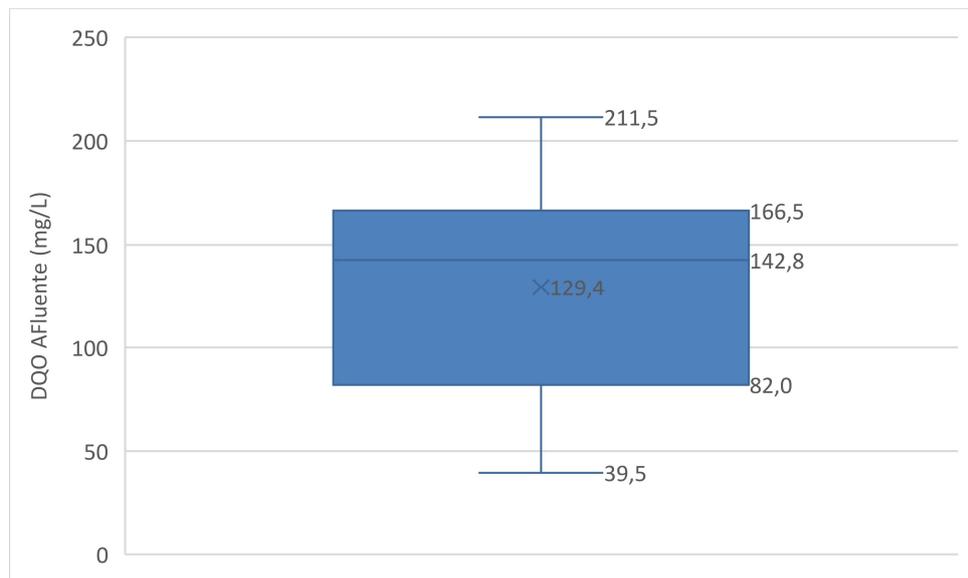


Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.3 DQO do Esgoto Bruto

Conforme o teste de Shapiro-Wilk, os dados de DQO do esgoto bruto seguem uma distribuição normal, pois o valor W de teste de normalidade calculado (0,954) foi maior que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot* e observou-se que não existem *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 21.

**Figura 21** – *Box-plot* DQO Afluente



Fonte: Autor (2019)

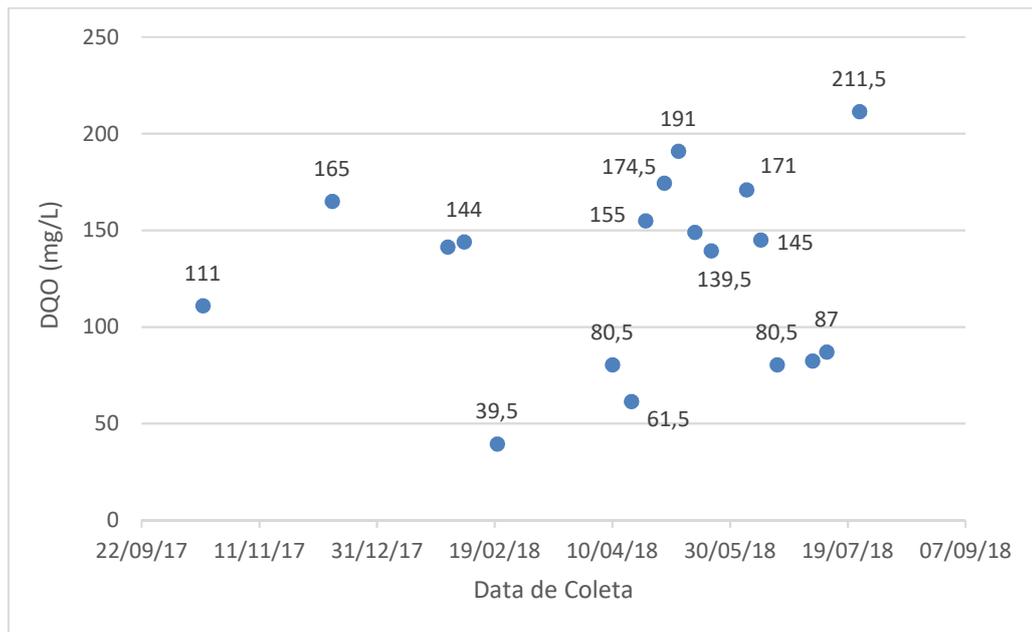
Segundo o Manual de Operação da ETE, a DQO do afluente para o dimensionamento da estação seria de 600 mg/L, porém os valores da DQO encontrados nas análises de laboratório, tiveram valor médio de 129 mg/L, conforme Figura 22. Os valores encontrados indicam que o esgoto afluente da ETE é bastante diluído, pois segundo Metcalf e Eddy (2015), um esgoto doméstico com DQO em torno de 339 mg/L pode ser classificado como um esgoto de concentração fraca. Esta diluição se dá provavelmente pela entrada de água pluvial e do lençol freático no sistema de coleta de esgotos do *campus*. A baixa concentração de matéria orgânica do afluente, que no projeto foi majorada em torno de 464%, influenciou diretamente no superdimensionamento do sistema de tratamento.

De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011), a determinação dos parâmetros básicos mínimos para projetar uma ETE, dentre os quais a DQO do afluente bruto, deve ser feita através de investigação local com validade reconhecida. Porém foi utilizado DQO de 600 mg/L para o

dimensionamento do tratamento secundário da estação, conforme apresentado na memória de cálculo do projeto.

O valor da DQO utilizado na memória de cálculo da estação de tratamento aproxima-se da faixa para esgoto de concentração média, como cita Metcalf e Eddy (2015), o que não é o caso do afluente da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão.

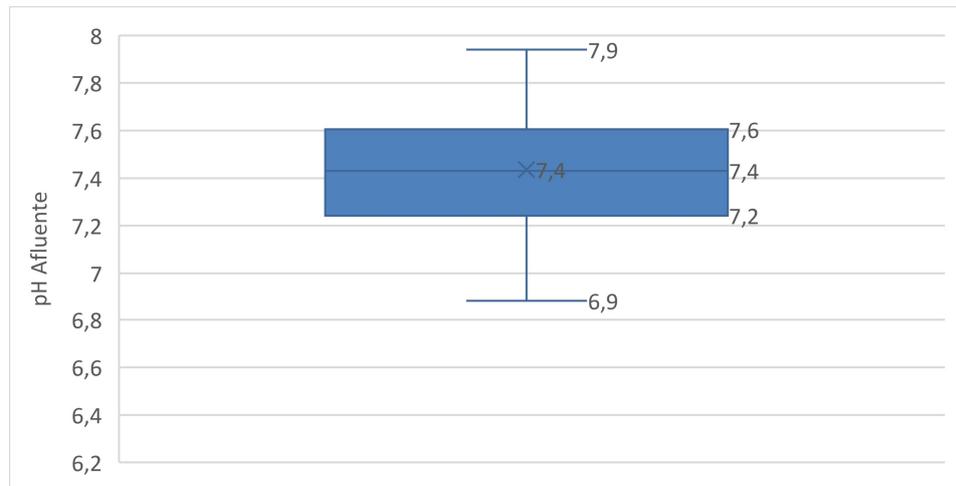
**Figura 22 – DQO Afluente**



Fonte: Autor (2019)

#### 5.2.1.4 pH do Esgoto Bruto

Segundo o teste de Shapiro-Wilk, os dados de pH do afluente da ETE seguem uma distribuição normal, pois o valor W de teste de normalidade calculado (0,993) foi maior que o valor crítico tabelado (0,887), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e observou-se que não existem *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 23.

**Figura 23 – Box-plot pH Afluente**

Fonte: Autor (2019)

Percebe-se que o pH do esgoto bruto está próximo ao neutro, entre 6,88 e 7,94, conforme mostra a Tabela 18.

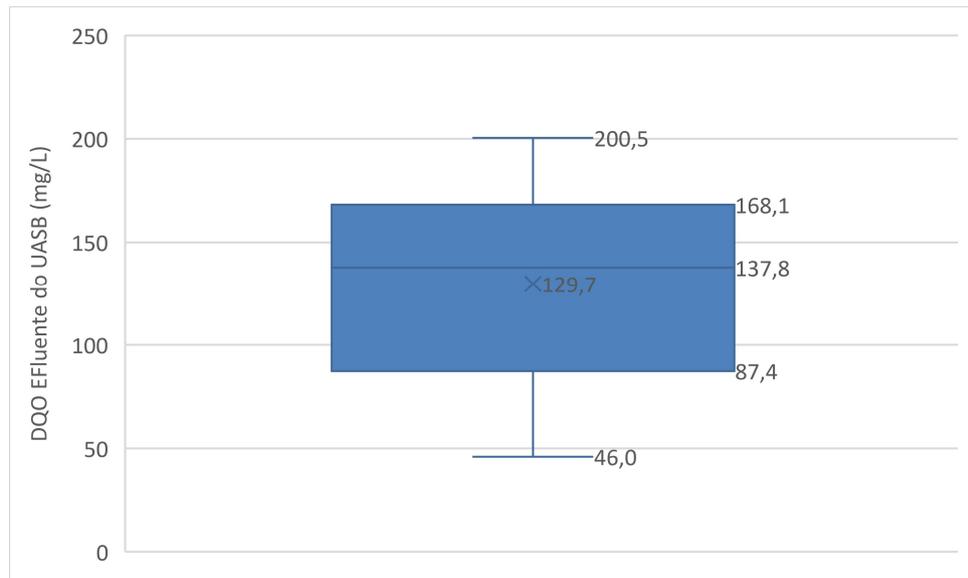
**Tabela 18 – pH do afluente da ETE**

	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18
pH	7,25 a 7,49	-	7,41	7,12 a 7,94	6,88 a 7,77	-	7,24 a 7,59	7,19 a 7,71	7,05 a 7,20	6,93 a 7,23

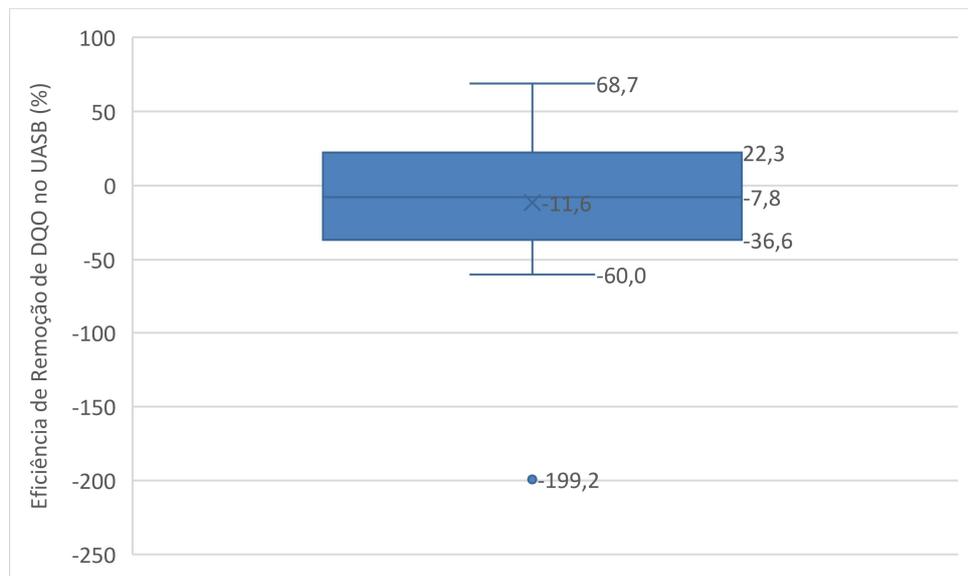
Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.5 Remoção de DQO no UASB

Conforme o teste de Shapiro-Wilk, os dados de DQO efluente do UASB seguem uma distribuição normal, pois o valor W de teste de normalidade calculado (0,943) foi maior que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e não foi observada a existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 24. Porém os dados de remoção de DQO do UASB não seguem uma distribuição normal, pois o valor W de teste de normalidade calculado (0,834) foi menor que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e observou-se a existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 25. Então o valor encontrado fora dos limites foi retirado.

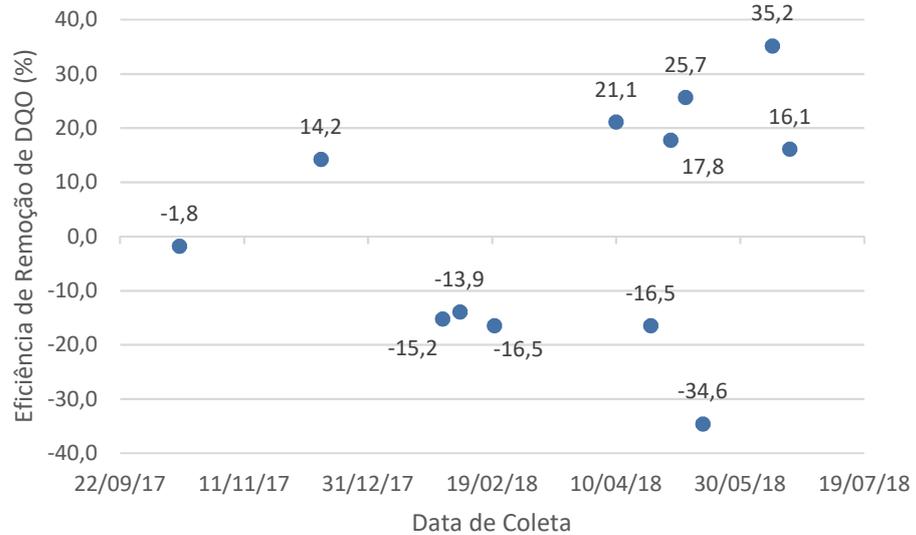
**Figura 24** – *Box-plot* DQO Efluente do UASB

Fonte: Autor (2019)

**Figura 25** – *Box-plot* Eficiência de Remoção de DQO no UASB

Fonte: Autor (2019)

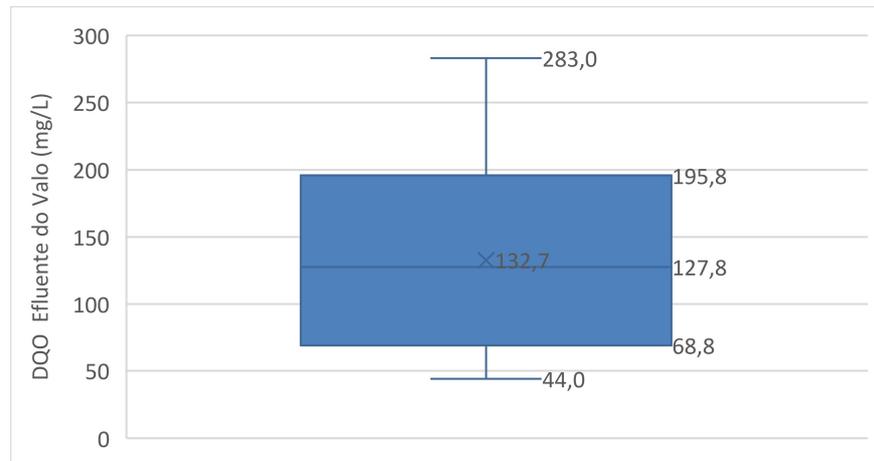
De acordo com a literatura, a eficiência de remoção de DQO em um reator UASB situa-se em torno de 65%, enquanto que a estimativa de eficiência de remoção de DQO do projeto foi de 63,68%. No entanto, os resultados dos ensaios de laboratório mostraram que o UASB da ETE UFS teve eficiência média de 2,6%, com mediana de -1,80% e máxima de 35,2%. Os valores encontrados tiveram oscilações, chegando a ser negativa em alguns momentos, como apresentado Figura 26.

