



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA VOLUNTÁRIA - PICVOL

**DESEMPENHO DA ETE DA UFS
Eficiência da ETE da UFS na remoção de matéria orgânica**

Área de Conhecimento: Engenharias
Subárea do conhecimento: Engenharia Sanitária
Especialidade do conhecimento: Técnicas Convencionais de Tratamento de Esgoto

Relatório Final
Período da bolsa: de agosto/2018 a julho/2019

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica
PICVOL

Orientadora: Luciana Coêlho Mendonça
Autora: Vitória Letícia de Jesus Costa

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2 | Objetivos | 6 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 6 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 6 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 7 |
| 3.1 | Definição de esgoto | 7 |
| 3.2 | Características dos Esgotos Sanitários..... | 7 |
| 3.2.1 | Características Físicas dos Esgotos Sanitários | 7 |
| 3.2.2 | Características Químicas dos Esgotos Sanitários | 8 |
| 3.2.3 | Características Biológicas dos Esgotos Sanitários | 10 |
| 3.3 | Tratamento de Esgotos Sanitários | 10 |
| 3.4 | Tratamento Preliminar | 12 |
| 3.4.1 | Gradeamento..... | 12 |
| 3.4.2 | Desarenação ou Caixa de Retenção de Areia..... | 12 |
| 3.4.3 | Medição de Vazão | 13 |
| 3.5 | Tratamento primário | 13 |
| 3.6 | Tratamento Secundário | 14 |
| 3.6.1 | Reator anaeróbio de manta de lodo – UASB | 14 |
| 3.6.2 | Lodos Ativados..... | 16 |
| 3.6.3 | Valos de oxidação..... | 18 |
| 3.7 | Tratamento Terciário | 19 |
| 3.7.1 | Desinfecção | 19 |
| 3.8 | Leitos de secagem..... | 20 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 4.1 | Área de Estudo..... | 21 |
| 4.2 | Visitas de Campo | 25 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.3 | Monitoramento da ETE..... | 25 |
| 4.4 | Análise estatística | 28 |
| 4.5 | Eficiência da ETE..... | 29 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 30 |
| 5.1 | Análises físico-químicas | 30 |
| 5.2 | Análise dos sólidos | 33 |
| 5.3 | Análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO) | 37 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 40 |
| 7 | PERSPECTIVAS DE FUTUROS TRABALHOS | 41 |
| 8 | OUTRAS ATIVIDADES..... | 42 |
| 9 | JUSTIFICATIVA DE ALTERAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO..... | 43 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 44 |

1 INTRODUÇÃO

O mais antigo registro de uma obra envolvendo saneamento básico no Brasil foi na data de 1561, quando Estácio de Sá deu início à escavação do primeiro poço para o abastecimento de água do Rio de Janeiro (BARROS, 2014). Desde então, observou-se que o crescimento populacional e industrial demandava uma quantidade de água cada vez maior, além de investimentos e estudos que objetivassem a melhoria e a distribuição de serviços de saneamento básico em todo o país.

Nessa perspectiva, em 2007, criou-se a Lei 11.445 (BRASIL, 2007) com a intenção de estabelecer as diretrizes nacionais para o saneamento básico, fixando os direitos e obrigações da União de manter, regular, inspecionar e planejar diversas políticas para este setor. Segundo esta lei, o esgotamento sanitário é um dos principais serviços que envolvem o saneamento básico.

Em relação ao esgotamento sanitário, há diversas problemáticas que precisam da atenção dos órgãos públicos e da sociedade, a exemplo do despejo inadequado de esgoto em corpos d'água. Este é um grande problema ambiental, social e de saúde pública que precisa ser solucionado urgentemente, pois esse tipo de poluente causa diversos impactos, tais como alteração ou destruição da fauna e flora aquática, extinção de espécies, transmissão de nocivos que atingem humanos e animais e proliferação de doenças (SANTOS, 2007).

Nesse sentido, em 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu a Resolução N° 357 (BRASIL, 2005), visando classificar os corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e também estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes. Além desta, o CONAMA criou também a Resolução N° 430 (BRASIL, 2011) que completa e altera, em partes, a Resolução N° 357.

Da mesma forma, programas voltados ao esgotamento sanitário também foram elaborados, a exemplo do Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas – PRODES. Criado pela Agência Nacional de Águas – ANA, este programa objetiva estimular a implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), como meio de reduzir a poluição hídrica no Brasil. Conforme o Relatório de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2006), o Brasil conseguiu elevar a distribuição de esgotamento sanitário, aumentando de 71% (ano de 1990) para 75% (ano de 2014). No entanto, estudos feitos pelo Instituto Trata Brasil (2017) apontam que apenas 45% do esgoto gerado no país é tratado e o restante é despejado na natureza.

Em Sergipe, por exemplo, o abastecimento de água tem índices satisfatórios, onde quase 100% das casas são abastecidas. Porém verifica-se uma grande disparidade quando comparado ao tratamento de esgoto, onde somente 55% das casas têm acesso a esse serviço, facilitando, assim, a proliferação de doenças e a contaminação de pessoas (ANDRADE, 2018).

De acordo com Von Sperling (2018), existem dois tipos de sistema para esgotamento sanitário: individual, onde sua solução é local, e coletivo, onde a solução é afastada do esgoto da área de coleta. A escolha dependerá das condições apresentadas pelo curso d'água do local e das características do esgoto gerado. O autor cita, ainda, que é necessário avaliar, também, alguns pontos referentes ao tratamento de esgoto, tais como sua eficiência, impactos ambientais, custos de implantação e de operação, disposição do efluente tratado e sustentabilidade.

Assim, como consequência do crescimento do número de estudantes universitários, foram implantadas estações de tratamento de esgoto em algumas universidades brasileiras, planejando diminuir a poluição causada pelos efluentes e reutilizá-los em outras atividades, como irrigação (MENEZES, 2016). Nesse sentido, foi construída uma ETE na Universidade Federal de Sergipe, *campus* São Cristóvão, visando reutilizar seu efluente na irrigação de áreas verdes da universidade.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar o desempenho das unidades de tratamento da ETE da UFS, *campus* de São Cristóvão.

2.2 Objetivos específicos

- Monitorar as características do afluente e efluente da estação;
- Avaliar a eficiência da ETE na remoção de sólidos e de matéria orgânica.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Definição de esgoto

Segundo a norma técnica brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto é um despejo líquido composto de resíduos domésticos e industriais, água de infiltração e parasitas pluviais.

O esgoto doméstico é composto em sua maior parte por água (99,9%). O resto (0,1%) corresponde à matéria orgânica, sabões, alvejantes, papel, plástico, detergentes, desinfetantes, areias e etc.. Sua composição está relacionada com as atividades humanas e condições climáticas (LOPES, 2015).

Já a composição do esgoto industrial depende do material a ser utilizado na fábrica, tipo de processo industrial e produto a ser fabricado. Ocasionalmente, esgotos industriais podem ser despejados em esgotos domésticos, quando são introduzidos por ligações clandestinas ou por meio da concessão pelas companhias de saneamento.

3.2 Características dos Esgotos Sanitários

3.2.1 Características Físicas dos Esgotos Sanitários

As principais características físicas dos esgotos domésticos são a cor, turbidez, temperatura e sólidos.

- **Cor e Turbidez**

Cor e turbidez estão relacionados à estética e indicam o estado em que o esgoto se encontra. Estes ocasionam uma aparência desagradável e dificultam a penetração da luz solar. Além disso, estes parâmetros dependem dos compostos orgânicos naturais dissolvidos e dos compostos inorgânicos. Esgotos frescos apresentam cor cinza e, geralmente, maior turbidez. Já os esgotos sépticos são cinza escuro ou preto (PINTO, 2013).

- **Temperatura**

A temperatura tem impacto direto na manutenção da vida aquática, nas reações químicas, na cinética das reações e na diminuição da concentração do oxigênio dissolvido. Além do mais, a velocidade de decomposição do esgoto aumenta de acordo com a temperatura (MELLO, 2007).

- **Sólidos**

De acordo com Von Sperling (2018b), os sólidos presentes nas águas residuárias são classificados segundo o seu tamanho e estado, as suas características químicas e a sua decantabilidade:

Classificação por tamanho e estado:

- Sólidos Suspensos (SS): sólidos que são retidos por filtração em papel de filtro com porosidade determinada (as dimensões variam de 0,45 a 2,0 μm);
- Sólidos Dissolvidos (SD): sólidos que não são retidos no papel de filtro.

Classificação pelas características químicas:

- Sólidos Voláteis (SV): é a matéria orgânica obtida pela diferença entre sólidos totais e fixos;
- Sólidos Fixos (SF): é a matéria inorgânica presente após calcinação a 500°C.

Classificação pela sedimentabilidade:

- Sólidos Sedimentáveis (SSed): sólidos capazes de sedimentar em, aproximadamente, 1 hora;
- Sólidos não Sedimentáveis: parte dos sólidos que não se sedimentam.

Além desses tipos de sólidos, existem os Sólidos Totais (ST) que representam toda a matéria remanescente após a evaporação da água.

3.2.2 Características Químicas dos Esgotos Sanitários

As principais características químicas dos esgotos sanitários são: matéria orgânica, pH, nitrogênio, fósforo e oxigênio dissolvido.

- **Matéria orgânica**

Aproximadamente, 70% do esgoto é composto por matéria orgânica. Essa grande parcela é uma mistura heterogênea de proteínas, carboidratos, óleos, graxas e gorduras (LOPES, 2015).

Devido à grande variedade de compostos orgânicos em esgotos sanitários, torna-se inviável quantificá-los. No entanto, existem métodos laboratoriais, diretos e indiretos, que podem determinar a quantidade de matéria orgânica em sua totalidade. Alguns dos métodos utilizados são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

- a) **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Através desse método, pode-se quantificar o oxigênio necessário para que microrganismos degradem a matéria orgânica presente através da respiração

(GIORDANO, 2012). Dessa forma, conclui-se que quanto maior é a DBO, maior será o consumo de oxigênio nos corpos d'água e maior será o dano ao meio ambiente

b) **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Nesse método, é possível medir o oxigênio consumido quimicamente para oxidar a matéria orgânica presente (GIORDANO, 2012).

- **pH**

Outro parâmetro importante para a caracterização do esgoto é o pH (potencial hidrogeniônico) que representa, em escala logarítma, a concentração de íons de hidrogênio, indicando a condição ácida ou básica do esgoto. Os esgotos sanitários apresentam pH neutro ou pouco alcalinos. Esgotos mais alcalinos dificultam a realização do tratamento biológico (LOPES, 2015).

- **Nitrogênio**

Os principais nutrientes presentes nos esgotos sanitários são o nitrogênio e o fósforo, pois, são importantes para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico. Porém, quando em excesso, podem causar eutrofização dos corpos d'águas (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

- **Fósforo**

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um componente essencial no tratamento biológico do esgoto. Esse nutriente pode ser encontrado na forma orgânica (combinado à matéria orgânica) ou inorgânica (ortofosfato e polifosfatos) (SANTOS, 2007).

- **Oxigênio dissolvido**

E, como um dos principais parâmetros a serem monitorados nos processos biológicos aeróbios, o oxigênio dissolvido é essencial para a estabilização da matéria orgânica. Pode ser originado pela dissolução do oxigênio atmosférico, por processos de aeração artificial ou pela fotossíntese (FIORUCCI; BENEDETTI FILHO, 2005).

3.2.3 Características Biológicas dos Esgotos Sanitários

As principais características biológicas dos esgotos sanitários são: microrganismos de água residuária e coliformes termotolerantes.

- **Microrganismos de água residuária**

De acordo com Pinto (2013), os microrganismos presentes nos esgotos podem ser bactérias, vírus, fungos, protozoários, algas e os grupos de plantas e animais. No tratamento biológico dos esgotos, os microrganismos têm papel primordial na conversão de matéria orgânica e inorgânica.

