



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENATA CARLOS FREIRE

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS TIPO UASB-FSA

FORTALEZA

2018

RENATA CARLOS FREIRE

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS TIPO UASB-FSA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

Fortaleza

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F935a Freire, Renata Carlos.
Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgotos tipo UASB-FSA / Renata Carlos Freire. – 2018.
73 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.
1. Estação de Tratamento de Efluentes. 2. Saneamento Básico. 3. UASB. I. Título.

CDD 628

RENATA CARLOS FREIRE

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS TIPO UASB-FSA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental

Aprovado em ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheira, MEng. Maria Patrícia Sales Castro

Me. Romildo Lopes de Oliveira Filho
(Examinador externo)

“O único lugar onde o sucesso vem
antes do trabalho é no dicionário.”

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, pois, devido a Ele tudo isso foi possível.

Aos meus pais, José Freire e Socorro Carlos, que serviram de exemplo para que eu conseguisse meus objetivos e que sempre me deram todo o apoio nos principais momentos da vida.

Ao meu irmão, Ricardo Freire, que sempre me ajudou nos pequenos e grandes momentos durante toda a vida.

Ao meu namorado, Joel Barreto, pela compreensão e por sempre acreditar no meu potencial, e a sua família por todo o carinho.

Aos meus avós, tios, primos e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa tão importante para a minha vida.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), que proporcionou toda a estrutura e conhecimento necessários para que eu me torne uma profissional completa. A todos os professores pelos conhecimentos compartilhados, em especial aos professores Francisco de Assis, André Bezerra, Anderson Borghetti e Ronaldo Stefanutti, principalmente, ao meu orientador Fernando José que atenciosamente me ajudou nesse trabalho.

À Gerência de Controle e Desenvolvimento Energético e Operacional (GDOPE) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), por fornecer os dados necessários para a realização deste trabalho e, em especial à equipe que trabalha com controle operacional de esgoto, pelo apoio e carinho durante esses quase 12 meses de trabalho.

Aos amigos que fiz na UFC, em especial aos estudantes Bárbara, Jéssica, Leandro, Michel, Paula e Taís que tornaram essa jornada menos difícil e mais divertida.

A todos os membros da empresa Ciclo Jr., das gestões 2016 e 2017, pelo carinho e experiências que me fizeram crescer pessoal e profissionalmente.

A todos que trabalharam no LABOSAN, Laboratório de Saneamento da UFC, pelo aprendizado e apoio, principalmente nos anos de 2015 e 2016.

Aos participantes da banca examinadora, Me. Romildo Lopes e Eng. Patrícia Sales, pela disponibilidade de seu tempo para participar dessa banca.

RESUMO

Sistemas de tratamento de esgoto muitas vezes são negligenciados quanto à qualidade do efluente tratado. Muitos deixam de realizar o tratamento adequado por falta de monitoramento de seus desempenhos. O controle de estações de tratamento de efluentes é extremamente importante para garantir a qualidade dos corpos receptores, estando diretamente ligado à manutenção da saúde humana, auxiliando nos processos de gestão ambiental. Para isso, deve-se atender a limites determinados por normas específicas para cada parâmetro de qualidade dos efluentes tratados e Índice de conformidade, ambas com foco na não conformidade de um parâmetro ou conjunto de parâmetros. O principal objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de uma estação com tecnologia anaeróbia e aeróbia de tratamento e propor melhorias inerentes ao comportamento operacional. Um sistema fez parte do estudo, sendo a tecnologia UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) com FSA (filtro submerso aerado), em que quatro parâmetros de qualidade foram analisados: Demanda Química de Oxigênio, pH, *Escherichia coli* e Sólidos Suspensos Totais. Nos resultados obtidos, foi possível perceber que todas as médias dos parâmetros se apresentaram dentro do limite da legislação, entretanto, em alguns meses a *E. coli* não se apresentou dentro dos padrões. Além disso, foram utilizados indicadores de desempenho para quantificar a eficácia e eficiência do tratamento dentro dos recursos disponíveis como energia elétrica e produto desinfetante. Concluiu-se que os maiores custos nessa estação é a energia elétrica. Por fim, foram recomendados vários indicadores de desempenho para a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) implementar nos seus sistemas.

Palavras-chave: Qualidade de efluente. Indicadores de Desempenho. Índice de Conformidade.