**Figura 26 – Eficiência de Remoção de DQO no UASB**

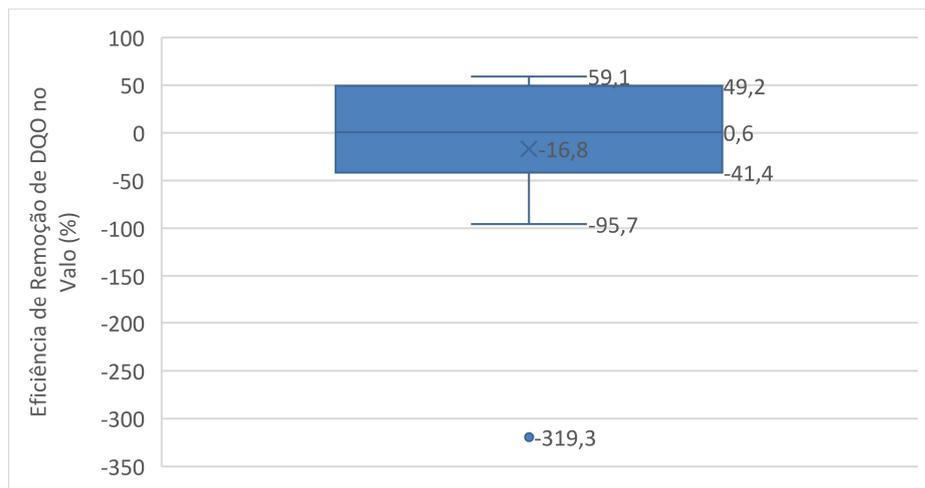
Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.6 Remoção de DQO no Valo de Oxidação

Conforme o teste de Shapiro-Wilk, os dados de DQO efluente do Valo de Oxidação seguem uma distribuição normal, pois o valor  $W$  de teste de normalidade calculado (0,931) foi maior que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e não foi observada a existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na figura 27. No entanto, os dados de eficiência de remoção de DQO do Valo de Oxidação não seguem uma distribuição normal, pois o valor  $W$  de teste calculado (0,741) foi menor que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e foi observada a existência de *outliers* nesta série de dados, como pode ser observado na Figura 28. Então o valor discrepante foi retirado da série.

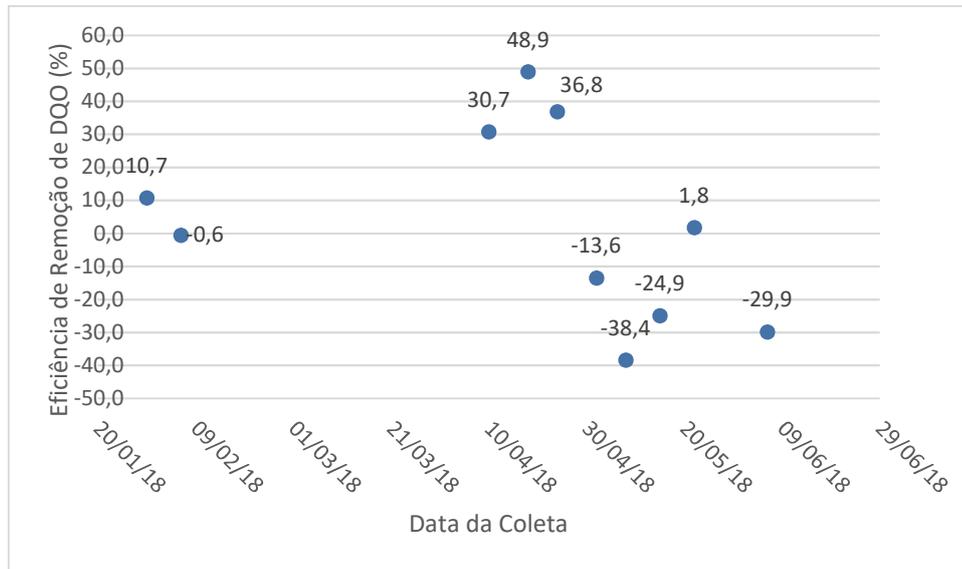
**Figura 27** – *Box-plot* DQO Efluente do Valo de Oxidação

Fonte: Autor (2019)

**Figura 28** – *Box-plot* Eficiência de Remoção de DQO no Valo de Oxidação

Fonte: Autor (2019)

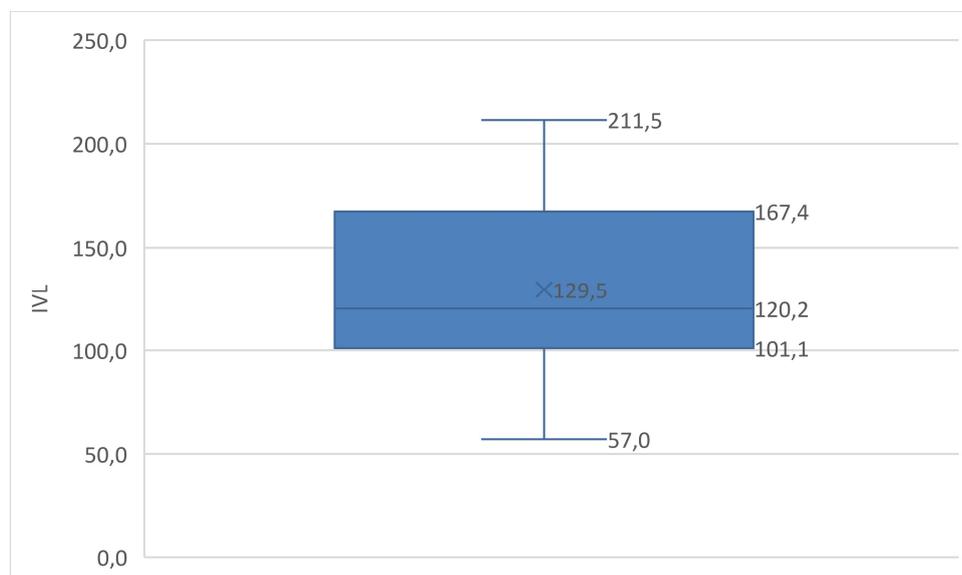
Segundo o projeto, a eficiência de remoção de DQO no valo de oxidação é de 95%, porém os resultados obtidos pelo autor apresentaram valores inferiores e com muita variação. A eficiência média de remoção de DQO no Valo de Oxidação foi 2,2%, e a eficiência máxima encontrada foi de 48,9%, conforme mostrado na Figura 29.

**Figura 29** – Eficiência de Remoção de DQO no Valo

Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.7 Índice Volumétrico de Lodo no Valo de Oxidação

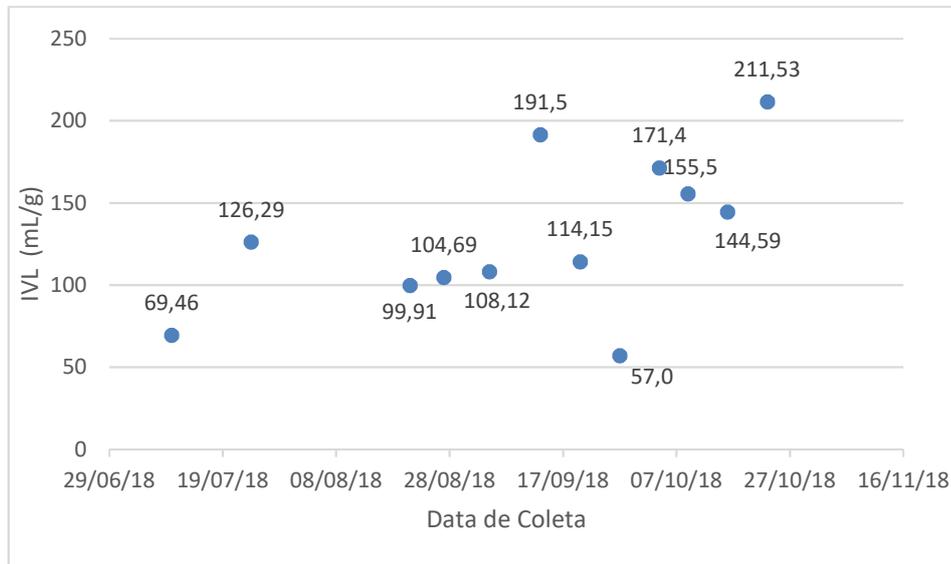
De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, os dados de IVL do Valo de Oxidação seguem uma distribuição normal, pois o valor  $W$  de teste de normalidade calculado (0,973) foi maior que o valor crítico tabelado (0,859), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e não foi observada a existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 30.

**Figura 30** – *Box-plot* IVL do Valo de Oxidação

Fonte: Autor (2019)

Segundo Amorim *et al.* (2014), o lodo do valo de oxidação da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão tem sedimentabilidade média, pois se apresenta entre 100 e 200 mL/g, como pode-se observar na Figura 31.

**Figura 31 – IVL do Valo de Oxidação**



Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.8 Relação Alimento/Micro-organismos no Valo de Oxidação

De acordo com Von Sperling (1997), para o sistema de lodos ativados com aeração prolongada, que é o caso do valo de oxidação, a relação A/M aparece entre 0,08 e 0,15 kg DBO/kgSSV.dia. No entanto, o valo de oxidação da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão apresenta valores maiores que a faixa citada na revisão bibliográfica, indicando que o equipamento não está funcionando adequadamente de acordo com este parâmetro de controle e que a quantidade de micro-organismos está insuficiente para a matéria orgânica a ser degradada, como pode-se observar na Tabela 19.

**Tabela 19 – Relação A/M no Valo de Oxidação**

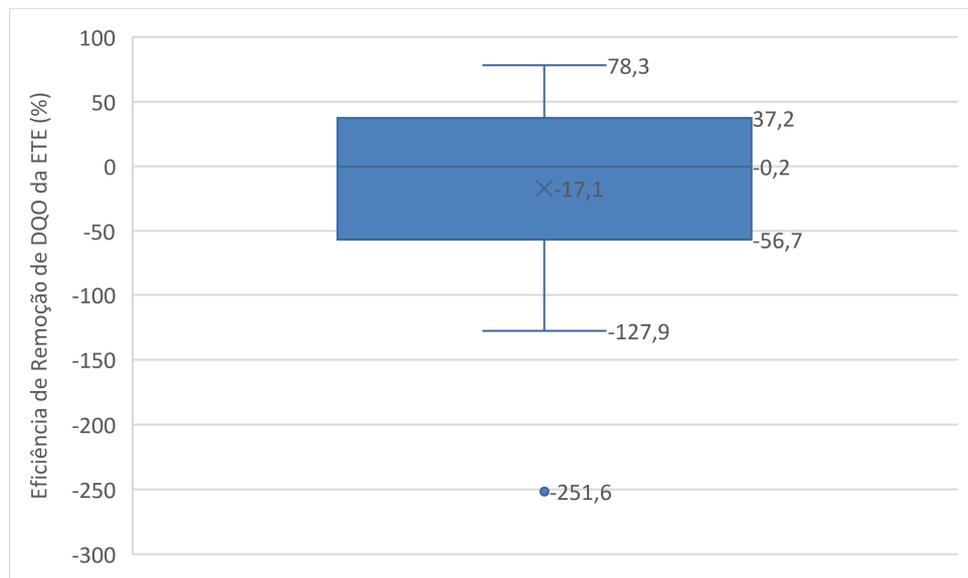
A/M	06/12/2018	13/12/2018	20/12/2018
kg DBO/kgSSV.dia	1,23	0,75	0,33

Fonte: Autor (2019)

### 5.2.1.9 Remoção de DQO pela ETE

Conforme o teste de Shapiro-Wilk, os dados de Eficiência de Remoção de DQO da ETE não seguem uma distribuição normal, pois o valor W de teste de normalidade calculado (0,868) foi menor que o valor crítico tabelado (0,897), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e foi observada a existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 32. Então o dado de *outliers* foi retirado.