- **Coliformes termotolerantes**

Como há grande variedade de microrganismos nos esgotos, ficaria inviável técnica e economicamente a determinação de todos. Assim, faz-se a determinação de coliformes termotolerantes que são considerados indicadores de contaminação fecal e possuem resistência similar aos microrganismos patogênicos presentes nos esgotos (MENDONÇA; MENDONÇA, 2016).

3.3 Tratamento de Esgotos Sanitários

A falta de tratamento de esgotos e de saneamento básico nas cidades facilita a proliferação de doenças e a degradação dos corpos d'água. Dessa forma, é de extrema importância o investimento em tratamento de esgotos, pois, além de contribuir para melhoria da qualidade de vida da população, colabora para proteção do meio ambiente.

O tratamento é feito em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), onde o efluente passa por processos físicos, químicos e biológicos, seguindo os padrões impostos pela Resolução CONAMA N° 430/2011 apresentados no Quadro 1. Esse tratamento consiste em transformar a matéria orgânica em inorgânica e remover os microrganismos patogênicos.

Quadro 1 - Condições de lançamento de efluentes

| Parâmetros | Valores máximos |
|-----------------------|------------------------|
| pH | 5 a 9 |
| Temperatura | 39°C |
| Sólidos sedimentáveis | 1 mL/L |
| DBO | 120 mg.L ⁻¹ |
| Óleos e graxas | 100 mg/L |
| Materiais flutuantes | Não deve existir |

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA n° 430 (2011)

Para Oliveira (2006), o tratamento de esgotos pode ser dividido em preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar visa remover sólidos grosseiros e areia, e determinar a vazão. O tratamento primário destina-se a remoção de sólidos suspensos e parte da matéria orgânica presente. O tratamento secundário remove a matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, através de mecanismos biológicos. Por fim, o tratamento terciário tem como finalidade remover poluentes tóxicos ou não biodegradáveis, além de outros poluentes que não foram removidos no tratamento secundário. Esta última etapa contempla a remoção de nutrientes e a desinfecção.

No Quadro 2, pode-se observar as características dentre os níveis de tratamento.

Quadro 2 - Características dos principais níveis de tratamento do esgoto.

| Item | Nível de tratamento | | |
|---------------------------------------|--|---|--|
| | Preliminar | Primário | Secundário |
| Poluentes removidos | - Sólidos grosseiros - Areia | - Sólidos sedimentáveis - DBO em suspensão | - Sólidos não sedimentáveis - DBO em suspensão fina - DBO solúvel - Eventualmente nutrientes - Eventualmente patógenos |
| Eficiências de remoção | | - SS: 60 a 70% - DBO: 25 a 35% - Coliformes: 30 a 40% | - DBO: 60 a 98% - Coliformes: 60 a 99% |
| Mecanismo de tratamento predominante | Físico | Físico | Biológico |
| Cumprir padrões de lançamento usuais? | Não | Não | Não |
| Aplicação | -Montante de elevatória - Etapa inicial de todos os processos de tratamento | - Tratamento parcial - Etapa intermediária de tratamento mais completo | - Tratamento mais completo (para remoção de matéria orgânica) |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2018).

Conforme a Tabela 1, é possível observar uma breve comparação entre os níveis de eficiência de cada tratamento.

no fundo da caixa de areia, enquanto a matéria orgânica continua em suspensão seguindo para as próximas etapas (VON SPERLING, 2018a).

De acordo com Menezes (2016), a areia é removida para que seja evitada a abrasão nos equipamentos e tubulações e a obstrução em tubulações, tanques, orifício e sifões e, para facilitar o transporte do líquido, principalmente a transferência de lodo, em suas diversas fases.

3.4.3 Medição de Vazão

A medição da vazão tem grande importância na avaliação do desempenho de uma ETE. Essa medição pode ser feita através da Calha Parshall, onde será medida a altura da lâmina d'água e o valor encontrado será convertido em vazão (SILVIANO, 2017).

As calhas Parshall não possuem função de tratamento. Porém, devido à sua posição no tratamento preliminar e ao turbilhamento causado pelo ressalto hidráulico, este dispositivo de medição de vazão pode ser utilizado para misturar o efluente.

3.5 Tratamento primário

Após o tratamento preliminar, restam, ainda, os sólidos em suspensão não grosseiros que podem ser retirados durante o tratamento primário. Parte da matéria orgânica que também faz parte desses sólidos pode ser removida a partir de sua sedimentação. Logo, tal processo resultará na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário. Para Metcalf & Eddy (2003), as remoções de sólidos suspensos e DBO variam, respectivamente, entre 50% a 70% e 25% a 40%.

Geralmente, esse tratamento é feito em tanques de decantação que tem a função de clarificar o efluente e remover os sólidos, isolados ou em forma de flocos, que podem sedimentar seu próprio peso (MELLO, 2007). Ainda, segundo o autor, os sólidos, com densidade maior que a do líquido, sedimentam-se no fundo do decantador, formando o lodo primário bruto. Além disso, nesse processo, também podem ser removidos materiais flutuantes como graxas e óleos que, por terem densidade menor, se mantêm na superfície do decantador.

Em alguns casos são adicionados agentes coagulantes, visando aumentar a eficiência do tratamento primário. Estes agentes colaboram para obtenção de flocos de matéria poluente com dimensões maiores e mais facilmente decantáveis (RODRIGUES, 2016).

Em contrapartida, quando são utilizados reatores UASB no tratamento secundário, não é necessária a implantação do tratamento primário na estação, como é o caso da ETE da UFS.

3.6 Tratamento Secundário

Durante o tratamento secundário, o efluente passa por processos biológicos, realizados por microrganismos, para remoção da matéria orgânica que se apresenta dissolvida (não é removida por processos físicos) ou em suspensão (grande parte é removida no tratamento primário). Tais microrganismos convertem a matéria orgânica em gases, água e material celular (GUIMARÃES; NOUR, 2001).

Devido à grande quantidade de microrganismos durante o tratamento secundário realizado em tanques biológicos, a matéria orgânica é reduzida, de forma que em algumas estações é possível o lançamento do efluente diretamente no corpo receptor.

Existe uma grande variedade de procedimentos de tratamento aeróbios ou anaeróbios para a remoção da matéria orgânica, sendo que os mais comuns são: lagoas de estabilização, processos de disposição sobre o solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes.

3.6.1 Reator anaeróbio de manta de lodo – UASB

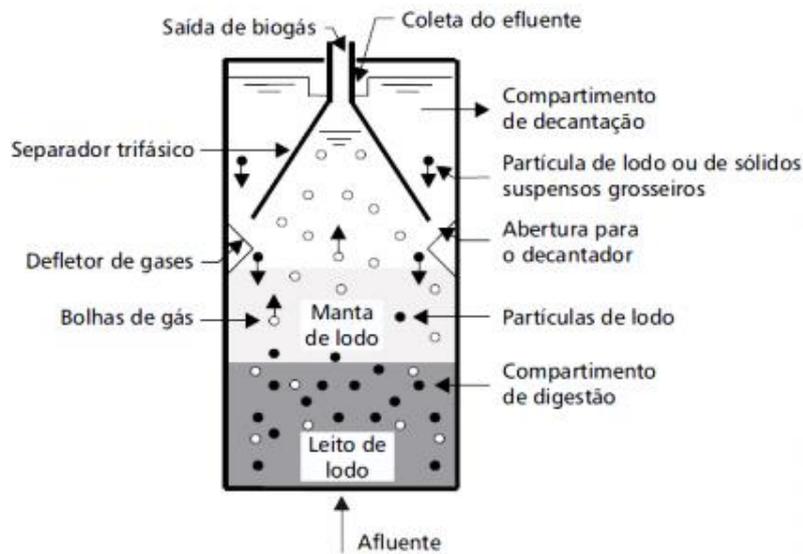
Também denominado de DAFA (Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente), o UASB trata-se de uma unidade de tratamento de esgoto que apresenta inúmeras vantagens quando comparado ao processo aeróbio. Devido ao seu baixo consumo de energia, baixo custo de implantação, baixa produção de lodo e eficiente remoção de DQO e DBO, esse tipo de tratamento apresenta-se como uma solução, principalmente em regiões de altas temperaturas. Em contrapartida, geralmente, é necessário um pós-tratamento, pois o processo anaeróbio não exibe uma baixa eficiência quanto à remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Jordão e Pessoa (2005), o Reator de Manta de Lodo caracteriza-se como um sistema de fluxo ascendente, onde o lodo se encontra suspenso, unido na forma de flocos ou grânulos. Neste, as bactérias formam flocos facilmente sedimentáveis, formando uma manta de lodo no interior do reator.

De acordo com Chernicharo (2007), o afluente de esgoto entra pelo fundo do reator e se encontra com o leito de lodo na câmara de digestão. Nessa etapa ocorre a digestão anaeróbia, liberando gases resultantes da interação das bactérias e matéria orgânica. Em seguida, o afluente passa por um separador trifásico, fisicamente

caracterizado por uma zona de sedimentação, onde os gases são direcionados para incineração ou armazenamento, e os líquidos e sólidos não decantados são direcionados para os próximos tratamentos (Figura 2). Parte do líquido contém o lodo de qualidade ruim, que é arrastado para fora do sistema, e o lodo de melhor qualidade que é retido, apresentando uma concentração de sólidos totais na ordem de 40 a 100 g ST/L.

Figura 2 - Funcionamento de um reator de manta de lodo



Fonte: Adaptado de Magalhães (2012).

Para o alcance de uma boa eficiência desse tratamento, alguns requisitos básicos devem ser atendidos quanto a temperatura, pH e nutrientes presentes no esgoto.

- **Temperatura:** a temperatura é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento e crescimento de microrganismos no reator, pois, pode afetar a velocidade do metabolismo das bactérias, o equilíbrio iônico e a solubilidade dos substratos. De acordo com Lopes (2015, apud METCALF; EDDY, 2003, p. 55), a temperatura ideal para as atividades biológicas das bactérias deve-se encontrar entre 25°C e 35°C.
- **pH:** o pH tem grande influência no desempenho das bactérias e na toxicidade do substrato. De acordo com Almeida et al. (2013), o pH no interior do reator deve ser mantido entre 6,0 a 8,0 para que não ocorra a inibição destas bactérias.
- **Nutrientes:** os nutrientes necessários para a manutenção da população bacteriana dependem da sua composição celular. Dessa forma, pode-se afirmar que os nutrientes mais importantes são nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12 (NUNES, 2012).

A eficiência dos reatores UASB quanto a remoção de matéria orgânica se encontra na faixa de 70% a 80%, sendo que, a DQO de efluente de esgoto domésticos tratados anaerobiamente varia entre 100 e 200 mg/L (LIMA, 2013). Segundo Nuvolari (2011), para uma entrada de 200 mg.L⁻¹ de DBO, a eficiência de remoção nesse reator equivale a 70%, já para 400 mg.L⁻¹ de DBO, a eficiência aumenta para 80%. Devido à alta remoção de DBO, muitas vezes esse procedimento é escolhido para tratar efluentes. No entanto, geralmente, é seguido de algum pós-tratamento para se obter maior desempenho. Este pós-tratamento pode ser um processo secundário (aeróbio ou anaeróbio), ou até um processo físico-químico.

3.6.2 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados é um processo biológico aeróbio amplamente utilizado para o tratamento de esgotos. Este, objetiva a remoção de poluentes orgânicos biodegradáveis, pela oxidação da matéria orgânica por bactérias aeróbicas e facultativas em reator biológico seguidos de decantação (OLIVEIRA, 2006).

O autor também cita que este sistema é um ótimo tratamento para situações em que se é necessária uma boa qualidade do efluente e a disponibilidade de área é limitada. Em contrapartida, os lodos ativados possuem complexidade operacional, alto nível de mecanização e consumo energético elevados.

Em um sistema de lodos ativados, Santos (2007) afirma que, após passar pelo tratamento preliminar, o esgoto segue para o decantador primário, depois para o tanque de aeração. Neste tanque, os microrganismos transformam o substrato orgânico presente no esgoto em CO₂ e lodo biológico, removendo-os do líquido. Após esta etapa, o esgoto e os sólidos biológicos são encaminhados para o decantador secundário, onde os sólidos produzidos no reator biológico serão separados. Estes se sedimentam formando a biomassa, permitindo que o efluente final saia clarificado. Esta biomassa também é chamada de lodo biológico ou simplesmente lodo.

Para que se tenha um bom controle operacional em processos aeróbicos, deve-se ter maior preocupação sobre o monitoramento de parâmetros como, temperatura, oxigênio dissolvido e pH. Quanto a temperatura, esta pode variar de 10°C a 40°C, contudo, a temperatura que apresenta uma maior atividade microbiana é de 35°C. Já o oxigênio dissolvido deverá ser de no mínimo 0,5 mg/L, e a faixa de pH mais apropriada varia de 6,0 a 8,0 (TENEDINI, 2016).

Pereira et al. (2016) encontraram, no estudo realizado em um sistema de lodo ativado projetado para aeração prolongada, eficiência média na remoção de DBO de 98% e 97% na remoção de DQO. Já Ferreira e Coraiola (2008) comprovaram, por meio de monitoramento analítico, que o lodo ativado proporciona uma eficiência no tratamento entre 95 e 98%.

É recomendado um percentual mínimo de recirculação nos sistemas de lodos ativados (POMPÊO et al., 2016):

- 25% quando a quantidade de sólidos suspensos no tanque de aeração for menor que 3500mg/L;

- 50% quando a quantidade de sólidos suspensos no tanque de aeração estiver entre 3500mg/L e 4500mg/L;

- 100% quando a quantidade de sólidos suspensos no tanque de aeração for igual ou maior do que 4500mg/L.

Existem três tipos de variantes do sistema de lodos ativados (VON SPERLING, 2018a).

- Lodos ativados convencional: Tratamento com elevada eficiência na remoção da DBO, devido a longa permanência da biomassa em relação ao líquido. Neste processo, faz-se necessária a remoção de uma quantidade de lodo equivalente a que é produzida, sendo que este lodo removido precisa passar por uma estabilização durante seu tratamento. Os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto são removidos por uma unidade de decantação primária. O oxigênio utilizado no processo é fornecido por aeradores mecânicos ou por ar difuso. Todo o processamento é feito no tanque de aeração e no decantador secundário;
- Lodos ativados por aeração prolongada: Similar ao processo anterior, mas com maior permanência de tempo da biomassa no sistema. Dessa forma, as bactérias utilizam a matéria orgânica do próprio material celular para sua manutenção, já que nesse caso a disponibilidade de substrato é menor. Por consequência, o lodo excedente retirado já sai estabilizado. Geralmente, decantadores primários não são utilizados;

A escolha do sistema dependerá do nível de eficiência desejada. De acordo com a Tabela 2, os lodos ativados por aeração prolongada apresentam eficiência ligeiramente maior em comparação com os lodos ativados convencional.

Tabela 2 - Eficiência de diferentes tipos de sistemas de lodo ativado quanto a remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes.

| Eficiência de remoção (%) | Tipo | |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| | Convencional | Aer. Prolongada |
| DBO | 85 – 93 | 90 – 97 |
| DQO | 85 – 90 | 83 – 93 |
| Sólidos suspensos | 87 – 93 | 87 – 93 |
| Nitrogênio | < 60 | < 60 |
| Fósforo | < 35 | < 35 |
| Coliformes | 60 – 90 | 70 – 95 |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2018).

3.6.3 Valos de oxidação

Os valos de oxidação (Figura 3) são unidades de tratamento de esgoto que possuem os mesmos princípios básicos dos sistemas de lodos ativados por aeração prolongada.

De acordo com Jordão e Pessôa (2007), esse tratamento é composto por:

- Dispositivo de entrada: recebe e distribui o afluente;
- Tanque de aeração: local onde ocorrem as reações biológicas entre as bactérias aeróbias e a matéria orgânica do esgoto, promovendo a formação de flocos e consequente redução da DBO;
- Rotor de aeração;
- Dispositivo de saída: depende do tipo de operação do valo, podendo ser de fluxo contínuo ou intermitente.

Figura 3 - Estação de tratamento de esgoto composta por valo de oxidação.



Fonte: Gonçalves (2015)

Os autores afirmam, ainda, que o uso de um decantador final não é obrigatório, mas sim essencial, pois este permite o funcionamento contínuo do processo, eliminando

os sólidos sedimentáveis transportados com o efluente do valo, o que aumenta a eficiência do sistema, conseqüentemente. No entanto, quando este não existe, o tanque de aeração também funciona como decantador.

Estudos apontam que este sistema apresenta uma eficiência de remoção de DBO na faixa de 98% e 70% de remoção de nitrogênio. Estas altas taxas são atingidas devido à alternância de passagem do efluente por uma zona aeróbia (próxima aos rotores) ou por uma zona anóxida (nos arredores da zona aeróbia) (FAEDO, 2010).

Apesar do elevado grau de eficiência, esta unidade de tratamento exige maior consumo energético, maior controle operacional e alta produção de lodo. E por conta desse excesso de lodo, geralmente, é necessário inserir uma unidade de tratamento do lodo, como unidades convencionais de secagem.

3.7 Tratamento Terciário

O tratamento terciário é considerado uma etapa adicional para remoção de patógenos, nutrientes ou componentes específicos do esgoto remanescente dos tratamentos anteriores. Pode ser realizado através de processos físico-químicos, como coagulação, floculação, filtração e desinfecção (TOSETTO, 2005).

3.7.1 Desinfecção

A desinfecção do esgoto visa a remoção efetiva de patógenos para garantir a qualidade da água do corpo receptor. Esta desinfecção pode ser feita através de três mecanismos distintos (SANTOS, 2007):

- Destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular: o agente desinfetante impede que os componentes dessas estruturas celulares desenvolvam suas funções elementares adequadamente;
- Alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, tais como enzimas e seus substratos, alterando o balanço de energia da célula;
- Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, através da alteração de funções como síntese de proteínas, de ácidos nucléicos e coenzimas.

A desinfecção por cloração é o principal tipo utilizado no Brasil. O cloro possui propriedades químicas que o possibilitam matar os microrganismos patógenos (MEDEIROS; DANIEL, 2017).

Além disso, deve-se ter certa preocupação sobre a geração de subprodutos tóxicos aos seres humanos e ao corpo receptor, mas levando em consideração os benefícios da remoção de patógenos para saúde humana.

De acordo com Aquino (2014), para que a desinfecção atinja níveis satisfatórios de eficiência, é necessário ter conhecimento prévio sobre o efluente a ser tratado, como suas características e composição, além de adotar medidas criteriosas relacionadas ao processo.

3.8 Leitos de secagem

Leitos de secagem são unidades utilizadas para separar as partes sólidas e líquidas do lodo. São comumente encontrados em ETEs de pequeno e médio porte, possuindo baixo custo de implantação.

Segundo Von Sperling (2018a), são tanques retangulares que possuem, internamente, dispositivos para drenagem da água do lodo. Parte do líquido evapora e a outra parte percola pela camada de areia e pela camada suporte. O lodo desaguado fica retido na camada acima de areia.

Seu dimensionamento depende da produção local de lodo, teor de sólidos suspensos do lodo aplicado no leito e do período de secagem para obtenção do teor de sólidos desejado. Geralmente, o lodo é considerado seco quando atinge umidade de 70% a 30% de teor de sólidos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Cherubini (2002) afirma que a radiação solar, temperatura ambiente, precipitação e umidade relativa do ar apresentam grande influência na concentração de sólidos do lodo. Em leitos de secagem através da solarização, o teor de sólidos é de aproximadamente 45%.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A Universidade Federal de Sergipe (Figura 4), *campus* de São Cristóvão, localiza-se na Cidade Universitária “Prof. José Aloísio de Campos”, Avenida Marechal Rondon, s/n. Bairro Jardim Rosa Elze, município de São Cristóvão, Sergipe. Com área total de 892.075,00m², atualmente, *o campus* atende mais de 2000 alunos de graduação.

Figura 4 - Delimitação geográfica da UFS.



Fonte: Adaptado de Google (2018).

Devido ao crescimento do número de estudantes e funcionários da UFS, fez-se necessário implantar uma estação de tratamento de esgoto dentro da universidade. Além de atender às demandas da instituição de ensino, a ETE visa, também, contribuir para melhoria do meio ambiente, evitando desperdícios e poluição dos corpos hídricos. Para isso, a estação foi projetada para que seu efluente já tratado fosse utilizado para irrigação.

Logo, em 2015 foi instalada uma Estação de Tratamento de Esgoto, objeto foco do estudo, na Universidade Federal de Sergipe. Esta estação é composta por:

- Tratamento preliminar: grade (Figura 5), caixa de areia (Figura 6) e calha Parshall (Figura 7);
- Tratamento secundário: reator UASB (Figura 8) e valo de oxidação (Figura 9);
- Tratamento terciário: cloração (tanque de contato destinado à desinfecção) (Figura 10);

- Tratamento do lodo: leitos de secagem (Figura 11).

Figura 5 – Grade



Fonte: Autora (2018)

Figura 6 - Caixa de areia



Fonte: Autora (2018)

Figura 7 - Calha Parshall



Fonte: Autora (2018)

Figura 8 - Reator UASB



Fonte: Autora (2018)

Figura 9 - Valo de oxidação



Fonte: Autora (2018)

Figura 10 - Tanque de cloração



Fonte: Autora (2018)

Figura 11 - Leitões de secagem



Fonte: Autora (2018)

4.2 Visitas de Campo

Foram realizadas visitas semanais à ETE (todas as terças-feiras às 9h da manhã) com o intuito de coletar amostras para analisar a eficiência e caracterizar o efluente da estação. As amostras foram coletadas em 3 pontos diferentes: esgoto bruto (início da calha Parshall); saída do reator UASB (efluente do UASB); saída do valo de oxidação (efluente do valo e da ETE). Em cada ponto, foram coletados 2L de amostra.

Foi observado que os aeradores presentes no valo de oxidação funcionavam por no mínimo 2 horas, tanto no período da manhã, quanto no período da tarde. No entanto, a depender da vazão de chegada do efluente, esse tempo de funcionamento poderia sofrer alterações. Durante as visitas, notou-se que, certas vezes, os aeradores precisavam ser desligados devido à ocorrência de defeitos em seu funcionamento.

4.3 Monitoramento da ETE

Após coletadas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente – SAMA do Departamento de Engenharia Civil da UFS. No laboratório, determinaram-se a temperatura, pH, turbidez, DQO e sólidos totais (fixos e voláteis), sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais e sólidos sedimentáveis, de acordo com as recomendações descritas em (APHA, 2012).

Para determinar esses parâmetros, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Balança analítica (precisão $\pm 0,0001$ g);
- Cápsulas de porcelana;
- Bomba de vácuo;
- Dessecador contendo sílica;
- Estufa a 103°C;
- Forno tipo Mufla a 550°C;
- Colorímetro Hach DR/980;
- Cone Imhoff com suporte;
- Medidor de pH de bancada (GEHAKA PG 1400);
- Termômetro digital;
- Vidraria (provetas e béqueres);
- Membranas de fibra de vidro;
- Pipetador;
- Solução de ácido sulfúrico com sulfato de prata;
- Solução de dicromato de potássio.
- Bloco digestor de DQO com capacidade de 150°C;

- **Determinação de sólidos totais (ST)**

Inicialmente, secaram-se 6 cápsulas de porcelana na estufa a 103°C, durante 24h, medindo-se a massa das cápsulas depois de resfriadas no dessecador (M1).