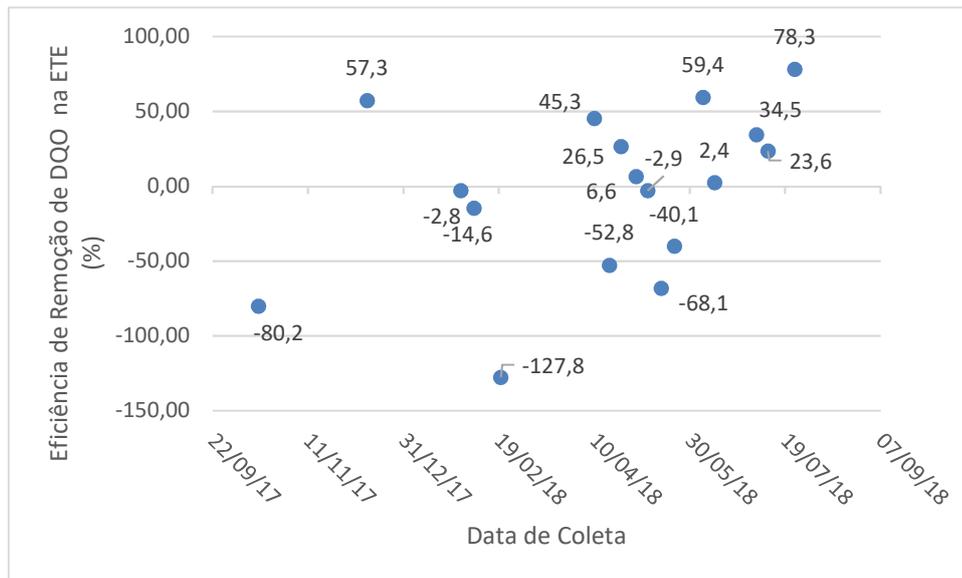
**Figura 32** – *Box-plot* Eficiência de Remoção de DQO na ETE



Fonte: Autor (2019)

Percebe-se que não está havendo uma adequada eficiência de remoção de DQO pela ETE, pois a mediana da eficiência de remoção de DQO na ETE de 2,4%, sendo positiva em apenas alguns momentos, como mostra a Figura 33.

A ineficiência de remoção de DQO pela ETE acontece por vários motivos, entre os quais pode-se citar: vazões e cargas orgânicas afluentes superestimadas, causando um superdimensionamento das unidades de tratamento; falta de procedimento operacional adequado; e inexistência de rotina de coleta de amostras com análise dos parâmetros, por parte da operação da ETE, para um adequado monitoramento do sistema.

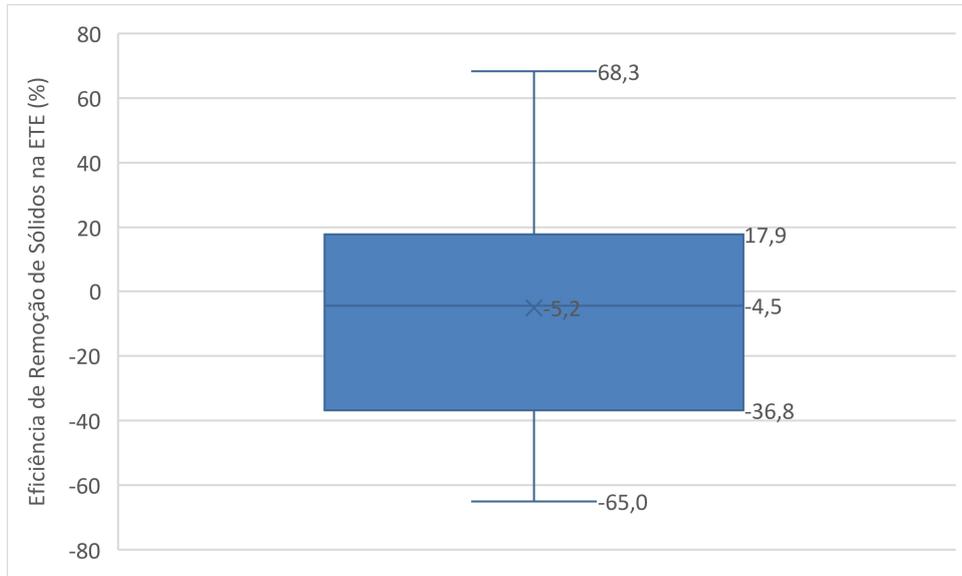
**Figura 33 – Eficiência de Remoção de DQO na ETE**

Fonte: Autor (2019)

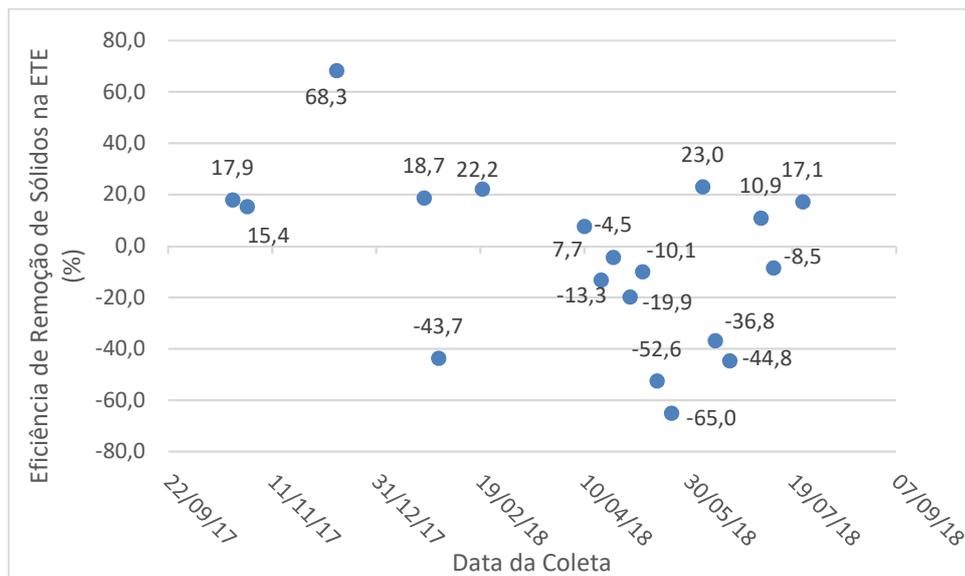
### 5.2.1.10 Remoção de Sólidos Totais pela ETE

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, os dados de eficiência de remoção de sólidos da ETE seguem uma distribuição normal, pois o valor  $W$  de teste de normalidade calculado (0,948) foi maior que o valor crítico tabelado (0,901), considerando um nível de significância de 5%. Foi utilizado o gráfico *box-plot*, e não foi observada existência de *outliers* nesta série de dados, conforme pode ser visto na Figura 34.

Observa-se que a remoção de sólidos totais ocorreu de forma irregular, tendo eficiência de remoção média de -5,16%, com períodos em que aconteceu um aumento do teor de sólidos na passagem do esgoto pela ETE, como mostra a Figura 35. Isso pode acontecer devido ao aumento da concentração de matéria orgânica nas etapas do processo de tratamento da ETE e à ocorrência de limo nas calhas de saída dos equipamentos do processo. Essa matéria orgânica é carregada pelo afluente da estação causando o aumento do teor de sólidos. Caso existisse um decantador secundário após o valo, estando o valo de oxidação funcionando apenas como tanque de aeração, esse problema seria sanado.

**Figura 34 – Box-plot** Eficiência de Remoção de Sólidos na ETE

Fonte: Autor (2019)

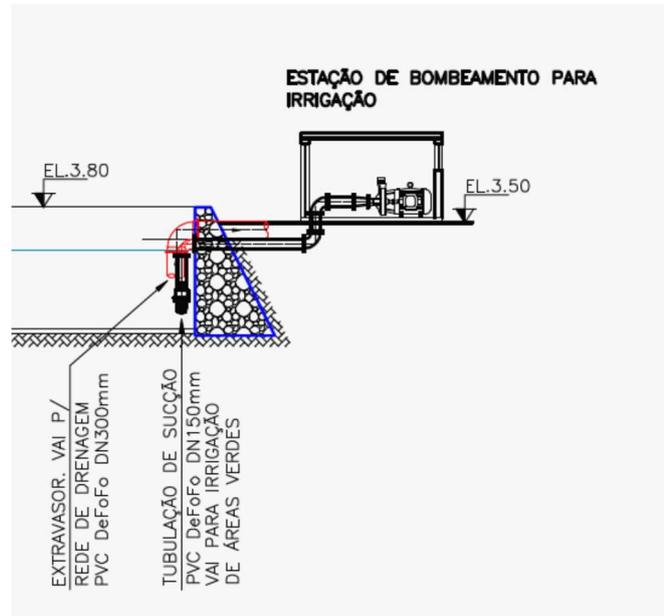
**Figura 35 – Remoção de Sólidos na ETE**

Fonte: Autor (2019)

### 5.2.2 Análise de Atendimento à Legislação Ambiental

De acordo com o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), o efluente da estação de tratamento seria usado para a irrigação de áreas verdes do *campus*, porém está sendo totalmente direcionado para a drenagem pluvial do *campus* que envia suas águas para um curso d'água próximo, como pode-se ver na Figura 36. Portanto, o efluente deveria atender aos parâmetros da Resolução Conama nº 430, citados na Tabela 20.

**Figura 36** – Detalhe do Extravasor para a Rede de Drenagem



Fonte: Recorte da Planta do Projeto Hidráulico – Área da ETE (Silva, 2012)

**Tabela 20** – Análise de Atendimento à Legislação Ambiental - Efluente da ETE/UFS

Parâmetro	Padrão (Conama 430)	Efluente da ETE*
pH	5 a 9	6,94 a 8,02
Temperatura (°C)	< 40	26,5 a 30
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	≤ 1,0	2,1**
DBO (mg/L)	≤ 120 mg/L ou eficiência ≥ 60%	61,95***

\* Resultados de outubro/2017 a julho/2018.

\*\*Valor médio de Sólidos Sedimentáveis

\*\*\* Valor médio de DQO convertido em DBO

Fonte: Autor (2019)

O valor médio da DQO obtida durante este período de monitoramento (123,9 mg/L) foi convertido para DBO, utilizando a razão de 0,5, de acordo com Mara (2013).

Os resultados dos ensaios de laboratório, mostrados na Tabela 20, indicam que a quantidade de sólidos sedimentáveis no efluente da ETE/UFS está acima do permitido pela Resolução Conama nº 430. Os demais parâmetros estão dentro dos limites desta legislação.

Apesar do baixo desempenho da ETE em remover matéria orgânica, a DBO do efluente atendeu ao padrão do Conama principalmente em virtude do baixo valor de matéria orgânica no afluente da estação.

Um dos pontos verificados durante as coletas de amostras na ETE é a grande presença de limo nas calhas do UASB, valo de oxidação e tanque de contato. Essas calhas devem ser limpas constantemente para evitar o aporte de sólidos e matéria orgânica ao afluente da estação de tratamento, reduzindo a possibilidade de desobediência aos padrões da Resolução Conama N° 430.

### **5.2.3 Eficiência da ETE**

Como visto anteriormente, a estação de tratamento de esgotos da UFS - *campus* São Cristóvão teve as vazões e cargas orgânicas afluentes superestimadas, causando problemas no processo de tratamento, levando às unidades da ETE a funcionar em desacordo com o projetado.

O processo da estação em desajuste leva à ineficiência do tratamento dos esgotos da universidade e conseqüentemente o descarte destes no meio ambiente.

Outros fatores também contribuem para a ineficiência da estação como, por exemplo: a falta de monitoramento dos parâmetros essenciais para o diagnóstico das etapas do tratamento, a falta de manutenção preventiva dos equipamentos eletromecânicos, a falta de um manual de operação detalhado e a inexistência de um plano de qualificação dos gerentes e operadores da ETE.

A eficiência média de remoção de DQO na ETE neste estudo foi de 2,4 % e a eficiência média de remoção de sólidos totais foi de -5,16 %. Valores muito abaixo dos citados na literatura.

Um resumo dos resultados encontra-se listado na Tabela 21.

**Tabela 21** – Resumo dos valores médios encontrados

<b>Parâmetros</b>	<b>Esgoto Bruto</b>	<b>UASB</b>	<b>Valo de Oxidação</b>	<b>Efluente da ETE</b>
Vazão (L/s)	2,0	-	-	-
DQO (mg/L)	129	-	-	123,9
pH	6,88 a 7,94	-	-	6,94 a 8,02
Eficiência de Remoção de DQO (%)	-	2,6	2,2	2,4
IVL (mL/g)	-	-	129,51	-
A/M (kg DBO/kgSSV.dia)	-	-	0,77	-
Eficiência de Remoção de Sólidos Totais (%)	-	-	-	-5,16
Temperatura (°C)	-	-	-	26,5 a 30
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	-	-	-	2,1

Fonte: Autor (2019)

### 5.3 Análise do Projeto da ETE

As vazões afluentes da estação foram baseadas em uma estimativa populacional equivocada e no fato de que toda a população estaria presente na instituição no mesmo dia. Essa previsão levou a vazões superestimadas, como visto anteriormente.

No tratamento preliminar, a grade não foi projetada com um *by-pass*, como orienta Azevedo Netto *et al.* (1977), para possibilitar a manutenção sem haver descontinuidade do processo. Junto ao tratamento preliminar deveria haver uma área pavimentada com mureta de contenção no perímetro e ralo de drenagem, para que as águas escoadas dos recipientes receptores dos resíduos sólidos e areias fossem retornadas à caixa de areia. Em função das vazões afluentes observadas serem muito menores que as de projeto, as unidades do tratamento preliminar estão superdimensionadas e com funcionamento comprometido, como por exemplo a caixa de areia que está com velocidade do fluido abaixo do previsto, já que a velocidade é diretamente proporcional à vazão. Segundo Mendonça (2000), velocidades do fluido abaixo de 0,15 m/s causam maior sedimentação da matéria orgânica na caixa de areia, com a exalação de odores.

Ainda com relação ao tratamento preliminar, a memória de cálculo de projeto da ETE mostra que a grade teria 17 barras, porém a grade instalada atualmente tem 11 barras contando com as duas laterais, como se apresenta na Figura 37. De acordo com Menezes e Mendonça

(2017), a quantidade observada na época foi 5 barras, então as autoras recomendaram o aumento da quantidade desses elementos, o que foi atendido pela administração da ETE. A instalação da grade em desacordo com o projeto demonstra ineficiência da fiscalização no momento da construção da ETE.