Após o preparo das cápsulas, utilizando provetas, retiraram-se duas amostras de 50mL (V1) de cada amostra coletada na ETE, colocando-as nas cápsulas já preparadas. Logo em seguida, levaram-se as cápsulas com as amostras à estufa a 103°C, onde permaneceram até que suas massas estivessem constantes (aproximadamente 24 horas). Depois de retiradas da estufa e transferidas para o dessecador até seu resfriamento, mediram-se a massa das cápsulas (M2).

Os sólidos totais foram obtidos através da Equação 1:

$$ST = \frac{M2 - M1}{V1} \quad (1)$$

em que:

ST: sólidos totais (mg/L);

M1: massa da cápsula de porcelana vazia (mg);

M2: massa da cápsula de porcelana com a amostra após saída da estufa (mg);

V1: volume de amostra (L).

- **Determinação de sólidos totais fixos e voláteis (STF e STV)**

Primeiramente, fez-se a metodologia para determinação da concentração de sólidos totais. Em seguida, levaram-se as cápsulas com amostras para o forno Mufla a 550°C, por aproximadamente 2 horas, medindo-se a massa das cápsulas após resfriamento no dessecador (M3).

Os sólidos totais fixos (STF) e voláteis (STV) foram obtidos através das Equações 2 e 3:

$$STF = \frac{M3 - M1}{V1} \quad (2)$$

$$STV = \frac{M2 - M3}{V1} \quad (3)$$

- **Determinação de sólidos em suspensão totais (SST)**

Inicialmente, dispuseram-se 6 membranas em cápsulas de porcelanas. O conjunto foi levado à estufa, onde permaneceu durante 24 horas, medindo-se sua massa após o resfriamento no dessecador (M4).

Retiraram-se 50mL de cada amostra (V2). Após isto, filtraram-se as amostras na membrana com o auxílio da bomba de vácuo para tornar mais rápido o processo de filtração. Depois, dispuseram-se as membranas em suas respectivas cápsulas. Estas foram levadas à estufa a 103°C, onde permaneceram por aproximadamente 24 horas, medindo-se a massa das cápsulas com a membrana após resfriamento no dessecador (M5).

Os sólidos em suspensão totais foram obtidos através da Equação 4:

$$SST = \frac{M5 - M4}{V2} \quad (4)$$

As determinações de ST, STF, STV e SST e foram feitas em duplicata.

- **Determinação de sólidos dissolvidos totais (SDT)**

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) são determinados a partir da diferença de valores entre os sólidos totais e os sólidos suspensos totais, conforme a Equação 5:

$$SDT = ST - SST \quad (5)$$

- **Determinação de sólidos sedimentáveis (SSed)**

A princípio, dispôs-se 1L da amostra coletada no Cone Imhoff. Passados 45 minutos, fez-se um giro de 360° no cone. Após 15 minutos, fez-se a leitura dos sólidos sedimentáveis.

- **Determinação do pH**

Para determinação do pH, foi utilizado o medidor de pH de bancada (GEHAKA PG 1400).

- **Determinação da turbidez**

Programando o Colorimeter Hach DR/980 para turbidez, foi possível medir este parâmetro de cada uma das amostras coletada em campo. Para isso, dispôs-se 20 mL de água destilada em um frasco de vidro e o encaixou no aparelho, para zerar sua turbidez e utilizar esse valor como parâmetro. Em seguida, em outro frasco, dispôs-se 20 mL da amostra, fazendo-se a leitura da sua turbidez.

- **Determinação da DQO**

A DQO foi determinada misturando-se 2,5mL de amostra bruta com 1,5mL de solução de dicromato de potássio e 3,5mL de ácido sulfúrico. A mistura foi feita em frascos de reação (tipo Hach). Após a adição dos reagentes, os tubos de reação foram tampados e levados para a digestão por duas horas. Em seguida, foi determinada a absorvância de cada amostra e a DQO foi calculada através de uma curva de calibração.

- **Correlação entre DQO e DBO**

Com base no trabalho elaborado por Scalize et al. (2004), foi utilizada a Equação 6 para determinar o valor de DBO em função da DQO.

$$DBO (mg.L^{-1}) = 0,4494xDQO + 26,094 \quad (6)$$

4.4 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados obtidos, foi utilizada a ferramenta *box-plot*. Este recurso resume os dados, exibindo sua mediana, quartis e extremos máximos e mínimos. Dessa forma, permite apresentar valores centrais, dispersões e existência ou não de *outliers*, que são valores atípicos que podem subestimar ou superestimar a análise (VALLADARES NETO et al., 2017).

O gráfico é elaborado com base no valor mínimo, 1º quartil (Q1), mediana, terceiro quartil (Q3) e valor máximo. Os *outliers* são representados com base na amplitude interquartil que significa a diferença entre Q3 e Q1. Logo, pode-se utilizar essa estimativa de variabilidade para calcular o limite superior e limite inferior para

identificação de *outliers*. Isto é, quaisquer valores abaixo do limite inferior ou acima do limite superior são considerados *outliers* (BARBOSA, 2019).

Esta técnica foi utilizada para calcular a média, desconsiderando os *outliers* para seu cálculo, dos parâmetros: DQO, sólidos totais (fixos e voláteis), sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e sólidos sedimentáveis.

4.5 Eficiência da ETE

A eficiência de remoção dos poluentes em cada etapa do tratamento é determinada pela Equação 7:

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad (7)$$

em que:

E: eficiência de remoção (%);

C₀: concentração afluyente do poluente (mg/L);

C_e: concentração efluente do poluente (mg/L);

Essa fórmula foi utilizada para a determinação da eficiência de remoção de sólidos e de DQO do reator UASB, do valo de oxidação e da ETE como um todo.

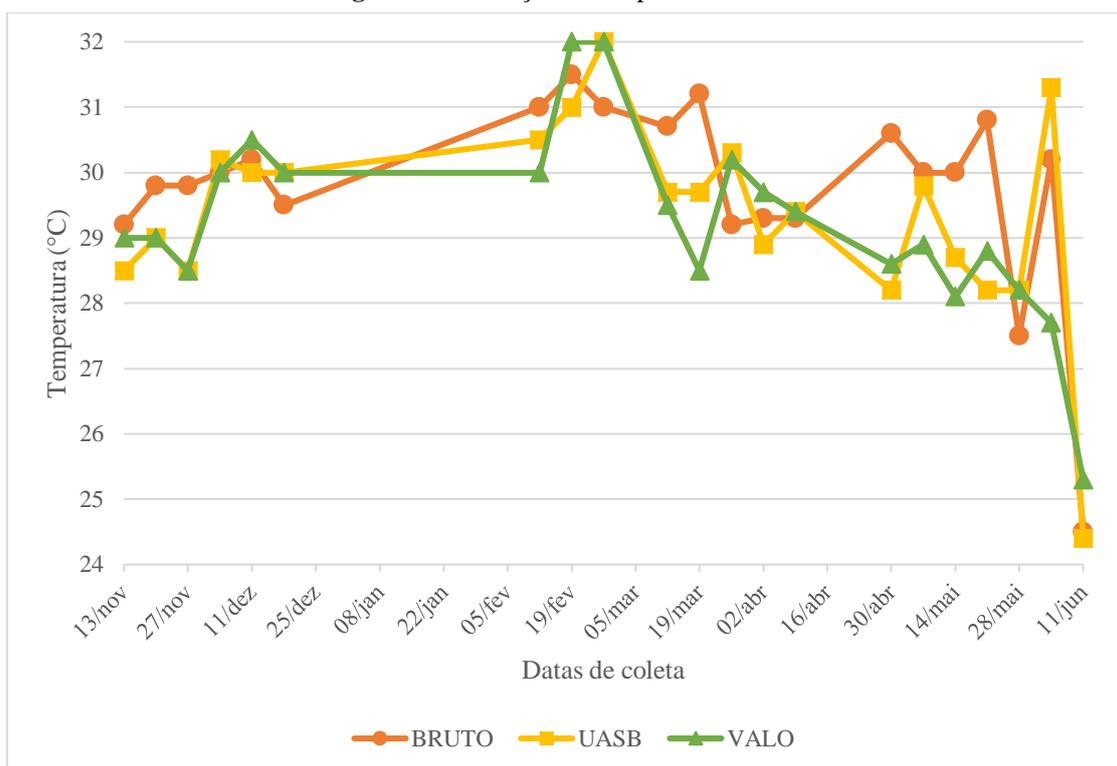
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados coletados, foi possível avaliar o desempenho das unidades de tratamento da ETE da UFS, *campus* de São Cristóvão, através do monitoramento das características do afluente e efluente da estação e da sua eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica.

5.1 Análises físico-químicas

Na Figura 12, observa-se que, no ponto de coleta do esgoto bruto, a temperatura variou de 24,5 a 31,5°C. No UASB, a variação média de temperatura esteve entre 24,4 e 32°C. Já no valo de oxidação, a temperatura variou entre 21,7 e 32°C. Assim, observou-se uma grande variabilidade térmica nos pontos de coleta durante os meses de monitoramento, possivelmente porque todos estes pontos encontram-se descobertos e sujeitos à ação de intempéries.

Figura 12 - Variação da temperatura da ETE



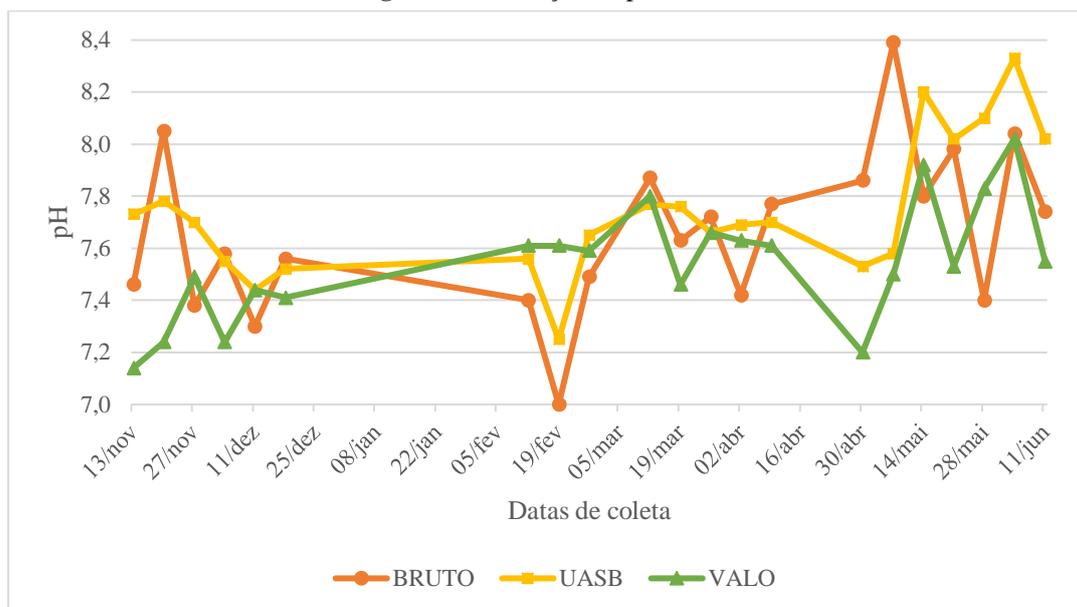
Fonte: Autora (2019)

Lopes (2015) confirma que a temperatura ótima para as atividades bacterianas ocorre entre 25 e 35°C. Portanto, ao longo do período de análise, a temperatura do efluente esteve dentro da faixa adequada para operação da ETE e para as atividades biológicas das bactérias, com exceção de um registro no mês de junho em que as

temperaturas apresentaram-se abaixo da normalidade, provavelmente devido à chegada do período de inverno na região.