**Figura 37 – Gradeamento**

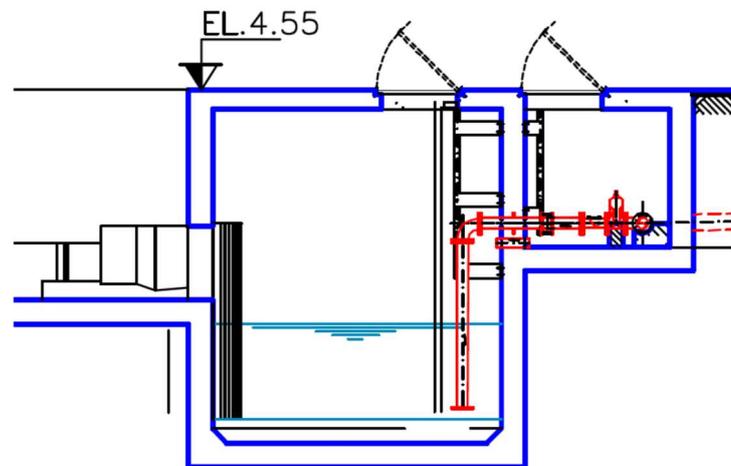


Fonte: Autor (2019)

De acordo com a memória de cálculo de projeto, a estação elevatória que recalca o esgoto para o UASB foi calculada para uma vazão média de 21,16 L/s e mínima de 11,47 L/s, portanto as bombas estão trabalhando com vazões muito abaixo das que foram fabricadas.

Outro ponto observado é que foi construído um fosso com duas bombas submersas de 5 CV, de acordo com a memória de cálculo das estações elevatórias, porém o projeto mostra a estação elevatória com bombas centrífugas, conforme a Figura 38.

**Figura 38** – Estação Elevatória



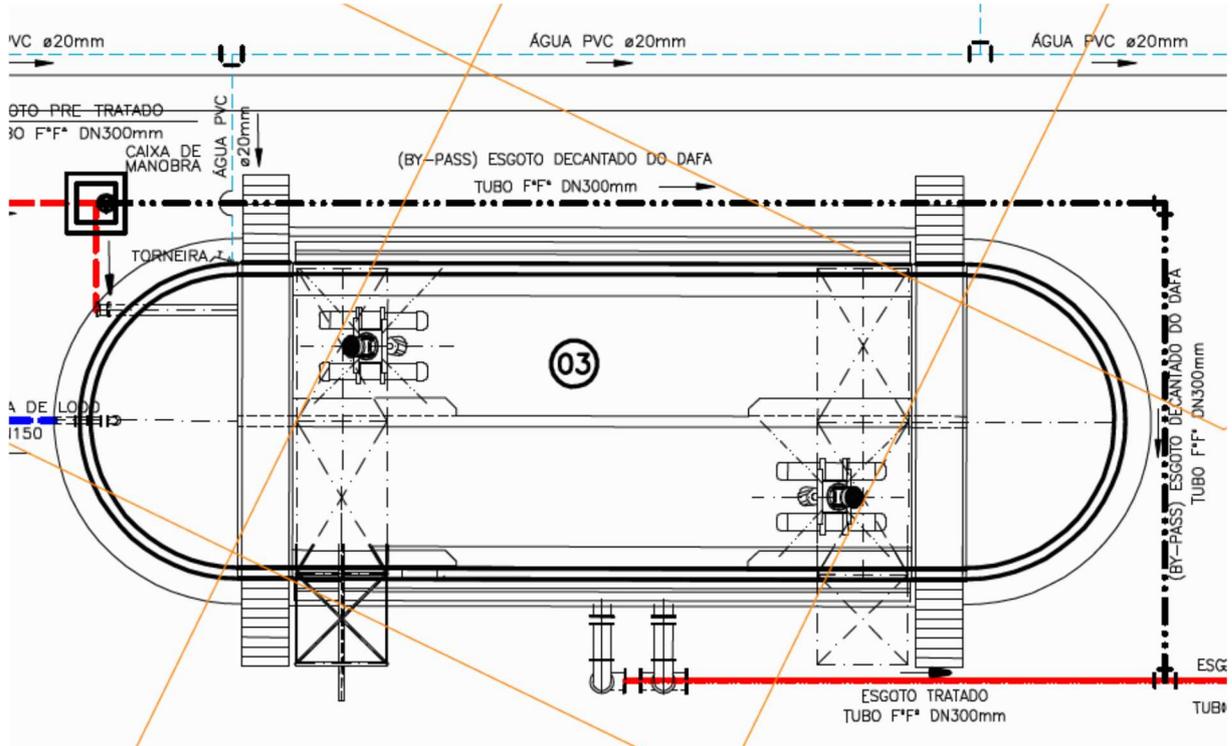
Fonte: Recorte da Planta do Projeto Hidráulico – Área da ETE (Silva, 2012)

Conforme Silva (2012), o reator UASB foi dimensionado para uma vazão média de 21,159 L/s e DQO de 600 mg/L. Esses valores são muito superiores aos encontrados neste trabalho, levando a um superdimensionamento dos módulos. A vazão prevista pelo projeto para 2018 foi de 13,776 L/s, que é 6,88 vezes maior que a observada. Dividindo-se a vazão utilizada no projeto por essa constante, tem-se 3,072 L/s, e aplicando esse valor ao cálculo do volume tem-se 66,355 m<sup>3</sup> para o UASB, que é 8,13 vezes menor que o reator construído.

No cálculo do Valo de Oxidação, também se utilizaram as vazões de projeto e carga orgânica citadas anteriormente, ocasionando também um superdimensionamento desta unidade de tratamento. Diferentemente do que consta no texto do Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012), no Projeto Hidráulico da ETE, verifica-se que no pós-tratamento foi construído apenas um tanque de aeração, concordando com a memória de cálculo do mesmo manual, conforme a Figura 39.

É necessário que haja um processo automatizado de operação das válvulas e aeradores do valo de oxidação para que haja um funcionamento adequado das etapas desta unidade.

**Figura 39** – Planta Baixa do Reator de Lodo Ativado (Valo de Oxidação)



Fonte: Recorte da Planta do Projeto Hidráulico – Área da ETE (Silva, 2012)

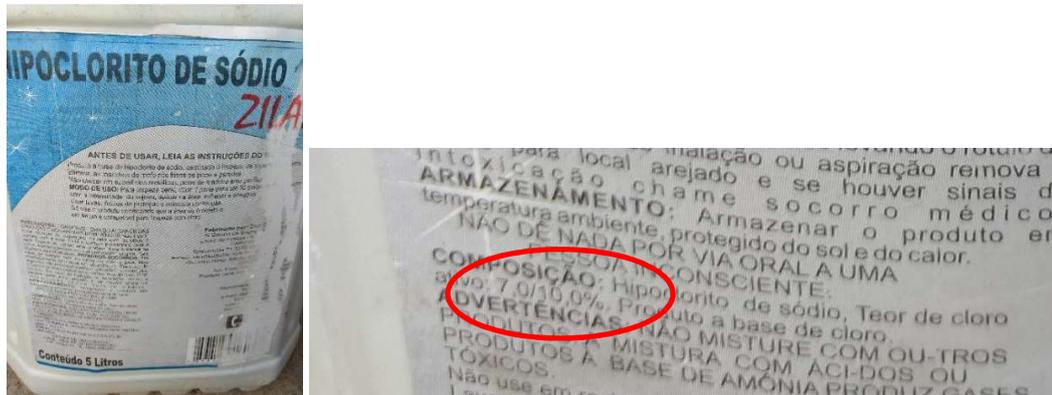
#### 5.4 Monitoramento da Rotina da ETE

Atualmente, a ETE da UFS – *campus* São Cristóvão é operada por 04 (quatro) servidores efetivos da universidade. Os operadores cumprem juntos os turnos matutino e vespertino do *campus*. No início desta atividade de pesquisa, havia dois operadores na estação, sendo que um estava de licença médica. No mês de novembro de 2017, a estação ficou sem operador, pois os dois entraram de licença médica.

Na ETE, não existe laboratório para a análise dos parâmetros necessários ao monitoramento da eficiência do processo. Também não se tem registro do envio de amostras a algum laboratório para a execução de qualquer análise.

Durante as visitas à ETE foi observado que se usava hipoclorito de sódio com uma porcentagem de cloro ativo de 7 a 10%, inferior ao recomendado pelo Manual de Operação, e sem nenhum controle de dosagem, como mostra a Figura 40.

**Figura 40 – Hipoclorito de Sódio**



Fonte: Autor (2019)

#### 5.4.1 Resultado dos Questionários Aplicados aos Operadores da ETE

O questionário foi aplicado aos três operadores que estavam lotados na ETE na época.

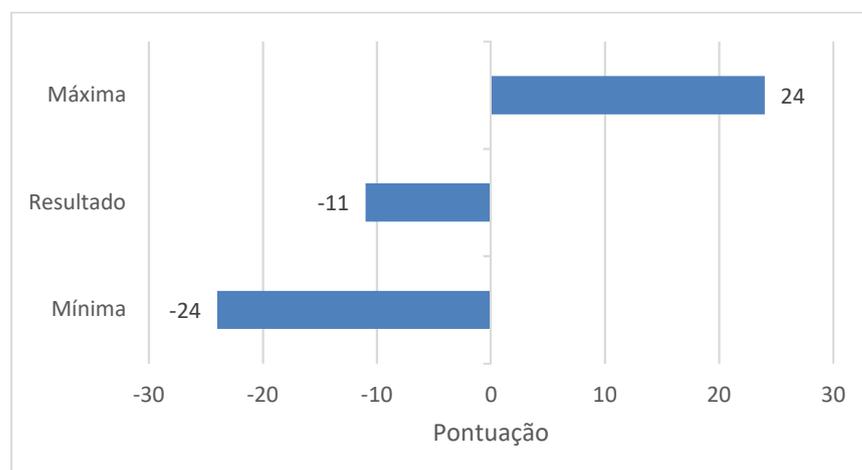
As questões fechadas foram divididas em cinco categorias para facilitar a análise do objeto de estudo: manual de operação, operadores, manutenção, monitoramento e operação propriamente dita.

##### 5.4.1.1 Manual de Operação

Estas questões procuraram descobrir se o manual existe, se é um documento acessível a todos os operadores, e se houve treinamento para a operação da ETE com base no manual.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 24 e uma pontuação mínima de -24. Obteve-se uma pontuação tendendo ao mínimo, mostrando que é necessário melhorar bastante neste quesito, como podemos ver na Figura 41.

**Figura 41 – Manual de Operação (pelos operadores)**



Fonte: Autor (2019)

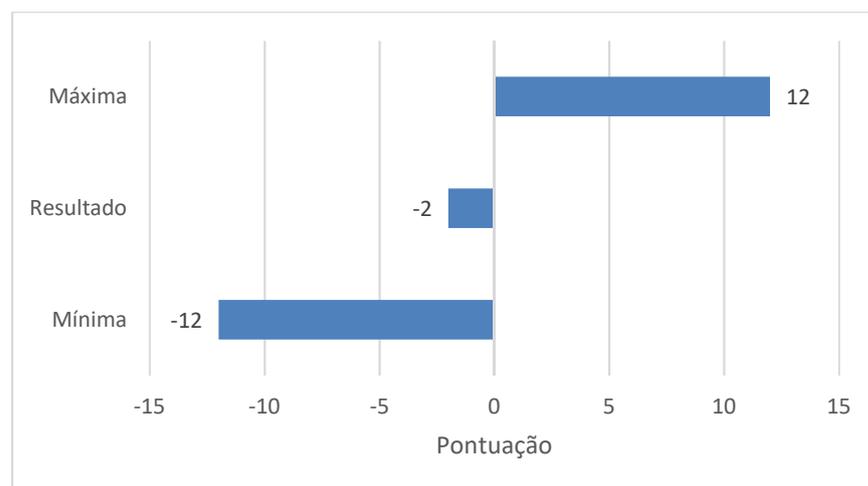
Percebe-se que o manual de operação da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão não detalha todas as operações da estação, deixando os operadores sem uma orientação formal de como agir em cada fase do processo. Uma estação de tratamento de esgotos necessita de procedimentos operacionais precisos, para que não haja nenhuma dúvida em seu manejo. Esta falta de definição causa prejuízos à eficiência do tratamento, pode causar danos aos equipamentos e cria situações de risco à saúde e à segurança dos operadores. Portanto, se torna necessário uma revisão no manual, tornando-o eficaz na operação da ETE da UFS – *campus* São Cristóvão. O manual deve ser mais objetivo e prático na descrição das ações dos operadores, deixando-os mais seguros no desenvolvimento de suas atividades.

#### 5.4.1.2 Operadores

Estas questões tiveram como objetivo verificar se a quantidade de operadores é suficiente e se existe um plano de qualificação para os mesmos.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 12 e uma pontuação mínima de -12. Obteve-se uma pontuação de -2, próximo ao ponto médio, mostrando que é necessário melhorar quanto ao plano de qualificação dos operadores, pois foi a questão que obteve as menores notas, como pode-se ver na Figura 42.

**Figura 42 – Operadores (pelos operadores)**



Fonte: Autor (2019)

A qualificação dos trabalhadores é essencial em qualquer ambiente de trabalho, principalmente em uma unidade operacional, como uma ETE, que requer total conhecimento do manuseio dos equipamentos e das etapas do processo. Na ETE da UFS – *campus* São

Cristóvão, não houve treinamento dos operadores para atuar no tipo de tratamento implantado na unidade, nem existe um plano de qualificação com este objetivo.

Outro ponto importante é a ausência de operador em determinados momentos do dia. Na ETE em questão, os operadores trabalham juntos no horário comercial. Em se tratando de uma unidade operacional, deveria ser operada durante 24 horas, inclusive em feriados e finais de semana.

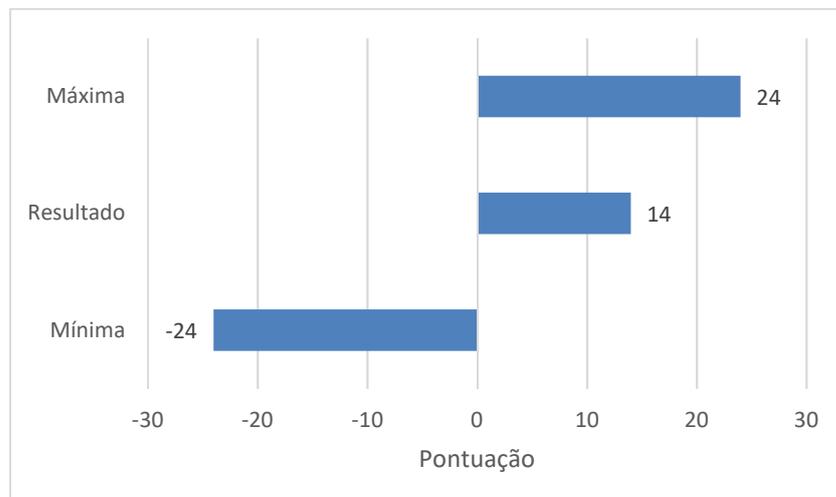
A falta de qualificação e de operação da estação, durante as 24 horas, vem contribuir para que a ETE não funcione de maneira adequada. Então, sugere-se que seja elaborado um plano de qualificação dos operadores com base no manual de operação revisado, e que os operadores trabalhem em um sistema de escalas, para que a ETE tenha sempre um operador presente.

#### 5.4.1.3 Manutenção

Estas questões objetivaram verificar se existe uma adequada disponibilização de material de consumo para a operação, se a limpeza da grade e da caixa de areia é feita a contento, e se existe uma rotina de verificação de entupimentos no UASB.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 24 e uma pontuação mínima de -24. Obteve-se uma pontuação de 14, indicando que existe uma boa manutenção da ETE na opinião dos operadores, como podemos ver na Figura 43. Um ponto que poderia melhorar é a disponibilização de materiais de consumo para a operação.

**Figura 43** – Manutenção (pelos operadores)



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que falta uma rotina bem definida com relação à manutenção da ETE. Percebe-se que a limpeza da caixa de areia não é adequada, percebe-se também, que a limpeza das calhas do UASB e do Valo de Oxidação não é feita sistematicamente, observando-se bastante limo.

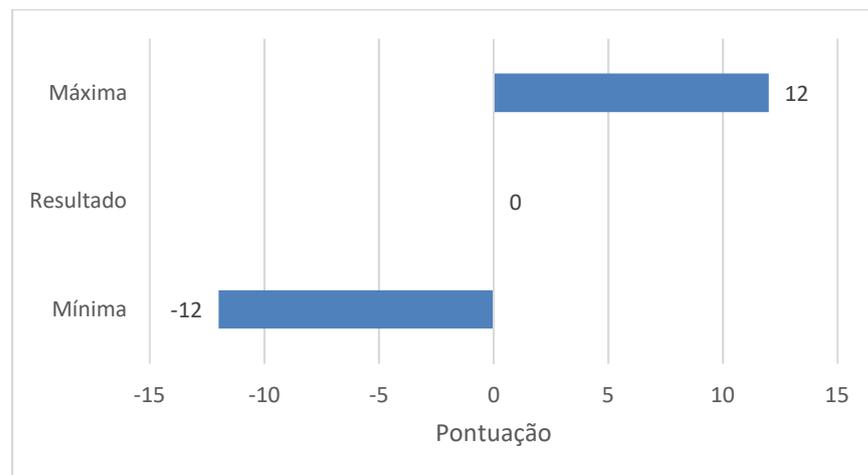
Torna-se necessário que as atividades de manutenção estejam bem definidas no manual de operação da ETE, fazendo com que o processo possa ocorrer de forma adequada.

#### 5.4.1.4 Monitoramento

Estas questões objetivaram esclarecer se existe monitoramento da ETE, através de coleta de amostras para análise de laboratório e monitoramento da vazão.

De acordo com as respostas do questionário, não existe coleta de amostras para análise de laboratório e é feito o monitoramento da vazão, equilibrando a pontuação em “zero”, conforme pode ser observado na Figura 44.

**Figura 44 – Monitoramento (pelos operadores)**



Fonte: Autor (2019)

Na estação, não existe laboratório de análises e não foi implementada uma sistemática de coletas de amostras para ser executadas análises em outro local. Os operadores apenas medem a vazão de entrada nos períodos em que estão presentes na estação.

Não existe monitoramento dos parâmetros na etapa do tratamento preliminar, como: volume de sólidos, volume de areia, temperatura, pH e sólidos sedimentáveis.

A falta de monitoramento da ETE faz com que a operação aconteça sem critérios, pois não se sabe onde precisa melhorar, nem o que acontece de maneira correta. Além de não se ter ideia do cumprimento ou não dos parâmetros da legislação ambiental. Desse modo, sugere-se

que seja elaborada uma sistemática de coleta de amostras e análises dos parâmetros nos laboratórios dos cursos da UFS. Com isso, a estação de tratamento teria seu controle e a área acadêmica da universidade teria suas pesquisas aquecidas com a liberação de recursos para a melhoria dos laboratórios.

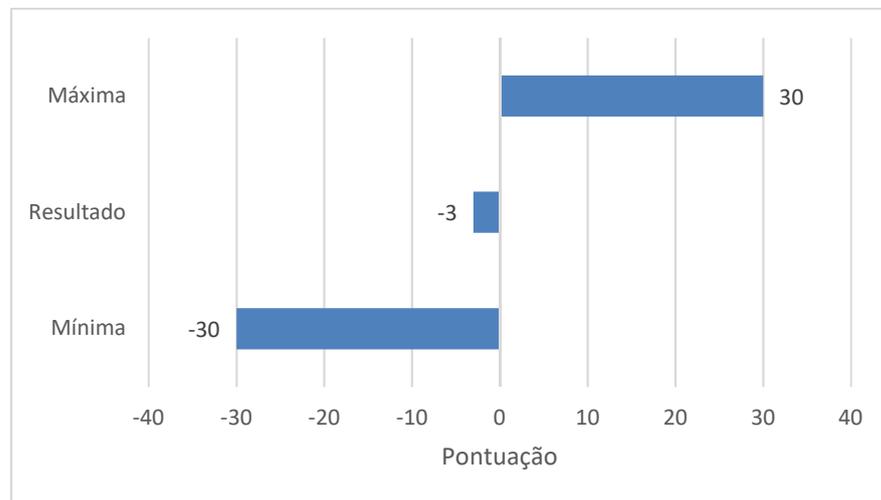
#### 5.4.1.5 Operação propriamente dita

Estas questões procuraram esclarecer como ocorre a operação da ETE, como: manejo de válvulas, funcionamento de aeradores e bombas, dosagem de produtos químicos etc.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 30 e uma pontuação mínima de -30. Obteve-se uma pontuação de -3, próximo ao ponto médio, mostrando que é necessário melhorar este item, principalmente quanto à rotina de descarte de lodo e dosagem de produtos químicos, como mostra a Figura 45.

Percebe-se que a operação acontece de forma inadequada, em função de todos os problemas já citados. A falta de procedimentos detalhados é um dos principais fatores para que isso ocorra. Nesse sentido, torna-se necessário a revisão do manual de operação com o detalhamento de todas as atividades e o treinamento dos operadores.

**Figura 45** – Operação propriamente dita (pelos operadores)



Fonte: Autor (2019)

#### 5.4.1.6 Resultado das questões abertas aplicadas aos operadores

Foram aplicadas duas questões abertas aos operadores: 1) Na sua opinião o projeto da ETE-UFS *campus* São Cristóvão foi bem feito? 2) O que você sugere para um melhor funcionamento desta ETE?

As respostas dos operadores, com relação à primeira questão, foram que o projeto não foi bem elaborado, porém a ideia foi boa. Relataram que a instituição pecou em vários aspectos, desde a fiscalização da obra até a operação da ETE. Informaram que a grade foi instalada com espaçamento maior que o do projeto, como constatado por Menezes e Mendonça (2017); que o poço de bombas não trabalha com as bombas afogadas; que já aconteceram reparos de fissuras em um dos módulos do UASB e que quando voltou a operar não foi feita inoculação com micro-organismos; que o Valo de Oxidação foi projetado sem a possibilidade de verificação das condições de remoção do lodo; que o Tanque de Contato foi projetado com a escada distante do reservatório de produtos químicos; que o Tanque de Acúmulo foi construído sem o fundo, deixando o efluente em contato direto com o solo; que os Leitões de Secagem possuíam os tijolos do fundo danificados desde o início da ETE; que o queimador de gás nunca funcionou.

Com relação à segunda pergunta, os operadores da ETE citaram que seria interessante a criação de uma comissão especializada para gerir a estação de maneira adequada. Sugeriram também a criação de parcerias com laboratórios para o controle sistemático dos parâmetros para o monitoramento adequado do processo, para atendimento dos requisitos da licença de operação da ETE. Citaram que é necessário um cuidado maior com a saúde e segurança do trabalho dos operadores, com um adequado fornecimento de equipamentos de proteção individual e de materiais de consumo.

#### **5.4.2 Resultado dos Questionários Aplicados à Administração da ETE**

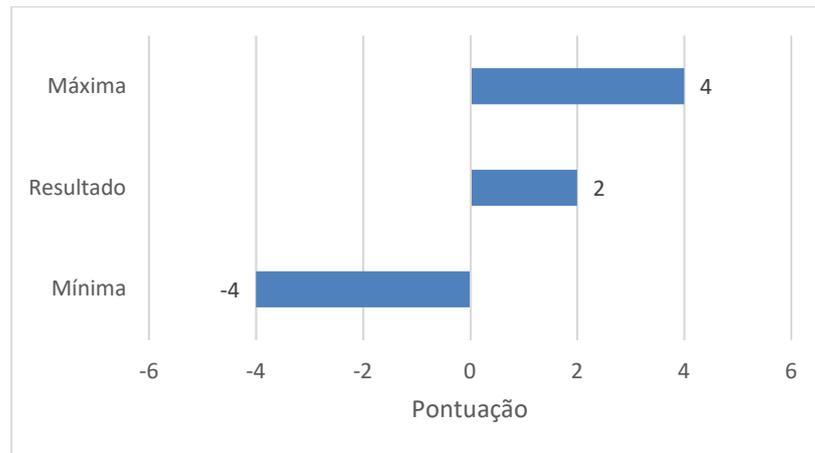
Os questionários foram aplicados à direção da Divisão de Administração de Imóveis (DIVAI), que é vinculado à Superintendência da UFS.

As questões fechadas foram divididas em quatro categorias para facilitar a análise do objeto de estudo: manual de operação, operadores, manutenção e monitoramento.

##### **5.4.2.1 Manual de Operação**

Estas questões procuraram descobrir se o manual existe e se houve treinamento para a operação da ETE com base no manual.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 4 e uma pontuação mínima de -4. Obteve-se uma pontuação de 2, mostrando que é necessário melhorar no treinamento dos operadores com base neste manual, pois este item teve a pior nota (Figura 46).

**Figura 46 – Manual de Operação (pela administração)**

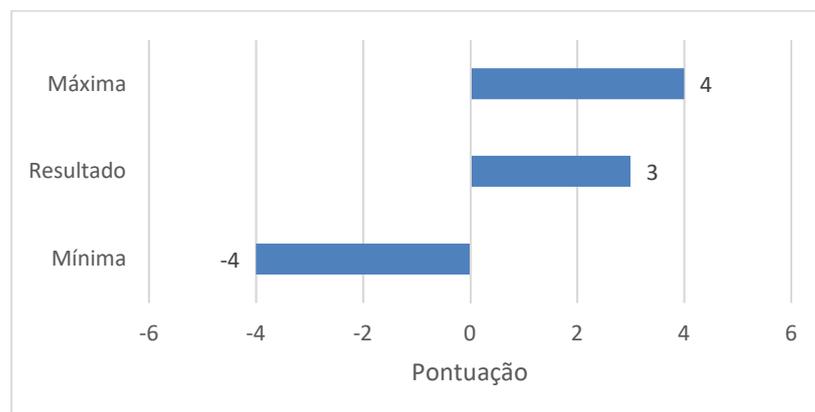
Fonte: Autor (2019)

#### 5.4.2.2 Operadores

Estas questões tiveram como objetivo verificar se a quantidade de operadores é suficiente e se existe um plano de qualificação para os mesmos.

Nesta categoria, teve-se uma pontuação máxima de 4 e uma pontuação mínima de -4. Obteve-se uma pontuação tendendo ao máximo, segundo a administração da estação de tratamento, com podemos observar na Figura 47.

Percebe-se que é necessário melhorar quanto ao plano de qualificação dos operadores no sistema implantado na ETE em questão.

**Figura 47 – Operadores (pela administração)**

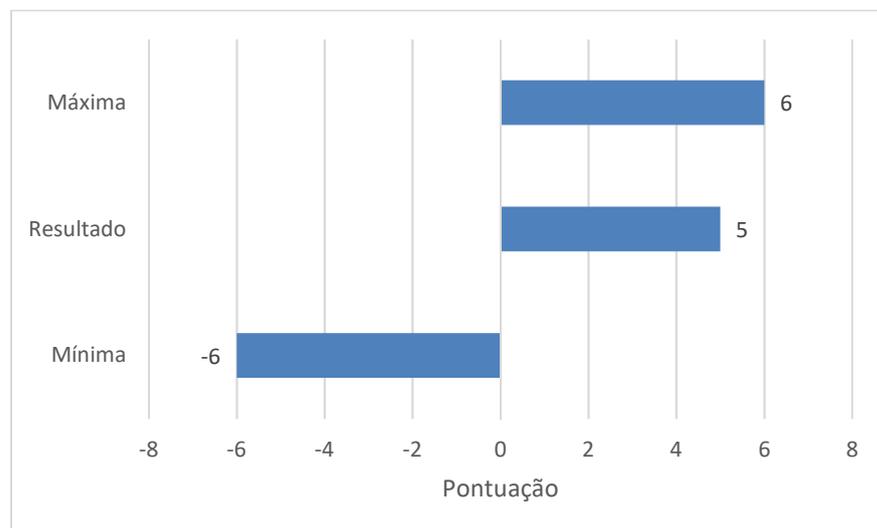
Fonte: Autor (2019)

### 5.4.2.3 Manutenção

Estas questões objetivaram verificar se existe uma adequada disponibilização de material de consumo para a operação, e se existe uma adequada manutenção das instalações físicas e equipamentos.

Nesta categoria teve-se uma pontuação máxima de 6 e uma pontuação mínima de -6. Obteve-se uma pontuação de 5, indicando que existe uma boa manutenção da ETE na opinião da administração, como pode-se ver na Figura 48. Um ponto que poderia melhorar é a disponibilização de materiais de consumo e equipamentos de proteção individual para a operação.