Segundo a Figura 13, tanto o esgoto bruto, quanto o efluente do UASB e do valo de oxidação apresentaram pH levemente alcalinos, variando de 7 a 8,39. De acordo com Campos et al. (2006) e Van Haandel e Lettinga (1994), esta faixa de variação demonstra boa condição de tamponamento, isto é, a capacidade do meio de neutralizar os ácidos.

Figura 13 - Variação do pH da ETE



Fonte: Autora (2019)

Constata-se também que os parâmetros de pH e temperatura também obedecem aos limites máximos estabelecidos pela Resolução n° 430/2011 do CONAMA, de acordo com a Tabela 3.

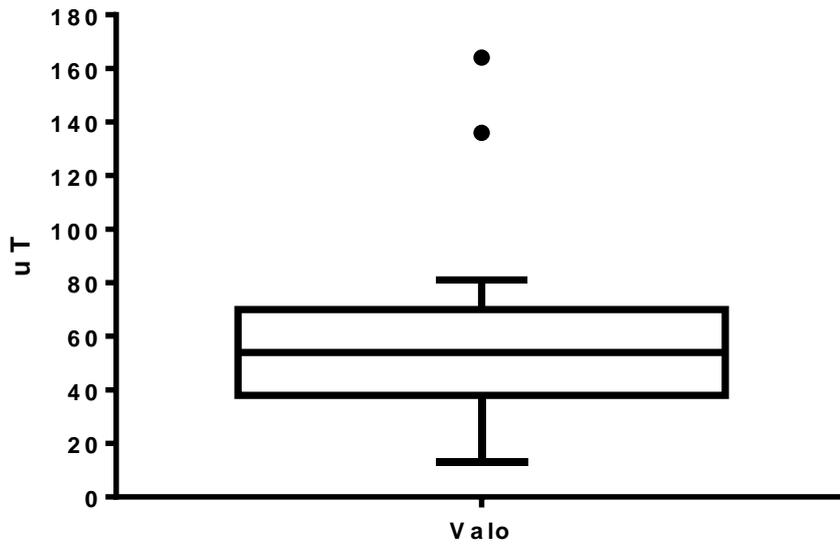
Tabela 3 - Comparativo da normalização com os valores obtidos no efluente

| Parâmetros | Valores máximos da CONAMA n° 430/2011 | Efluente da ETE |
|------------------|---------------------------------------|-----------------|
| pH | 5 - 9 | 7,14 - 8,02 |
| Temperatura (°C) | 39 | 21,7 - 32 |

Fonte: Autora (2019)

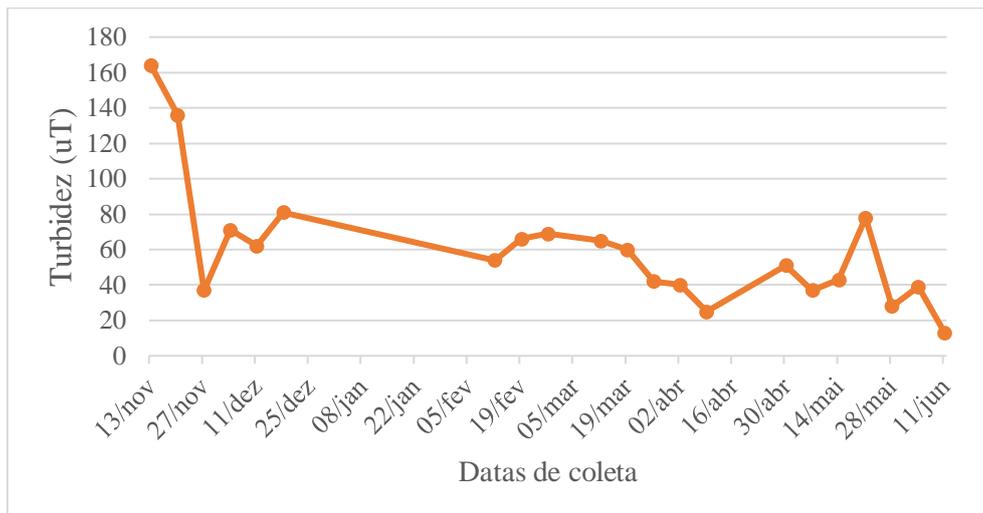
Conforme o gráfico de *box-plot* na Figura 14, nota-se que, durante o período de monitoramento, os valores de turbidez do efluente da estação variaram em torno de 13 a 81 uT, com registros pontuais de desconformidade somente no mês de novembro, segundo a Figura 15. De acordo com estudos elaborados por Toso (2005) e Pinto (2013), uma alternativa para remoção de turbidez é a utilização de coagulantes, como o sulfato de alumínio.

Figura 14 – Box-plot da turbidez do efluente da ETE



Fonte: Autora (2019)

Figura 15 - Variação da turbidez do efluente da ETE



Fonte: Autora (2019)

5.2 Análise dos sólidos

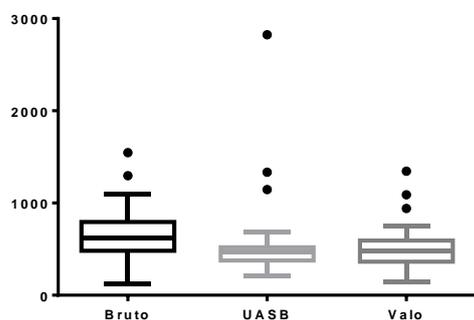
Para a construção dos gráficos de *box-plot* dos sólidos analisados, mostrados nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20 e 21, foram necessários os valores máximos e mínimos, 1º quartil (Q1), mediana e 3º quartil (Q3) que se encontram na Tabela 4. A partir de então foi possível identificar os *outliers* e calcular uma nova média para os parâmetros.

Tabela 4 - Variáveis estatísticas dos gráficos *box-plot* dos sólidos

| Parâmetros | | Valor mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Valor máximo |
|------------------|------|--------------|-----|---------|-----|--------------|
| Esgoto bruto | ST | 122 | 488 | 617 | 795 | 1546 |
| | SST | 2 | 56 | 102 | 182 | 368 |
| | STF | 26 | 259 | 332 | 462 | 842 |
| | STV | 66 | 192 | 293 | 353 | 1071 |
| | SDT | 56 | 364 | 540 | 673 | 1178 |
| | SSed | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,4 | 9,0 |
| Efluente do UASB | ST | 212 | 377 | 481 | 527 | 2824 |
| | SST | 4 | 20 | 46 | 60 | 286 |
| | STF | 70 | 172 | 258 | 342 | 684 |
| | STV | 14 | 144 | 223 | 260 | 2518 |
| | SDT | 242 | 362 | 447 | 534 | 2702 |
| | SSed | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 8,5 |
| Efluente do valo | ST | 144 | 363 | 482 | 593 | 1344 |
| | SST | 5 | 43 | 65 | 120 | 414 |
| | STF | 18 | 146 | 288 | 356 | 676 |
| | STV | 67 | 147 | 212 | 278 | 674 |
| | SDT | 193 | 349 | 407 | 542 | 1006 |
| | SSed | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 3,0 | 16,0 |

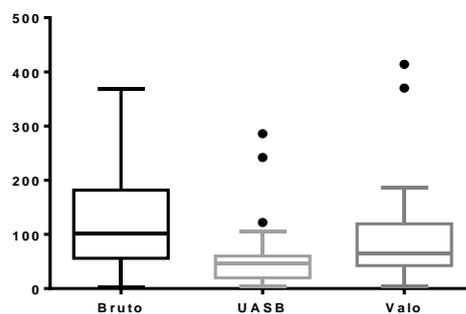
Fonte: Autora (2019)

Figura 16 - *Box-plot* sólidos totais (mg/L)



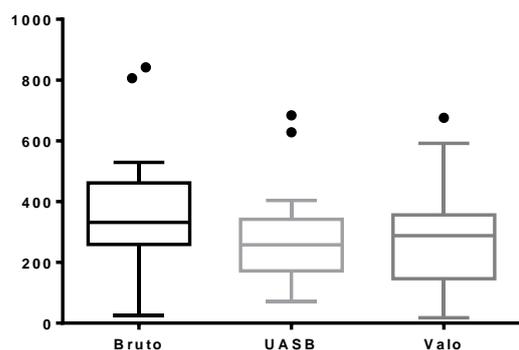
Fonte: Autora (2019)

Figura 17 - *Box-plot* sólidos suspensos (mg/L)



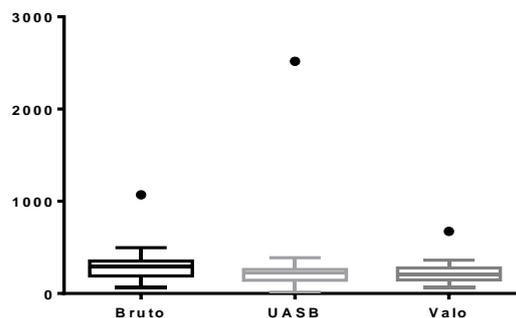
Fonte: Autora (2019)

Figura 18 - Box-plot sólidos totais fixos (mg/L)



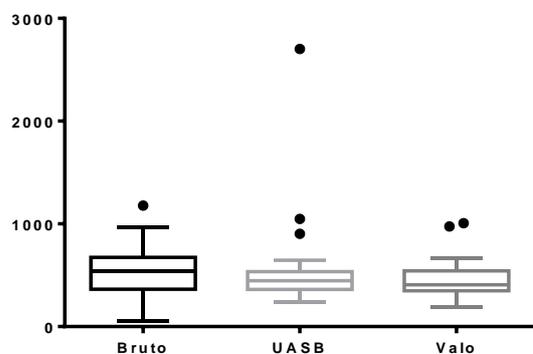
Fonte: Autora (2019)

Figura 19 - Box-plot sólidos totais voláteis (mg/L)



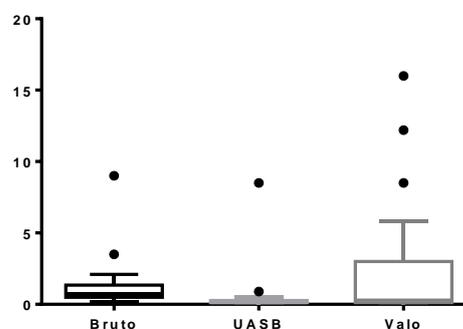
Fonte: Autora (2019)

Figura 20 - Box-plot sólidos dissolvidos (mg/L)



Fonte: Autora (2019)

Figura 21 - Box-plot sólidos sedimentáveis (mg/L)



Fonte: Autora (2019)

Ao calcular-se a média aritmética da concentração de sólidos, desconsiderando os *outliers*, obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Concentração média dos sólidos analisados

| Parâmetros | Esg. Bruto | Efluente do UASB | Efluente da ETE |
|-------------|------------|------------------|-----------------|
| ST (mg/L) | 600 | 443 | 452 |
| SST (mg/L) | 125 | 41 | 71 |
| STF (mg/L) | 326 | 241 | 263 |
| STV (mg/L) | 269 | 200 | 212 |
| SDT(mg/L) | 507 | 437 | 415 |
| SSed (ml/L) | 0,8 | 0,1 | 0,9 |

Fonte: Autora (2019)

De acordo com Lima (2013), o acúmulo de SST (sólidos suspensos totais) em efluentes anaeróbios, devido à ascensão da camada de lodo, causa o aumento destes sólidos no efluente. Estudos confirmam que a concentração de SST em reatores anaeróbios se encontra na faixa de 50 a 100mg/L. Na Figura 17, observa-se que a concentração dos SST no reator UASB encontrava-se próximo à faixa ideal, com exceção

de alguns registros, e os valores de mediana e média apresentadas nas Tabelas 4 e 5 mostram-se semelhantes. Dutra et al. (2016), tratando efluentes de processamento de pescado em reatores UASB, obtiveram remoção de SST de 62%. Neste trabalho, a eficiência do reator UASB quanto à remoção de SST foi semelhante a do autor, com valor de 67,2%.