**Figura 48** – Manutenção (pela administração)

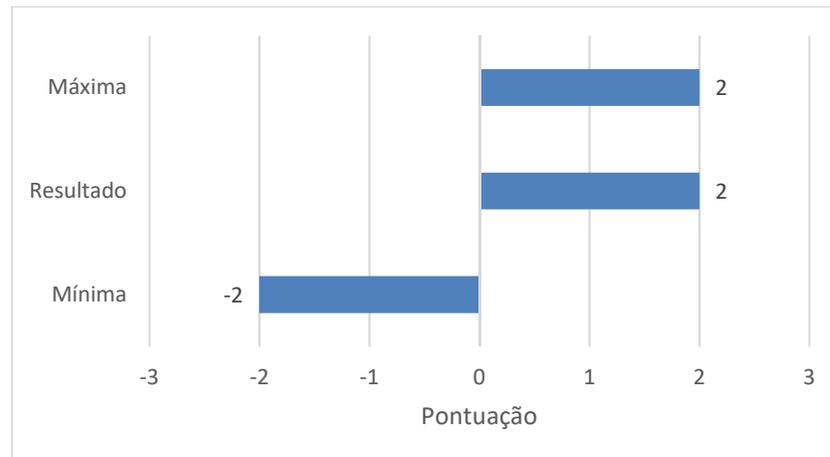


Fonte: Autor (2019)

### 5.4.2.4 Monitoramento

Estas questões objetivaram esclarecer se existe monitoramento da ETE, através de coleta de amostras para análise de laboratório.

De acordo com as respostas da administração da ETE, existe monitoramento através de coleta de amostras para análise de laboratório, conforme mostra a Figura 49. No entanto, sabe-se que não existe tal monitoramento de acordo com o que foi informado pelos operadores e pela observação do autor, tornando esta resposta incoerente com a realidade. O fato demonstra total desconhecimento da situação da ETE por parte da administração. Portanto torna-se necessário que a estação seja administrada por pessoas que entendam do processo ou sejam bem assessoradas para isso.

**Figura 49 – Monitoramento (pela administração)**

Fonte: Autor (2019)

#### 5.4.2.5 Resultado das questões abertas aplicadas à administração da ETE

De acordo com a administração da ETE, o projeto da ETE em questão foi elaborado de maneira adequada. A administração da estação de tratamento sugere que para acontecer um melhor funcionamento da ETE, é necessária uma melhoria dos operadores.

Percebe-se que a administração da ETE-UFS *campus* São Cristóvão necessita ser assessorada por especialistas na área de tratamento de efluentes, para que as decisões sejam tomadas de forma adequada. Sem um gerenciamento correto, a eficiência da estação estará comprometida.

#### 5.4.3 Resultado da Aplicação dos Questionários

O resultado da aplicação dos questionários mostrou que a ETE-UFS *campus* São Cristóvão não está funcionando de forma adequada, devido a vários fatores.

O manual de operação da ETE não detalha todas as operações da estação, deixando os operadores sem uma orientação formal de como agir em cada fase do processo. O manual deve ser mais objetivo e prático na descrição das ações dos operadores, deixando-os mais seguros no desenvolvimento de suas atividades. Torna-se necessário a elaboração de um novo manual mais detalhado e deve-se qualificar os operadores na utilização deste instrumento de fundamental importância para o funcionamento da estação de tratamento.

Quanto aos operadores, foi constatado que existe um número suficiente de servidores lotados na ETE, porém será necessário criar uma escala de trabalho para que a estação de tratamento tenha operador durante as 24 horas do dia e durante os sete dias da semana. Foi percebido também que não existe um plano de qualificação destes operadores, tornando-se

imprescindível o levantamento das necessidades de treinamento dos servidores lotados na ETE e a criação de um plano de metas para a qualificação dos mesmos.

Quanto às atividades de manutenção, torna-se necessário que sejam bem definidas no manual de operação as ações que serão efetuadas pelos operadores e a sistemática destas ações. Percebe-se que a limpeza da caixa de areia não é adequada, pois durante o período observado estava sendo feita uma vez por semana, e o Manual de Operação da ETE (SILVA, 2012) recomenda que a limpeza deve ter frequência a cada um ou dois dias, dependendo se há muita areia ou pouca areia. Percebe-se também, que a limpeza das calhas do UASB e do Valo de Oxidação não é feita sistematicamente. Um outro ponto a ser destacado é a precária disponibilização, para os operadores, de materiais de consumo e equipamentos de proteção individual. Os equipamentos elétricos da ETE, bombas e aeradores, não têm uma manutenção preventiva, fazendo com que ocorram frequentes falhas, prejudicando o processo de tratamento.

No tocante ao monitoramento da ETE, observa-se que não existe uma sistemática de coleta de amostras para análise dos parâmetros em laboratório, acontecendo apenas o acompanhamento da vazão afluente. Será necessária a implementação de uma rotina de coletas de amostras e a análise dos parâmetros fundamentais para avaliar a eficiência das etapas do tratamento e fundamentar as tomadas de decisões.

No que se refere à operação propriamente dita, nota-se que esta acontece de forma inadequada. A falta de procedimentos detalhados é um dos principais fatores para que isso ocorra. Nesse sentido, torna-se necessário a revisão do manual de operação com o detalhamento de todas as atividades e o treinamento dos operadores.

Observou-se, através do questionário, que a administração da ETE precisa ser assessorada por profissionais capazes de encontrar soluções que garantam a eficiência da estação de tratamento, pois as respostas dadas no questionário foram totalmente incoerentes com a situação atual da ETE-UFS *campus* São Cristóvão. Além disso, a UFS necessita ter a consciência de que o fato de sua ETE não funcionar adequadamente, leva à poluição do curso d'água que recebe o efluente da mesma.

Percebe-se uma falta de sincronia entre a administração da ETE e os operadores, levando a falhas na comunicação, interferindo diretamente no desempenho operacional da estação de tratamento. Existe a necessidade da implantação de um mecanismo formal de comunicação, onde as partes possam expor as ocorrências e necessidades operacionais.

#### 5.4.4 Dificuldades da Universidade Quanto à Administração da ETE

Uma estação de tratamento de esgotos requer um acompanhamento sistemático do processo, com decisões tomadas com base na análise de parâmetros essenciais ao bom funcionamento do sistema. Para que isso aconteça, é necessário um corpo técnico e operacional qualificado e um laboratório para as análises dos parâmetros. O adequado funcionamento da ETE, também está atrelado à conservação das instalações físicas existentes.

No Quadro 6 estão listadas as principais dificuldades da administração da ETE-UFS *campus* São Cristóvão quanto ao acompanhamento do desempenho e à conservação das instalações físicas da estação de tratamento de esgotos.

**Quadro 6 – Dificuldades da Administração da ETE**

<b>Unidades da ETE</b>	<b>Dificuldade</b>
Gradeamento	Compra e reposição de ferramentas para remoção dos resíduos retidos.
	Compra e reposição de recipientes para o depósito temporário dos resíduos retidos.
	Envio dos resíduos a um aterro sanitário.
	Registro diário do volume de resíduos retidos em um banco de dados específico.
Caixa de areia	Compra e reposição de ferramentas para remoção da areia.
	Compra e reposição de recipientes para o depósito temporário da areia.
	Envio da areia a um aterro sanitário.
	Registro diário do volume de areia em um banco de dados específico.
Calha Parshall	Compra e reposição de equipamento para medição da altura da lâmina d'água.
	Registro diário da vazão afluyente em um banco de dados específico.
Estação Elevatória	Manutenção preventiva das bombas.
UASB	Disponibilidade de equipe para a limpeza sistemática das calhas de entrada e de saída.
	Disponibilidade de equipe para desobstrução sistemática dos tubos distribuidores.
	Coleta de amostras para análise dos parâmetros de monitoramento do UASB.
	Disponibilidade de laboratório para a análise dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.
	Registro diário dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em um banco de dados específico.
	Acompanhamento da integridade e segurança do sistema de coleta e queima de gás.
	Monitoramento da quantidade e qualidade do lodo.

**Quadro 6 – Dificuldades da Administração da ETE**

(continuação)

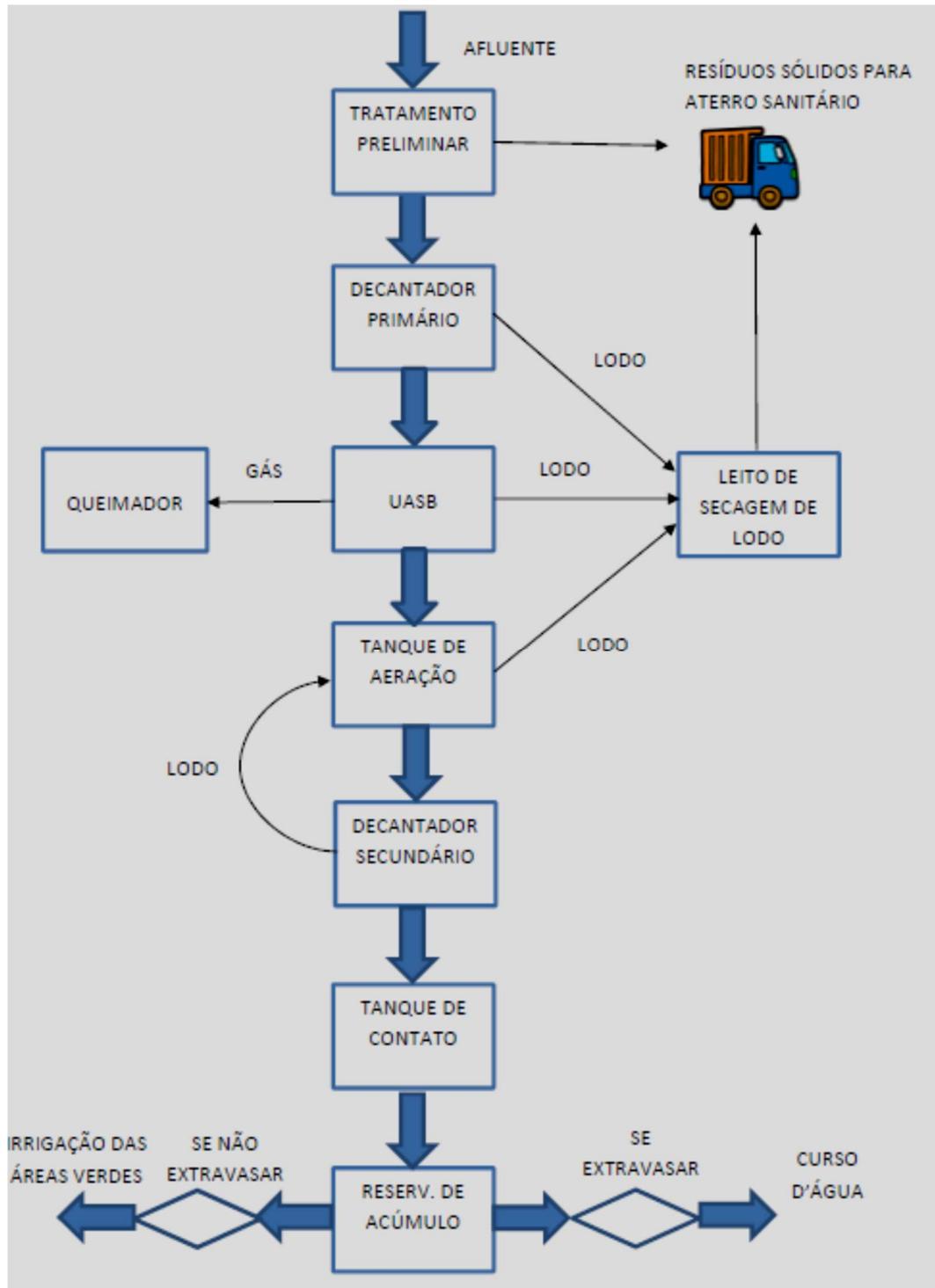
<b>Unidades da ETE</b>	<b>Dificuldade</b>
	Execução de pintura de manutenção nas estruturas metálicas de guarda-corpos e grades de piso.
Valo de Oxidação	Manutenção preventiva dos aeradores existentes, e compra de aeradores reservas.
	Disponibilidade de equipe para a limpeza sistemática da calha de saída.
	Coleta de amostras para análise dos parâmetros de monitoramento do Valo de Oxidação.
	Disponibilidade de laboratório para a análise dos parâmetros.
	Registro diário dos parâmetros em um banco de dados específico.
	Monitoramento da quantidade e qualidade do lodo.
	Instalação de guarda-corpos e corrimãos para a segurança dos operadores e visitantes.
	Implantação do sistema automatizado para o controle das válvulas e funcionamento dos aeradores.
Tanque de Contato	Corrigir o sistema de dosagem de hipoclorito de sódio.
	Abastecimento sistemático do reservatório. Sugere-se a utilização de dióxido de cloro em substituição ao hipoclorito de sódio, pois segundo Lapolli <i>et al.</i> (2005), o dióxido de cloro com 2,0 mg ClO <sub>2</sub> /L com um tempo de contato de 20min, consegue remover 100% de coliformes fecais e apresenta baixa formação de subprodutos organoclorados.
	Disponibilidade de equipe para a limpeza sistemática das chicanas.
	Coleta de amostras para análise dos parâmetros de monitoramento do Tanque de Contato.
Reservatório de Acúmulo	Manutenção preventiva das bombas.
Leitos de Secagem	Manutenção do piso dos leitos de secagem.
	Coleta de amostras para análise dos parâmetros de monitoramento do lodo.
	Disponibilidade de laboratório para a análise dos parâmetros.
	Registro diário dos parâmetros em um banco de dados específico.
	Envio do lodo seco a um aterro sanitário.

Fonte: Autor (2019)

Percebe-se que para a estação operar de forma adequada, torna-se necessário um redimensionamento dos recursos humanos e financeiros, e adequações nas unidades de tratamento. Sendo a UFS uma instituição pública, os recursos tornam-se ainda mais escassos, dificultando a solução do problema.

Após as mudanças sugeridas a estação deverá funcionar conforme fluxograma de processo sugerido, conforme Figura 50.

**Figura 50** – Fluxograma de Processo Sugerido



Fonte: Autor (2019)

Será necessária a implementação de uma rotina de coletas de amostras e a análise dos parâmetros fundamentais. O Quadro 7 apresenta sugestões para esse fim.