Analisando-se os teores de sólidos, verifica-se que os SST representam a menor parcela dos ST (sólidos totais) no efluente da ETE, isto é, a maior parte dos sólidos contidos nas amostras estava dissolvida.

Na Tabela 6, observa-se que a concentração de SST no efluente do valo de oxidação foi maior que no efluente do reator UASB, resultando em eficiência negativa. Tal fato pode ser atribuído à descontinuidade de aeração no valo de oxidação, o que impede a adequada remoção do lodo.

Tabela 6 -Eficiência na remoção de sólidos

| Parâmetros | Eficiência (%) | | |
|-------------|----------------|------------------|------|
| | Reator UASB | Valo de oxidação | ETE |
| ST | 26,0 | -2,0 | 24,5 |
| SST | 67,2 | -73,3 | 43,2 |
| STF | 26,1 | -9,0 | 19,5 |
| STV | 25,5 | -6,0 | 21,0 |
| SDT | 13,8 | 5,0 | 18,2 |
| SSed | 84,0 | -565,4 | -6,4 |

Fonte: Autora (2019)

Com relação aos ST (sólidos totais), consta-se uma redução de 26% da sua concentração após o reator UASB, comparando com o esgoto bruto. No entanto, no valo de oxidação, houve um aumento de 2%. Este aumento evidencia, novamente, o mau funcionamento dessa unidade de tratamento. A partir dessas informações, conclui-se que a eficiência da ETE quanto à remoção de ST é de 24,5%, considerada baixa, já que em outras estações de tratamento de esgoto, essa eficiência alcança níveis maiores que 70% (CAMPOS et al., 2006).

Os sólidos dificultam a penetração da luz solar nos recursos hídricos, a manutenção da vida aquática e provocam o aquecimento da água e, conseqüentemente, reduzem os níveis de oxigênio dissolvido no meio (CRIZEL; PRADO, 2017). Segundo Silva e Oliveira (2001) e Braile e Cavalcanti (1993), os sólidos sedimentáveis representam a parcela de sólidos suspensos que pode ser retida por decantação simples e ao serem despejados em corpos hídricos possibilitam a formação de lodo. O teor médio

de SSed no efluente da ETE corresponde a 0,9 ml/L que está em conformidade com o limite estabelecido pela Resolução do CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011) de 1 ml/L.

O monitoramento do tratamento de efluentes e a avaliação da eficiência de uma ETE podem ser realizados com o monitoramento dos teores de STF (sólidos totais fixos) e STV (sólidos totais voláteis), devido à associação entre matéria orgânica e STV. Por isso a remoção de matéria orgânica também pode ser estimada pela remoção de sólidos voláteis (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

No afluente, os STV, mantiveram-se na faixa de 269 mg/L, e no efluente o valor médio de STV foi 212 mg/L, concentrações superiores a encontradas por Tachini et al. (2002) em seu estudo com esgoto sanitário bruto. Já o valor médio de STF, que corresponde ao material inorgânico, no afluente foi 326 mg/L e 263 mg/L no efluente. Percebe-se que o efluente apresentou proporções semelhantes de STV e STF. A eficiência na remoção de STF e STV foi de 19,5% e 21%, respectivamente. Porém Campos et al. (2006) sugerem uma redução de 29% de sólidos totais fixos e 85% de sólidos totais voláteis.

Metcalf & Eddy (2003) caracterizam os esgotos domésticos conforme as concentrações de sólidos, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Concentrações típicas de frações de sólidos em esgotos domésticos

| Características | Forte | Médio | Fraco |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| ST (mg/L) | 1230 | 720 | 390 |
| SST (mg/L) | 605 | 350 | 185 |
| STF (mg/L) | 655 | 360 | 205 |
| STV (mg/L) | 400 | 210 | 120 |
| SDT (mg/L) | 860 | 500 | 270 |

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003)

Comparando as Tabelas 5 e 7, conclui-se que o esgoto bruto da ETE possui características predominantes de esgoto médio a fraco, segundo as concentrações médias de sólidos.

5.3 Análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Tabela 8, encontram-se os valores mínimos, Q1, mediana, Q3 e valores máximos de cada conjunto de dados calculados para construção do gráfico *box-plot*.

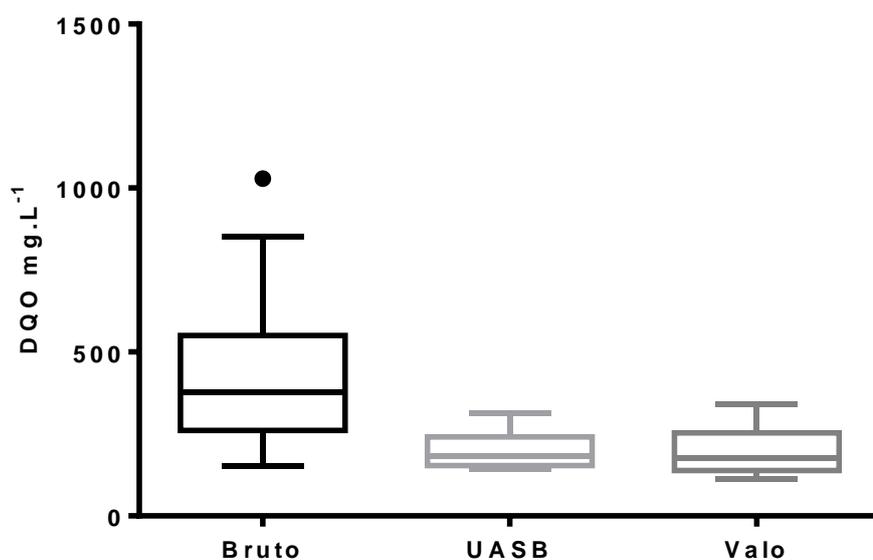
Tabela 8 - Variáveis estatísticas dos gráficos *box-plot* da DQO

| Variáveis | DQO total (mg.L ⁻¹) | | |
|--------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| | Esgoto bruto | Efluente do UASB | Efluente do valo |
| Valor mínimo | 152,0 | 141,7 | 113,5 |
| Q1 | 260,5 | 154,4 | 138,5 |
| Mediana | 375,6 | 183,9 | 174,9 |
| Q3 | 550,0 | 241,4 | 253,5 |
| Valor máximo | 1028,8 | 312,9 | 341,1 |

Fonte: Autora (2019)

No total, foi encontrado somente um *outlier* referente à DQO total do esgoto bruto, o qual está representado na Figura 22 através de um ponto.

Figura 22 - *Box-plot* DQO total (mg.L⁻¹)



Fonte: Autora (2019)

De acordo com a Figura 22, nota-se que houve uma maior variação dos dados da DQO total do esgoto bruto. Estes dados possuem uma variabilidade significativa, valores alternando entre 152 a 1029 mg.L⁻¹. Além disso, observa-se que os resultados possuem comportamentos relativamente assimétricos da caixa do gráfico com relação às medianas nas três situações, o que faz com que a média não seja tão próxima a esse valor.

Desconsiderando o *outlier* encontrado no esgoto bruto, os valores médios de DQO, obtidos durante as análises laboratoriais, são representados pela Tabela 9.

Tabela 9 - DQO total média (mg.L⁻¹)

| DQO TOTAL média (mg.L⁻¹) | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|
| Esgoto bruto (Afluente da ETE/ afluente do UASB) | Efluente do UASB | Efluente da ETE |
| 397 | 202 | 197 |

Fonte: Autora (2019)

Com base na correlação entre DQO e DBO elaborada por Scalize et al. (2004) em seu trabalho sobre a ETE – Bueno que emprega o processo de lodos ativados seguidos de filtração e desinfecção, o efluente da ETE da UFS tem DBO equivalente a 115 mg.L⁻¹. Logo, conclui-se que este efluente atende aos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), em que o valor máximo de DBO deve ser de até 120 mg.L⁻¹.

Ainda, comparando os valores obtidos durante a coleta com os valores do projeto da Estação, nota-se uma incoerência entre a eficiência observada e a eficiência projetada quanto à remoção de DQO no reator UASB. De acordo com o Relatório de Andamento de Projeto Nº 02/2011, a eficiência na remoção de DQO deveria estar entre 60 a 80%. No entanto, atualmente, o reator anaeróbio degrada somente 49,3% da matéria orgânica presente no afluente, de acordo com a Tabela 10. Tal fato pode ser atribuído à baixa concentração de micro-organismos para degradação de matéria orgânica. Um estudo elaborado por Aisse et al. (2000) analisou a eficiência de um reator UASB no tratamento de esgoto sanitário que atingiu eficiência de 70% na remoção de DQO.

Tabela 10 - Eficiência na remoção de DQO

| Reator/Estação | Eficiência (%) |
|-----------------------|-----------------------|
| UASB | 49,3 |
| Valo | 2,4 |
| ETE | 50,5 |

Fonte: Autora (2019)

Outro fator a ser observado é a descontinuidade do funcionamento do valo de oxidação. Como citado anteriormente, o valo funciona de forma intermitente ou em regime de batelada. Como este é um reator aeróbio, a falta de oxigênio pode influenciar no desempenho da microbiota do reator e na degradação da matéria orgânica.

Apesar da intermitência ser um requisito do projeto da estação, o reator passa mais tempo desligado do que ligado – segundo um dos operadores da estação, os aeradores funcionam em torno de 2 horas no período da manhã e 2 horas no período da tarde.

O valo de oxidação apresentou eficiência de apenas 2,4%. Conforme o trabalho elaborado por Moraes e Fonseca (2013), um sistema de lodo ativado por aeração prolongada pode atingir eficiência de remoção de DQO de 90%, quando em funcionamento adequado.

6 CONCLUSÃO

Com base no trabalho realizado, constatou-se que os parâmetros de pH e temperatura apresentavam variação dentro da faixa adequada para a atividade biológica das bactérias e atendem à legislação ambiental vigente. Já a turbidez variou entre 13 e 81 uT durante o período de monitoramento.

O reator UASB apresentou eficiência de remoção de SST de 67,2%, semelhante aos valores encontrados em outros estudos. No entanto, o valo de oxidação mostrou eficiência negativa para remoção destes sólidos, o que pode ser atribuído à descontinuidade de aeração neste sistema.

Quanto aos ST, seu teor diminui no UASB, porém aumenta cerca de 2% no valo de oxidação, fazendo com que a ETE remova apenas 24,5% destes sólidos.

Conclui-se também que a maior parte dos sólidos se encontravam dissolvidos, pois os SST representavam a menor parcela dos ST.

Com relação aos SSed, sua concentração média no efluente esteve de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução n° 430/2011 do CONAMA.

Quanto aos STF e STV, a ETE atingiu eficiência de 19,5% e 21%, respectivamente.

A partir da análise do teor de sólidos, afirma-se que o afluente da ETE possui características de esgoto médio a fraco.