**Quadro 7** – Sugestão de rotina de monitoramento dos parâmetros

<b>Unidades da ETE</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Frequência de monitoramento</b>
Gradeamento	Peso e volume dos resíduos	Diária
Caixa de areia	Volume de areia	Diária
Calha Parshall	Vazão	Horária
	Temperatura	Diária
	pH	Diária
	Sólidos sedimentáveis	Diária
	Oxigênio dissolvido	Diária
UASB	DQO afluente	Diária
	SST afluente	
	SSV afluente	
	Temperatura efluente	
	pH efluente	
	Sólidos sedimentáveis efluente	
	DQO efluente	
	SST efluente	
	SSV efluente	
	Oxigênio dissolvido	
Valo de Oxidação	Temperatura efluente	Diária
	pH efluente	
	Sólidos sedimentáveis efluente	
	DQO efluente	
	SST efluente	
	SSV efluente	
	Oxigênio dissolvido efluente	
	Sólidos sedimentáveis após 30 minutos	
Tanque de contato	Vazão	Diária
	Temperatura	
	pH	
	Sólidos sedimentáveis	
	Coliforme termotolerante efluente	
	Turbidez efluente	
	Cloro residual efluente	
	DQO efluente	
	SST efluente	
	SSV efluente	
	Oxigênio dissolvido efluente	

Fonte: Autor (2019)

Será necessário que haja um detalhamento de todas as atividades da estação de tratamento, para que os operadores possam trabalhar com uma orientação segura, sabendo agir

corretamente em cada situação. No Quadro 8 estão algumas sugestões para o processo da estação, considerando que o fluxograma sugerido na Figura 50 tenha sido implementado.

**Quadro 8** – Sugestões para o processo da ETE

<b>Unidades da ETE</b>	<b>Atividade</b>	<b>Frequência</b>
Gradeamento	Limpeza da grade	Diária ou 50 % de obstrução
	Envio dos resíduos para aterro sanitário	Mensal
Caixa de Areia	Limpeza da caixa de areia	Diária
	Envio da areia para aterro sanitário	Mensal
Estação Elevatória	Verificar funcionamento automático das bombas	Horária
	Limpeza do fosso de bombas	Mensal
Decantador Primário	Descarte do lodo para o leito de secagem	Dimensionar
	Verificar funcionamento automático das bombas	Horária
	Limpeza da calha de entrada	Mensal
UASB	Limpeza da calha de entrada e saída	Mensal
	Desobstrução dos tubos distribuidores	Mensal
	Descarte do lodo para o leito de secagem	Dimensionar
	Verificar da pressão do gás	Diária
Tanque de Aeração	Verificar funcionamento automático dos aeradores	Horária
	Descarte do lodo para o leito de secagem	Dimensionar
Decantador Secundário	Verificar funcionamento das bombas de lodo	Diária
	Limpeza da calha de saída	Mensal
Tanque de Contato	Limpeza das chicanas	Mensal
	Abastecimento do reservatório de produto químico	Dimensionar
Reservatório de Acúmulo	Verificar funcionamento automático das bombas	Diária

Fonte: Autor (2019)

Com todas estas informações, foi possível apontar os principais problemas de projeto e/ou de operação e manutenção da estação, assim como indicar se há possibilidade de solução para cada problema encontrado.

As respostas dos questionários aplicados auxiliaram no resultado das análises das condições operacionais e de manutenção da ETE pertencente à UFS campus São Cristóvão.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Constatou-se que as previsões de vazões afluentes de projeto foram superestimadas, e sendo a vazão uma variável importante no cálculo de uma ETE, ocasionou um superdimensionamento desta estação de tratamento. Com isso, houve um grande aumento dos tempos de detenção hidráulica nas unidades da ETE, como por exemplo no UASB em que o TDH atual está em torno de 70,8 horas, quando o de projeto foi de 6 horas.

A etapa de tratamento preliminar, composta por grade e caixa de areia, não está sendo operada como deveria pois, constatou-se que o intervalo de limpeza não está sendo efetuado conforme o manual de operação da ETE. Outro fator importante é o acondicionamento inadequado dos resíduos retirados nesta etapa, que devem ser encaminhados para um aterro sanitário. Percebe-se, também, que não existe monitoramento dos parâmetros na etapa do tratamento preliminar, como: volume de sólidos, volume de areia, temperatura, pH e sólidos sedimentáveis. Apenas a vazão é aferida nesta etapa pelos operadores da ETE. Torna-se necessária a implementação de procedimentos detalhados para operar e monitorar os parâmetros nesta etapa do tratamento.

Ainda sobre o tratamento preliminar, no canal onde se localiza a grade não foi projetado um *by-pass*, para possibilitar a manutenção sem haver descontinuidade do processo.

Verificou-se que as bombas da estação elevatória estão trabalhando com vazões muito inferiores às quais foram fabricadas, podendo ocasionar problemas de funcionamento. Recomenda-se o redimensionamento das bombas para as vazões reais.

O tratamento secundário, que é feito utilizando reator UASB e valo de oxidação, não está funcionando com eficiência adequada devido a vários fatores. Um dos fatores é a vazão afluente muito abaixo do estimado, que em média está em torno de 14,5% da vazão de projeto, o que levou a um superdimensionamento das unidades de tratamento, causando um tempo de detenção hidráulica muito acima do previsto em projeto. Outro problema é a intermitência desta vazão, ocasionada pelo bombeamento do esgoto afluente de forma descontínua, levando o reator UASB a operar em bateladas. Ainda, com relação ao tratamento secundário, a DQO afluente adotada para o dimensionamento do tratamento biológico foi de 600 mg/L, valor muito maior que o encontrado pelo autor durante as análises, o que também influenciou no superdimensionamento do sistema. A eficiência de projeto do reator UASB não está sendo atingida, sendo em média de 2,6% e máxima de 35,2%, chegando em alguns momentos a ter valores negativos. A eficiência de projeto do valo de oxidação também não está acontecendo,

tendo-se encontrado valores médios de 2,2%, e eficiência máxima de 48,9%, sendo negativa em alguns momentos.

Além dos problemas de projeto, o tratamento secundário não está sendo operado adequadamente, pois não existem procedimentos precisos para que os operadores possam trabalhar de forma segura e não acontece o monitoramento dos parâmetros nesta etapa do tratamento. Será necessário a elaboração de um novo manual de operação para o UASB e valo de oxidação, e a implantação de uma sistemática de monitoramento dos parâmetros desta etapa.

Devido à vazão afluyente ser muito menor que a de projeto, sugere-se que a estação opere com apenas um módulo do UASB, transformando o outro módulo em decantador primário. Outra necessidade é a verificação da integridade do sistema de coleta do biogás, pois o queimador nunca foi acionado. Outra sugestão, para mitigar o problema de baixa vazão, é dividir o tanque do valo de oxidação em duas partes, tornando a parte onde se localiza a saída um decantador secundário e a primeira parte funcionando apenas como tanque de aeração.

O tratamento terciário também não está ocorrendo de forma adequada, pois a dosagem do cloro não está acontecendo conforme o manual de operação. Torna-se necessária a implementação de uma rotina, para que desinfecção do efluente aconteça de forma eficiente.

Após a desinfecção do efluente da ETE, com posterior remoção do cloro, e análise de sua eficiência, pode-se retomar a filosofia original do projeto de reutilizar o efluente tratado na irrigação das áreas verdes do *campus*.

Os leitos de secagem de lodo devem ter os pisos refeitos com novos tijolos, e implementada uma rotina de análise e descarte do lodo do UASB e do valo de oxidação. Após a secagem o lodo deve ser encaminhado para um aterro sanitário.

É também necessário que seja elaborado um manual com o detalhamento de todas as atividades da estação de tratamento para que os operadores o sigam, além de implementar um sistema de horário de turno dos operadores para que a ETE funcione de forma continua.

Conclui-se que existem grandes dificuldades para que uma instituição pública de ensino opere uma estação de tratamento de esgotos de forma adequada. A operação da ETE requer: gerentes e operadores qualificados e em quantidade satisfatória, monitoramento dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, compra e reposição de materiais de consumo, manutenção preventiva dos equipamentos eletromecânicos, manutenção sistemática das instalações físicas, e limpeza rotineira das unidades de tratamento. Portanto, para que a ETE seja operada de maneira adequada, é necessário que sejam alocados recursos materiais e humanos suficientes para esse fim. No entanto as instituições públicas, dentre as quais as universidades, passam por dificuldades econômicas, tornando problemática a tarefa de operar uma ETE.

## REFERÊNCIAS

AMARO, Ana; PÓVOA, Andreia; MACEDO, Lúcia. **A arte de fazer questionários**. Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2005.

AMORIM, Lara Letícia Galdino; VARGAS, Kátia Pontes; DE JESUS, Eleonora Henriques Amorim. Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de Uberlândia-MG. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Belo Horizonte, 2014. P. 1-15.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12207**. Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**. Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitário de Sistemas de Tratamento de Esgotos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

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

AZEVEDO NETTO, José Martiniano; FERNANDEZ y FERNANDEZ, Miguel; ARAUJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. **Manual de Hidráulica**. 8ª edição, São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de *et al.* Sistemas de esgotos sanitários. In: **Sistemas de esgotos sanitários**. CETESB, 1977.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos *et al.* **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

BEZERRA, Antônio Hermes. **Caracterização do sistema operacional da estação de tratamento de esgotos da UFRN**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54, de 28 de novembro de 2005 – **Estabelece critérios gerais para reuso de água potável**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. CONAMA, Resolução. 430/2011. **Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasília, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico**. Brasília, 2007.

CAMPOS, José Roberto *et al.* Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. ABES, 1999.

CAPELA, Marisa Veiga; CAPELA, Jorge Manuel Vieira. Elaboração de gráficos *box-plot* em planilhas de cálculo. In: **CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL DA REGIÃO SUDESTE–CNMAC Sudeste**. 2011.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbio**, v. 5. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001.

CORDI, Livia *et al.* Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 5, n. 1, p. 97-115, 2008.

DEFOUR, D. *et al.* Field experience with different systems for biomass accumulation in anaerobic reactor technology. **Water Science and Technology**, v. 30, n. 12, p. 181, 1994.

FERREIRA, Fabiana Dian; CORAIOLA, Márcio. Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto. Curitiba. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 259-279, 2008.

GALVANI, Emerson. Sistematização de dados quantitativos. Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório. São Paulo. **Oficina de Textos**, p. 175-185, 2005.

HAANDEL, Adrianus Cornelius; LETTINGA, Gatze. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

HESPANHOL, Ivanildo *et al.* Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4ª edição. Rio de Janeiro, 2005.

LAPOLLI, Flávio Rubens *et al.* Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro. Disinfection of domestic wastewater using chlorine dioxide. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 200-208, 2005.

LEOTTI, Vanessa Bielefeldt; COSTER, Rodrigo; RIBOLDI, João. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**. Porto Alegre. Vol. 32, no. 2 (2012), p. 227-234, 2012.

LETTINGA, Gatze *et al.* High-rate anaerobic waste-water treatment using the UASB reactor

under a wide range of temperature conditions. **Biotechnology and genetic engineering reviews**, v. 2, n. 1, p. 253-284, 1984.

LOBATO, Livia Cristina da Silva. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LOPES, Manuela de Mesquita; BRANCO, Verônica Teixeira Franco Castelo; SOARES, Jorge Barbosa. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, v. 21, n. 1, p. 59-66, 2013.

MARA, Duncan. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. Routledge. London, 2013.

MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativado como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico de leito expandido**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MENDONÇA, Sérgio Rolim. **Sistemas de lagunas de estabilización: Como utilizar aguas residuales tratadas em sistemas de regadio**. Bogotá: McGraw-Hill, 2000.

MENDONÇA, Sérgio Rolim; MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para o projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura**. São Paulo, SP: Blucher, 2016.

MENEZES, Itamires Santos de; MENDONÇA, Luciana Coêlho. Avaliação do tratamento preliminar da estação de tratamento de efluentes do campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison Prescott. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. McGraw Hill Brasil, 2015.

MIKI, Marcelo Kenji. Dilemas do UASB. **Revista DAE**, v. 183, p. 25-37, 2010.

MONTEGGIA, Luiz Olinto *et al.* Análise dos factores intervenientes no desempenho de reatores de manto de lodos de fluxo ascendente tratando esgotos sanitários. In: **Anais de XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Gestão ambiental XXI**. P. 1-13, 1998.

OLIVEIRA, Sílvia Corrêa; VON SPERLING, Marcos. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

OLIVEIRA, Sílvia Corrêa; VON SPERLING, Marcos. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 2: influência de fatores de projeto e operação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, n. 4, p. 358-368, 2005.

OLIVEIRA, Sílvia Corrêa; VON SPERLING, Marcos. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 389-388, 2007.

PARENTE, Antonio Hélder; SILVA, E. A. B. Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia. **Revista Química & Tecnologia**, n. 1, p. 58-67, 2002.

PONTES, Patrícia Procópio. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

RAMOS, Ricardo Augusto. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, 2008.

RECESA, Rede de Capacitação E Extensão Tecnológica Em Saneamento Ambiental. **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental(org.)**. – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 112 p. Disponível em: <http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/ES-OMSS.2.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2018.

ROSSO, Thereza Christina Almeida; DIAS, Alexandre Pessoa. Análise dos Elementos Atípicos do Sistema de Esgoto–Separador Absoluto–na Cidade do Rio de Janeiro. **Engevista**, v. 13, n. 3, 2011.

ROYSTON, Patrick. Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for non-normality. *Statistics and computing*, v. 2, n. 3, p. 117-119, 1992.

SANTOS, Rafael Carvalho de Oliveira; BARBOSA FILHO, Olavo; GIORDANO, Gandhi. Proposta de um método de cálculo do tempo de sedimentação no tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, n. 3, p. 185-193, 2005.

SCALIZE, Paulo Sergio *et al.* **Correlação entre os valores de DBO e DQO no afluente e efluente de duas ETES da cidade de Araraquara**. Assembleia Nacional da Assemae, 34. ASSEMAE, 2004.

SILVA, Lyndon Johnson Vasconcelos. **Manual de Operação ETE UFS**. São Cristóvão, 2012.

SILVA, Sara Ramos da; MENDONÇA, António Sergio Ferreira. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória-ES. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 8, n. 4, p. 213-20, 2003.

SONUNE, Amit; GHATE, Rupali. Developments in wastewater treatment methods. **Desalination**, v. 167, p. 55-63, 2004.

TEIXEIRA, Ana Raquel; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; SOUTO, Tatiana; DE PAULA, Fernando Silva. Influência da alteração da distribuição do tamanho de partículas no desempenho de reator UASB tratando esgoto doméstico. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 14, n. 2, p. 159-166, 2009.

UFS. Notícias. **Cidade Universitária terá moderno sistema de esgotamento sanitário**. 2014. Disponível em: <http://www.ufs.br/conteudo/15261>. Acesso em: 19/07/2017.

VERSIANI, Betina Maciel. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

VIEIRA, Sônia Mara Manso; GARCÍA, Alcides Diniz. Sewage treatment by UASB-reactor: Operation results and recommendations for design and utilization. **Water Science and Technology**, v. 25, n. 7, p. 143-157, 1992.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 4, 1997.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. Ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

WEI, Yuansong *et al.* Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. **Water research**, v. 37, n. 18, p. 4453-4467, 2003.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Questionário aplicado aos operadores da ETE-UFS *campus* São Cristóvão

Categoria	Questão	Concordo totalmente	Concordo	Sem opinião	Discordo	Discordo totalmente
		2	1	0	-1	-2
Manual de Operação	Existe manual de operação da ETE.					
	O manual de operação está acessível a todos os operadores da ETE.					
	O manual de operação é detalhado o suficiente para uma boa operação da ETE.					
	Houve treinamento para a operação da ETE, com base no manual de operação.					
Operadores	A quantidade de operadores da ETE é satisfatória.					
	Existe um plano de qualificação dos operadores da ETE.					
Manutenção	A disponibilização de materiais de consumo para a operação é adequada.					
	A limpeza da grade está sendo feita no tempo adequado. (diariamente)					
	A limpeza da caixa de areia está sendo feita no tempo adequado. (de um a dois dias)					
	Existe uma rotina de verificação de entupimento nas tubulações verticais de distribuição de esgoto no UASB.					
Monitoramento	Existe monitoramento da ETE através de coleta de amostras e análises de laboratório.					
	Existe monitoramento da vazão de entrada da ETE.					
Operação Propriamente Dita	Existe uma rotina de descarte do lodo do UASB.					
	Os aeradores do valo de oxidação são operados de forma adequada ao manual de operação.					
	As válvulas do valo de oxidação são operadas de forma adequada ao manual de operação.					
	Existe uma rotina de descarte do lodo do valo de oxidação.					
	No tanque de contato a dosagem da cloração é feita conforme o manual de operação.					

**Apêndice B** – Questionário aplicado à administração da ETE-UFS *campus* São Cristóvão

Categoria	Questão	Concordo totalmente	Concordo	Sem opinião	Discordo	Discordo totalmente
		2	1	0	-1	-2
Manual de Operação	Existe manual de operação da ETE.					
	Houve treinamento para a operação da ETE, com base no manual de operação.					
Operadores	A quantidade de operadores da ETE é satisfatória.					
	Existe um plano de qualificação dos operadores da ETE.					
Manutenção	A aquisição de materiais de consumo para a operação é adequada.					
	A manutenção das instalações físicas e equipamentos da ETE é feita de maneira satisfatória.					
	Os resíduos sólidos separados no processo da ETE são descartados de maneira adequada.					
Monitoramento	Existe monitoramento da ETE através de coleta de amostras e análises de laboratório.					

As questões abertas aplicadas aos operadores e à administração da ETE:

- 1) Na sua opinião o projeto da ETE-UFS *campus* São Cristóvão foi bem feito?
- 2) O que você sugere para um melhor funcionamento desta ETE?

## Apêndice C – Dados do Esgoto Bruto

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Tempe ratura (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Sólidos Sedime ntáveis (mL/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>
1	23/10/17	2,4	7,49	29,5	-	0,1	179	-
2	30/10/17	2,3	7,45	28,5	-	0,1	182	-
3	12/12/17	1,8	7,41	29,5	165	2,5	416	42,5
4	23/01/18	2,1	7,94	31,3	-	0,5	643	47,6
5	30/01/18	4,9	7,12	29,5	141,5	1,5	362	14,4
6	06/02/18	1,5	6,88	28,0	144	0,6	183,5	38
7	20/02/18	2,0	7,77	30,1	39,5	2	518	29,8
8	10/04/18	1,2	7,24	31,2	80,5	1,5	326	33,2
9	18/04/18	1,2	7,58	29,8	61,5	0,2	271	18
10	24/04/18	2,3	7,59	29,4	155	1,8	380	47,3
11	02/05/18	1,8	7,61	29,5	174,5	0,5	412	43
12	08/05/18	1,2	7,36	29,0	191	3,1	407	236
13	15/05/18	1,2	7,71	29,0	149	0,5	388	27,9
14	22/05/18	1,5	7,19	28,9	139,5	1,2	286	34,7
15	06/06/18	4,9	7,12	28,4	171	1,2	487	86,6
16	12/06/18	1,2	7,20	28,0	145	1,4	334	50,4
17	19/06/18	2,3	7,05	27,8	80,5	0,3	324	50,9
18	04/07/18	2,3	7,26	27,0	82,5	0,7	330	42,5
19	10/07/18	2,5	7,01	27,5	87	0,5	316	34,3
20	24/07/18	2,3	6,93	27,0	211,5	1,5	432	108,8

Fonte: Autor (2019)

**Apêndice D – Dados do Efluente do UASB**

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Sólidos Sedimentáveis (mL/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>
1	23/10/17	7,14	28,03	-	0,2	221	-
2	30/10/17	7,47	29,3	-	0,2	384	-
3	12/12/17	7,76	29,6	141,5	0,2	366	6,67
4	23/01/18	7,97	30,2	-	0,2	408	20,28
5	30/01/18	7,56	29	163	0,2	461	19,5
6	06/02/18	7,54	27,5	164	0,2	433	20,4
7	20/02/18	7,8	29,5	46	0,2	269	12
8	10/04/18	7,77	30,7	63,5	0,1	297	16,6
9	18/04/18	8,09	30,1	184	0,2	382	19,33
10	24/04/18	8,24	29,4	180,5	0,4	416	14,19
11	02/05/18	7,8	29,3	143,5	0,1	410	19,5
12	08/05/18	8,06	28,4	142	0,1	405	18,83
13	15/05/18	8,06	29	200,5	0,2	509	21,5
14	22/05/18	7,63	28,5	199	0,2	418	6
15	06/06/18	7,56	28,1	53,5	0,1	320	10,5
16	12/06/18	7,77	27,5	94	0,1	398	13
17	19/06/18	7,68	27,5	67,5	0,1	276	25
18	04/07/18	7,67	27	132	0,1	356	18
19	10/07/18	7,74	27	134	0,1	394	26,67
20	24/07/18	7,39	26	112,5	0,3	413	17,67

Fonte: Autor (2019)

**Apêndice E – Dados do Efluente do Valo de Oxidação**

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Sólidos Sedimentáveis (mL/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>
1	23/10/17	7,46	28,1	-	0,1	147	-
2	30/10/17	7,50	29,6	-	0,1	154	-
3	12/12/17	7,35	29,5	70,5	0,2	132	31,67
4	23/01/18	8,02	29,2	-	5,5	523	72,4
5	30/01/18	7,09	29,5	145,5	7	520,2	23,6
6	06/02/18	7,09	27,5	165	4,5	416	84,62
7	20/02/18	7,82	29,7	90	0,1	403	75,71
8	10/04/18	7,49	30	44	0,3	301	27,23
9	18/04/18	7,72	28,7	94	0,6	307	30,71
10	24/04/18	7,86	29	114	0,4	397	31,31
11	02/05/18	7,87	28	163	5	494	83,68
12	08/05/18	7,78	28,9	196,5	5,3	448	105,51
13	15/05/18	7,72	28,5	250,5	8	592	76
14	22/05/18	7,45	28,5	195,5	6,5	472	26,97
15	06/06/18	6,94	28,5	69,5	2,5	375	54,72
16	12/06/18	7,37	28	141,5	9,5	457	92,5
17	19/06/18	7,33	27,5	283	16	469	141,06
18	04/07/18	7,26	27	54	0,1	294	11,50
19	10/07/18	7,37	28	66,5	0,1	343	17,33
20	24/07/18	7,41	26,5	46	0,1	358	8,5

Fonte: Autor (2019)

**Apêndice F – Dados para Cálculo do IVL do Valo de Oxidação**

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Sólidos Sedimentáveis (30 min) (mL/L)</b>	<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>	<b>IVL (ml/g)</b>
1	10/07/18	23	331,11	69,46
2	24/07/18	26	205,88	126,29
3	21/08/18	19	190,18	99,91
4	27/08/18	23	219,69	104,69
5	04/09/18	25	231,23	108,12
6	13/09/18	26	135,77	191,50
7	20/09/18	24	210,25	114,15
8	27/09/18	19	333,33	57
9	04/10/18	22	128,35	171,40
10	09/10/18	26	167,20	155,50
11	16/10/18	21	145,24	144,59
12	23/10/18	24	113,46	211,53

Fonte: Autor (2019)

**Apêndice G – Dados para Cálculo do A/M do Valo de Oxidação**

<b>Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>DQO (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>SSV* (mg/L)</b>	<b>A/M</b>
1	06/12/18	302,4	33,25	630,84	13	1,23
2	13/12/18	302,4	55,5	630,84	35,5	0,75
3	20/12/18	129,6	58	630,84	36	0,33

Fonte: Autor (2019)

\* O ensaio do SSV – Sólidos em Suspensão Voláteis foi efetuado pelo ITPS – Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe, conforme Anexos A, B, C, D, E e F.

## ANEXOS

## Anexo A – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 1A


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO  
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380  
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18**

Revisão 00

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3494, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

Amostra	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 1	Código	4806/18-01	Coleta em	05/12/18
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Sólidos em Suspensão Voláteis	14,00	mg/L	-	SMEWW, 2017, 2540 E	03/01/19

**Legenda**

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

**Informações de Coleta**

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

 Cláudia de Araújo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LSCNW QBZ 131.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 1/6

## Anexo B – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 1B


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO  
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380  
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18**

Revisão 00

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3494, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

<b>Amostra</b>	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 1	<b>Código</b>	4806/18-02	<b>Coleta em</b>	06/12/18
<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Método</b>	<b>Data do Ensaio</b>
Sólidos em Suspensão Voláteis	12,00	mg/L	–	SMEWW, 2017, 2540 E	03/01/19

**Legenda**

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

**Informações de Coleta**

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

 Cláudia de Araujo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

**Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos**

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba **Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LSCNW QBZ 131.**

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.

O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 2/6

## Anexo C – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 2A


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO  
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380  
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18**
**Revisão 00**

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3494, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

<b>Amostra</b>	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 2	<b>Código</b>	4806/18-03	<b>Coleta em</b>	13/12/18
<b>Ensaio</b>	Sólidos em Suspensão Voláteis	<b>Resultado</b>	32,00	<b>Unidade</b>	mg/L
		<b>LQ</b>	-	<b>Método</b>	SMEWW, 2017, 2540 E
				<b>Data do Ensaio</b>	03/01/19

**Legenda**

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

**Informações de Coleta**

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

 Cláudia de Araújo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

**Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos**

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba **Serviços** clicando em **Resultados de Análises** usando o código **LSCNW QBZ 131**.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.

O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 3/6

## Anexo D – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 2B


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO  
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380  
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18**
**Revisão 00**

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3404, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

<b>Amostra</b>	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 2	<b>Código</b>	4806/18-04	<b>Coleta em</b>	13/12/18
<b>Ensaio</b>		<b>Resultado</b>		<b>Método</b>	
Sólidos em Suspensão Voláteis		39,00	mg/L	SMEWW, 2017, 2540 E	03/01/19

**Legenda**

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

**Informações de Coleta**

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

 Cláudia de Araujo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba **Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LSCNW QBZ 131.**

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perceptíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 4/6

## Anexo E – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 3A

**itps** INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380 Aracaju - SE - Brasil Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18** Revisão 00

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3494, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

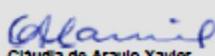
<b>Amostra</b>	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 3	<b>Código</b>	4806/18-05	<b>Coleta em</b>	20/12/18
<b>Ensaio</b>		<b>Resultado</b>		<b>Método</b>	
Sólidos em Suspensão Voláteis		44,00	mg/L	SMEWW, 2017, 2540 E	03/01/19

**Legenda**  
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.  
LQ: Limite de Quantificação do Método.

**Informações de Coleta**  
Coleta efetuada pelo cliente.  
A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

  
Cláudia de Araujo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

**Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos**  
A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba **Serviços** clicando em **Resultados de Análises** usando o código LSCNW QBZ 131.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.  
O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00 Página: 5/6

## Anexo F – Relatório de Ensaio no ITPS – Amostra 3B


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO  
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380  
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090  
CNPJ 07.258.529/0001-59

**Relatório de Ensaios ITPS Nº 4806/18**

Revisão 00

<b>Cliente</b>	Sérgio Souza Oliveira	<b>Telefone</b>	
<b>Endereço</b>	AVENIDA ADELIA FRANCO, 3494, CEP 49048-010	<b>Contato(s)</b>	Sérgio Souza Oliveira
<b>e-mail</b>	ssoliveira45@gmail.com	<b>Fax</b>	
<b>Amostra(s)</b>	Efluentes/Despejos	<b>Recepção</b>	21/12/18

<b>Amostra</b>	AGUA EFLUENTES/ AMOSTRA 3	<b>Código</b>	4806/18-06	<b>Coleta em</b>	20/12/18
<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Método</b>	<b>Data do Ensaio</b>
Sólidos em Suspensão Voláteis	28,00	mg/L	–	SMEWW, 2017, 2540 E	03/01/19

**Legenda**

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

**Informações de Coleta**

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 04 de janeiro de 2019.

 Claudia de Araujo Xavier  
Coordenadora Substituta  
Lab. Química de Água

**Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos**

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em [www.itps.se.gov.br](http://www.itps.se.gov.br) na aba **Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LSCNW QBZ 131.**

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.

O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.