O reator UASB apresenta desempenho abaixo do que foi projetado, removendo apenas 49,3% de DQO. Já o valo de oxidação obteve eficiência de apenas 2,4%. Apesar da baixa eficiência dos reatores quanto a remoção de DQO, o efluente final da ETE possui DBO equivalente a 115 mg.L⁻¹, atendendo ao limite máximo de 120 mg.L⁻¹ estabelecido pela Resolução n° 430/2011 do CONAMA para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Por fim, conclui-se que o efluente produzido pela ETE do *campus* São Cristóvão da UFS ainda apresenta riscos à saúde pública e aos corpos d'água onde serão lançados, pois o sistema de tratamento ainda não possui desempenho adequado para remoção de sólidos e de matéria orgânica.

7 PERSPECTIVAS DE FUTUROS TRABALHOS

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se:

- Dar continuidade a esta pesquisa, visando encontrar alternativas para melhorar o desempenho da ETE;
- Avaliações sobre a operação e manutenção da ETE;
- Estudos sobre o projeto e dimensionamento de cada uma das unidades de tratamento;
- Estudos adicionais sobre a concentração de micro-organismos para degradação de matéria orgânica no reator UASB;
- Estudos sobre o tempo de funcionamento do aerador no valo de oxidação, uma vez que este sistema funciona de forma intermitente e sem a existência de um decantador.

8 OUTRAS ATIVIDADES

Participação na atividade de extensão “Orientações para a Iniciação Científica: Relatórios, Bases de Dados, Publicações, Pós-Graduação” oferecida pela Coordenação de Pesquisa - COPES para alunos de iniciação científica, durante a V Semana Acadêmica - SEMAC da UFS.

Aprovação e apresentação dos trabalhos “Avaliação da eficiência do tratamento do efluente da ETE – UFS” e “Monitoramento do TDH e sólidos grosseiros da ETE da UFS” no XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe - ENREHSE realizado de 18 a 22 de março de 2019 em São Cristóvão, Sergipe.

9 JUSTIFICATIVA DE ALTERAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO

Inicialmente, estava previsto que as coletas e as análises fossem iniciadas em setembro. No entanto, por falta de recursos financeiros para compra de reagentes para o laboratório, essa etapa só foi iniciada em novembro, com a determinação de alguns parâmetros. Além disso, as análises de DQO só começaram a ser realizadas a partir de fevereiro, devido à falta dos materiais necessários.

Ao longo de todo o mês de janeiro, não foi feita nenhuma coleta, pois todos os funcionários estavam de férias e a ETE passou por um período de manutenção. As análises também foram interrompidas durante duas semanas do mês de abril, pois a estufa estava indisponível para uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. **ABNT NBR 9648: Estudos de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro. ABNT, 1986.

AISSE, Miguel Mansur et al. Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbio compartimentado sequencial no tratamento de esgoto sanitário. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABES, 2000, p. 9.

ALMEIDA, Thiago Castro De et al. Eficiência de um reator UASB na redução de carga orgânica e na produção de biogás, tendo vinhaça como substrato. In: XV Congresso Brasileiro de Energia, 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2013.

ANDRADE, Greycy. **Municípios sofrem com a falta de saneamento básico**. Sergipe, 2018. Disponível em: <<http://www.jornaldacidade.net/cidades/2018/07/301950/municipios-sofrem-com-a-falta-de-saneamento-basico.html>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012.

AQUINO, Vicente. Sistemas de desinfecção de efluentes: um desafio para o século XXI. **Revista TAE**, São Paulo, ano 3, ed. 17, fevereiro/março 2014.

BARBOSA, Taísa Andrade. **Produção de energia renovável a partir do biogás em empreendimentos habitacionais: análise técnica, econômica e ambiental visando o desenvolvimento urbano sustentável**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2019.

BARROS, Rodrigo. **A história do saneamento básico no Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.rodoinside.com.br/a-historia-do-saneamento-basico-no-brasil/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

BRAILE, Pedro Marcio; CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, [2005]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília: Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos, [2007]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, [2011]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; CARMO, Fernanda Ribeira do; Botelho, Cláudio Gouvêa; COSTA, Claudinor Camilo da. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 140–147, 2006.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Belo Horizonte: DESA, UFMG, 1997. v. 5.

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

CHERUBINI, Cristina. **Secagem e higienização do lodo de esgoto anaeróbio em leitos de secagem através da solarização.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CRIZEL, Marcelo Guerreiro; PRADO, Ana Cláudia Lara. Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada e uma Universidade Federal: questão de gestão ambiental. In: X Congresso de Administração, Sociedade e Inovação, Petrópolis, 2017. **Anais [...]**. Petrópolis: Even3, 2017.

DUTRA, Joyce da Cruz Ferraz et al. Análise do desempenho de reator anaeróbio UASB no tratamento de efluentes de processamento de pescado. In: I Congresso Brasileiro de Microbiologia Agropecuária, Agrícola e Ambiental (CBMAAA), Jaboticabal, n. 1, 2016. **Anais [...]**. Jaboticabal: FATEC-JB, v. 8, Número Especial, 2016.

FAEDO, Andreia. **Tecnologias convencionais e novas alternativas para o tratamento de efluentes domésticos.** 2010. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

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

FIORUCCI, Antônio Rogério; BENEDETTI FILHO, Edemar. A importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. **Revista Química Nova Escola**, São Paulo, 2005.

GIORDANO, Gandhi. **Apostila: Tratamento e controle de efluentes industriais.** Rio de Janeiro, 2011.

GUIMARÃES, José; NOUR, Edson. Tratando nossos esgotos: Processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, 2001.

ITB, Instituto Trata Brasil. **Esgoto**. 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-mundo/esgoto>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.

LIMA, Emanuela. **Avaliação da remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos em reatores UASB e híbrido**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2013.

LOPES, Thiara Reis. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbico e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**. 2015. Tese (Dissertação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

MEDEIROS, Raphael Corrêa; DANIEL, Luiz Antonio. Cloração de esgoto sanitário: variação de cloro residual e o uso de parâmetros facilmente mensuráveis na indicação de breakpoint. **Revista DAE**, São Paulo: SABESP, v. 65, n. 206, p. 87–98, 2017.

MELLO, Edson. **Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG**. 2007. Tese (Monografia) - UNIMINAS, Uberlândia, 2007.

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

MENEZES, Itamires Santos De. **Avaliação do Tratamento Preliminar da Estação de Tratamento de Efluentes do Campus de São Cristóvão da UFS**. 2016. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw Hill, 2003.

MORAIS, Ruiteir Lima; FONSECA, Yara Vanessa Portuguese. Avaliação da remoção de DQO e DQO da água residuária de uma indústria farmacocômica empregando o processo de lodos ativados por aeração prolongada. **Revista eletrônica de educação da Faculdade de Araguaia**, Araguaia, v. 4, n. 4, 2013.

NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

NUVOLARI (COORD.), Arivaldo. **Esgoto Sanitário: Coleta, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher: FATEC, 2011.

OLIVEIRA, Aline. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP: avaliação da remoção de metais pesados**. 2006. Tese (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2006.

OLIVEIRA, Rui De; SILVA, Salomão Anselmo. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande. 2001.

PEREIRA, Ana Luísa; VIMIEIRO, Gisele Vidal; PRADO, Felipe Vigato. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes de um laticínio do estado de Minas Gerais. In: IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cruz das Almas, 2016.

PINTO, André Hoffmann. **Remoção de turbidez em esgoto doméstico utilizando coagulante orgânico**. 2013. Tese (Monografia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006**. Nova York, Estados Unidos. 2006.

POMPÊO, Marcelo et al. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2016.

RODRIGUES, Mateus Fonseca. **Avaliação da Eficiência de Coagulantes e Floculantes na Remoção de Fósforo em Efluentes de Frigorífico de Suínos**. 2016. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Pelotas: Centro de Engenharias, Pelotas, 2016.

SANTOS, André Bezerra Dos. **Avaliação Técnica de Sistemas de Tratamento de Esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

SCALIZE, Paulo Sérgio et al. Correlação entre os valores de DBO e DQO no afluente e efluente de duas ETES da cidade de Araraquara. **Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento. Saneamento ambiental**, Rio Grande do Sul, n. 1, p. 13, 2004.

SILVIANO, Matheus. **Avaliação do dimensionamento do sistema de tratamento de esgotos do campus Prof. José Aloísio de Campos - UFS**. 2017. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

TACHINI, Mário; BELLI FILHO, Paulo; PINHEIRO, Adilson. Avaliação do tratamento conjunto de lodo de tanques sépticos e esgotos domésticos em um RALF. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SIBESA. Vitória, 2002. **Anais [...]**. ABES: Rio de Janeiro, 2002.

TENEDINI, Marcos Vinícius. **Avaliação da eficiência do tratamento biológico, tipo lodo ativado, de uma indústria de laticínio**. 2016. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) – Centro Universitário: UNIVATES, Lajeado, 2016.

TOSETTO, Mariana de Salles. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

VALLADARES NETO, José et al. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontológica do Brasil**, p. 6, 2017.

VAN HAANDEL, Adrianus C.; LETTIINGA, Gatz F. **Tratamento anaeróbio de esgoto. Um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1994.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018. a. v. 1.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos domésticos.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018. b. v. 2.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de novembro / 2018

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|------|------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|------|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 13/11/2018 | Esg. bruto | 29,0 | 7,46 | 104 | 1296 | 1100 | 1,00 | 326 | 336 | - | - | - | - | 970 | 764 |
| | Eflu. UASB | 28,5 | 7,73 | 50 | 1146 | 1334 | 0,10 | 242 | 286 | - | - | - | - | 904 | 1048 |
| | Eflu. valo | 29,0 | 7,14 | 164 | 940 | 1344 | 16,00 | 414 | 370 | - | - | - | - | 626 | 974 |
| 20/11/2018 | Esg. bruto | 30,0 | 8,05 | 90 | 612 | 680 | 1,50 | 42 | 76 | 300 | 408 | 312 | 272 | 570 | 604 |
| | Eflu. UASB | 29,0 | 7,78 | 45 | 508 | 492 | 0,15 | 54 | 38 | 402 | 234 | 106 | 258 | 454 | 454 |
| | Eflu. valo | 29,0 | 7,24 | 136 | 596 | 642 | 12,20 | 186 | 160 | 250 | 352 | 346 | 290 | 410 | 482 |
| 27/11/2018 | Esg. bruto | 30,0 | 7,38 | 152 | 816 | 822 | 0,70 | 222 | 216 | 474 | 472 | 342 | 350 | 594 | 606 |
| | Eflu. UASB | 28,5 | 7,70 | 55 | 506 | 530 | 8,50 | 60 | 32 | 270 | 346 | 236 | 184 | 446 | 498 |
| | Eflu. valo | 28,5 | 7,49 | 37 | 516 | 480 | 0,30 | 50 | 66 | 320 | 368 | 196 | 112 | 466 | 414 |

Apêndice 2 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de dezembro / 2018

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|-----|------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 04/12/2018 | Esg. bruto | 30,0 | 7,58 | 105 | 624 | 626 | 0,50 | 60 | 86 | 336 | 378 | 288 | 248 | 564 | 540 |
| | Eflu. UASB | 30,0 | 7,55 | 38 | 368 | 432 | 0,00 | - | - | 172 | 142 | 196 | 290 | - | - |
| | Eflu. valo | 30,0 | 7,24 | 71 | 1090 | 454 | 5,80 | 84 | 54 | 416 | 234 | 674 | 220 | 1006 | 400 |
| 11/12/2018 | Esg. bruto | 30,0 | 7,30 | 138 | 802 | 886 | 1,40 | 102 | 142 | 418 | 506 | 384 | 380 | 700 | 744 |
| | Eflu. UASB | 30,0 | 7,44 | 45 | 608 | 584 | 0,00 | 60 | 50 | 344 | 238 | 264 | 346 | 548 | 534 |
| | Eflu. valo | 30,5 | 7,44 | 62 | 538 | 612 | 0,20 | 56 | 78 | 288 | 416 | 250 | 196 | 482 | 534 |
| 18/12/2018 | Esg. bruto | 29,5 | 7,56 | 78 | 480 | 446 | 0,50 | 2 | 136 | 290 | 76 | 190 | 370 | 478 | 310 |
| | Eflu. UASB | 30,0 | 7,52 | 49 | 424 | 486 | 0,10 | 16 | 4 | 178 | 268 | 246 | 218 | 408 | 482 |
| | Eflu. valo | 30,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Apêndice 3 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de fevereiro / 2019

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|-----|------------------------------|--------------------------|----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 12/02/2019 | Esg. bruto | 31.0 | 7.40 | 110 | 274 | 402 | 1.00 | 50 | 46 | 154 | 74 | 120 | 328 | 224 | 356 |
| | Eflu. UASB | 30.5 | 7.56 | 39 | 260 | 324 | 0.10 | 18 | - | - | - | - | - | 242 | - |
| | Eflu. valo | 30.0 | 7.61 | 54 | 366 | 348 | 0.10 | 26 | 12 | 146 | 18 | 220 | 330 | 340 | 336 |
| 19/02/2019 | Esg. bruto | 31.5 | 7.00 | 196 | - | - | 9.00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. UASB | 31.0 | 7.25 | 45 | - | - | 0.00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. valo | 32.0 | 7.61 | 66 | - | - | 0.30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 26/02/2019 | Esg. bruto | 31.0 | 7.49 | 135 | 524 | 608 | 0.70 | 110 | 58 | 26 | 246 | 498 | 362 | 414 | 550 |
| | Eflu. UASB | 32.0 | 7.65 | 41 | 398 | 458 | 0.30 | - | - | - | 70 | - | 388 | - | - |
| | Eflu. valo | 32.0 | 7.59 | 69 | 442 | 444 | 0.00 | 48 | - | 90 | 110 | 352 | 334 | 394 | - |

Apêndice 4 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de março / 2019

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|------|------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------------|------|-----------------------------------|------|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 12/03/2019 | Esg. bruto | 30.7 | 7.87 | 102 | 514 | 478 | 0.50 | 64 | 114 | 298 | 328 | 216 | 150 | 450 | 364 |
| | Eflu. UASB | 29.7 | 7.77 | 45 | 518 | 560 | 0.30 | 58 | 40 | 258 | 244 | 260 | 316 | 460 | 520 |
| | Eflu. valo | 29.5 | 7.80 | 65 | 440 | 506 | 0.50 | 70 | 54 | 248 | 294 | 192 | 212 | 370 | 452 |
| 19/03/2019 | Esg. bruto | 31.2 | 7.63 | 189 | 586 | 560 | 0.50 | 182 | 220 | 258 | 263 | 328 | 297 | 404 | 340 |
| | Eflu. UASB | 29.7 | 7.76 | 41 | 507 | 517 | 0.10 | 60 | 78 | 282 | 291 | 225 | 226 | 447 | 439 |
| | Eflu. valo | 28.5 | 7.46 | 60 | 468 | 483 | 0.10 | 116 | 80 | 256 | 255 | 212 | 228 | 352 | 403 |
| 26/03/2019 | Esg. bruto | 29.2 | 7.72 | 164 | 773 | 1546 | 3.50 | 244 | 368 | 430 | 475 | 343 | 1071 | 529 | 1178 |
| | Eflu. UASB | 30.3 | 7.66 | 39 | 425 | 469 | 0.50 | 64 | 52 | 202 | 325 | 223 | 144 | 361 | 417 |
| | Eflu. valo | 30.2 | 7.66 | 42 | 429 | 436 | 0.10 | 52 | 64 | 292 | 333 | 137 | 103 | 377 | 372 |

Apêndice 5 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de abril / 2019

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|-----|------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 02/04/2019 | Esg. bruto | 29.3 | 7.42 | 77 | - | - | 2.1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. UASB | 28.9 | 7.69 | 34 | - | - | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. valo | 29.7 | 7.63 | 40 | - | - | 0.1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 09/04/2019 | Esg. bruto | 29.3 | 7.77 | 42 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. UASB | 29.4 | 7.70 | 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Eflu. valo | 29.4 | 7.61 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30/04/2019 | Esg. bruto | 30.6 | 7.86 | 112 | 721 | 680 | 1.20 | 106 | 184 | 313 | 315 | 408 | 365 | 615 | 496 |
| | Eflu. UASB | 28.2 | 7.53 | 27 | 373 | 390 | 0.90 | 32 | 46 | 150 | 182 | 223 | 208 | 341 | 344 |
| | Eflu. valo | 28.6 | 7.20 | 51 | 331 | 355 | 3.00 | 116 | 162 | 153 | 124 | 178 | 231 | 215 | 193 |

Apêndice 6 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de maio / 2019

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|-----|------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 07/05/2019 | Esg. bruto | 30.0 | 8.39 | 84 | 722 | 721 | 0.6 | 18 | 48 | 516 | 529 | 206 | 192 | 704 | 673 |
| | Eflu. UASB | 29.8 | 7.58 | 53 | 432 | 368 | 0.1 | 6 | 6 | 342 | 306 | 90 | 62 | 426 | 362 |
| | Eflu. valo | 28.9 | 7.50 | 37 | 317 | 531 | 3.0 | 66 | 54 | 250 | 341 | 67 | 190 | 251 | 477 |
| 14/05/2019 | Esg. bruto | 30.0 | 7.80 | 88 | 482 | 494 | 0.2 | 182 | 152 | 348 | 348 | 134 | 146 | 300 | 342 |
| | Eflu. UASB | 28.7 | 8.20 | 53 | 2824 | 476 | 0.1 | 122 | 106 | 306 | 404 | 2518 | 72 | 2702 | 370 |
| | Eflu. valo | 28.1 | 7.92 | 43 | 750 | 498 | 0.3 | 148 | 130 | 388 | 364 | 362 | 134 | 602 | 368 |
| 21/05/2019 | Esg. bruto | 30.8 | 7.98 | 82 | 592 | 622 | 1.2 | 40 | - | 386 | 320 | 206 | 302 | 552 | - |
| | Eflu. UASB | 28.2 | 8.02 | 31 | 518 | 502 | 0.1 | - | - | 160 | 350 | 358 | 152 | - | - |
| | Eflu. valo | 28.8 | 7.53 | 78 | 522 | 578 | 8.5 | - | 14 | 340 | 356 | 182 | 222 | - | 564 |
| 28/05/2019 | Esg. bruto | 27.5 | 7.4 | 119 | 122 | 148 | 0.2 | 66 | 58 | - | - | - | - | 56 | 90 |
| | Eflu. UASB | 28.2 | 8.1 | 38 | 212 | 268 | 0.1 | - | - | 86 | 106 | 126 | 162 | - | - |
| | Eflu. valo | 28.2 | 7.83 | 28 | 162 | 190 | 0.1 | - | - | 50 | - | 112 | - | - | - |

Apêndice 7 - Resultados das análises físico-químicas para o mês de junho/ 2019

| Data de coleta | Amostra | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (uT) | Sólidos totais (mg/L) | | Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Sólidos suspensos (mg/L) | | Sólidos totais fixos (mg/L) | | Sólidos totais voláteis (mg/L) | | Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | |
|----------------|------------|------------------|------|---------------|-----------------------|-----|------------------------------|--------------------------|----|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | | | | A1 | A2 | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| 04/06/2019 | Esg. bruto | 30.2 | 8.04 | 109 | 842 | 806 | 0.2 | 128 | 97 | 766 | 740 | 76 | 66 | 714 | 709 |
| | Eflu. UASB | 31.3 | 8.33 | 36 | 628 | 684 | 0.1 | 30 | 38 | 614 | 662 | 14 | 22 | 598 | 646 |
| | Eflu. valo | 27.7 | 8.02 | 39 | 592 | 676 | 0 | 26 | 7 | - | - | - | - | 566 | 669 |
| 11/06/2019 | Esg. bruto | 24.5 | 7.74 | 54 | 510 | 486 | 0.7 | 39 | 56 | 254 | 240 | 256 | 246 | 471 | 430 |
| | Eflu. UASB | 24.4 | 8.02 | 31 | 372 | 344 | 0 | 20 | 16 | 144 | 180 | 228 | 164 | 352 | 328 |
| | Eflu. valo | 25.3 | 7.55 | 13 | 254 | 254 | 0 | 6 | 5 | 128 | 104 | 126 | 150 | 248 | 249 |

Apêndice 8 - Resultados das análises de DQO

| Data de coleta | Amostra | DQO (mg/L) | |
|----------------|------------|------------|--------|
| | | A1 | A2 |
| 12/02/2019 | Esg. bruto | - | - |
| | Eflu. UASB | - | - |
| | Eflu. valo | - | - |
| 19/02/2019 | Esg. bruto | 752.7 | 1028.8 |
| | Eflu. UASB | 251.6 | 223.5 |
| | Eflu. valo | 203.0 | 192.8 |
| 26/02/2019 | Esg. bruto | 852.4 | 415.2 |
| | Eflu. UASB | 249.0 | 177.4 |
| | Eflu. valo | 116.1 | 174.9 |

| Data de coleta | Amostra | DQO (mg/L) | |
|----------------|------------|------------|-------|
| | | A1 | A2 |
| 02/04/2019 | Esg. bruto | 269,5 | 208,1 |
| | Eflu. UASB | 157,0 | 162,1 |
| | Eflu. valo | 121,2 | 126,3 |
| 09/04/2019 | Esg. bruto | - | - |
| | Eflu. UASB | - | - |
| | Eflu. valo | - | - |
| 30/04/2019 | Esg. bruto | 366,6 | 453,5 |
| | Eflu. UASB | 151,9 | 215,8 |
| | Eflu. valo | 249,0 | 172,3 |

| Data de coleta | Amostra | DQO (mg/L) | |
|----------------|------------|------------|-------|
| | | A1 | A2 |
| 12/03/2019 | Esg. bruto | 333.4 | 384.5 |
| | Eflu. UASB | 251.6 | 200.4 |
| | Eflu. valo | 174.9 | 249.0 |
| 19/03/2019 | Esg. bruto | 402.4 | 353.8 |
| | Eflu. UASB | 310.4 | 238.8 |
| | Eflu. valo | 259.2 | 272.0 |
| 26/03/2019 | Esg. bruto | 543.0 | 571.1 |
| | Eflu. UASB | 187.7 | 233.7 |
| | Eflu. valo | 251.6 | 220.9 |

| Data de coleta | Amostra | DQO (mg/L) | |
|----------------|------------|------------|-------|
| | | A1 | A2 |
| 07/05/2019 | Esg. bruto | 410,1 | 346,2 |
| | Eflu. UASB | 167,2 | 141,7 |
| | Eflu. valo | 146,8 | 139,1 |
| 14/05/2019 | Esg. bruto | 576,3 | 578,8 |
| | Eflu. UASB | 154,4 | 228,6 |
| | Eflu. valo | 128,9 | 113,5 |
| 21/05/2019 | Esg. bruto | 256,7 | 261,8 |
| | Eflu. UASB | 180,0 | 154,4 |
| | Eflu. valo | 320,6 | 261,8 |
| 28/05/2019 | Esg. bruto | 443,3 | 297,6 |
| | Eflu. UASB | 269,5 | 312,9 |
| | Eflu. valo | 341,1 | 277,1 |

| Data de coleta | Amostra | DQO (mg/L) | |
|----------------|------------|------------|-----|
| | | A1 | A2 |
| 04/06/2019 | Esg. bruto | 244 | 254 |
| | Eflu. UASB | 149 | 147 |
| | Eflu. valo | 137 | 162 |
| 11/06/2019 | Esg. bruto | 206 | 152 |
| | Eflu. UASB | 154 | 172 |
| | Eflu. valo | 139 | 165 |