ABSTRACT

Sewage treatment systems are neglected in relation to the quality of the treated effluent. Many fail to carry out adequate treatment due to the lack of monitoring of wastewater treatment plants. It is important to ensure the quality of the receiving bodies, to keep connected with the maintenance of human health and to assist in environmental management processes. For this, it is necessary to meet certain specific limits for each quality parameter of the treated effluents. and the same, of a parameter or set of parameters. The main objective of this work is to evaluate the efficiency of a station with anaerobic and aerobic treatment technology and propose improvements inherent to the operational behavior. One of the systems was part of the study, being a UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanked) technology with FSA (Aerated Submerged Filter), in which all the main quality indicators were state: COD, pH, E. coli and SST. The results obtained are similar, so a few months ago. In addition, performance indicators used to quantify the efficiency and processing capacity of energy and chemical product. In order to achieve the highest rates at this station is the electric power. Finally, several performance indicators will developing for the Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) in its systems.

Keywords: Quality of the Effluent. UASB. Conformity Index. Performance Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do esgoto doméstico.....	22
Figura 2 - Representação de tratamento em reator UASB	25
Figura 3 - Representação da ETE José Euclides	37
Figura 4 - Vista da entrada da Estação José Euclides.....	38
Figura 5 - Representação do caminho percorrido pelo afluente e efluente da ETE	39
Figura 6 - Tratamento Preliminar na ETE	40
Figura 7 - Visão do pavimento superior dos reatores UASB	41
Figura 8 - Vista superior do Filtro Submerso Aerado	42
Figura 9 - Vista superior do Decantador Lamelar	43
Figura 10 - Tanques de preparo de solução desinfetante.....	43
Figura 11 - Vista lateral do Tanque de Contato.....	44
Figura 12 - Vista lateral dos Leitões de Secagem	45
Figura 13 - Representação da ETE Brasília Norte	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição típica dos esgotos domésticos.....	22
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de reatores UASB em comparação a tratamentos aeróbios convencionais	27
Tabela 3 - Poluentes, parâmetros e eventuais efeitos adversos decorrentes de seu lançamento em corpos receptores	31
Tabela 4 - Indicadores de desempenho de várias organizações de saneamento.....	34
Tabela 5- Rotina Operacional das atividades da ETE em estudo.....	46
Tabela 6 - Enquadramento das classes considerando cada parâmetro	49
Tabela 7 - IDs utilizados nas ETEs do Distrito Federal	52
Tabela 8 - Indicadores de desempenho calculados na ETE José Euclides.....	53
Tabela 9 - Resultados das concentrações de DQO do afluente e efluente final	54
Tabela 10 - Estatística básica dos parâmetros pH, DQO, SST e E. coli do efluente tratado	59
Tabela 11 - Análise estatística da remoção de DQO	62
Tabela 12 - Índice de Conformidade para cada parâmetro.....	63
Tabela 13 - Comparação de parâmetros da literatura com valores da ETE	64
Tabela 14- Indicadores de desempenho de energia e de produto químico.....	66
Tabela 15 - Indicadores de desempenho relacionados aos custos operacionais.....	67
Tabela 16 - Comparação de parâmetros entre duas ETEs	69
Tabela 17 - Comparação entre indicadores de desempenho relacionados a eficiência operacional.....	70
Tabela 18- Indicadores de desempenho operacional para as estações do Ceará.....	72

SIGLAS E ABREVIACÕES

AWWA	American Water Works Association
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Carga Orgânica Volumétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FSA	Filtro Submerso Aerado
IC	Índice de Conformidade
ID	Indicadores de desempenho
IWA	International Water Association
M	Metros
Ph	Potencial Hidrogeniônico
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SWWA	Swedish Water & Wastewater Association
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
TDH	Tempo de detenção hidráulica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	JUSTIFICATIVA	19
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo Geral	20
3.2	Objetivos Específicos	20
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1	Saneamento	21
4.2	Tecnologias de tratamento de esgotos	23
4.3	Legislação Vigente	32
4.4	Indicador de desempenho	34
5	METODOLOGIA	36
5.1	Caracterização da ETE José Euclides	36
6	RESULTADOS OBTIDOS	54
6.1	Avaliação da eficiência da ETE e comparação com a legislação	54
<i>6.1.1</i>	<i>Avaliação da qualidade do efluente final</i>	54
<i>6.1.2</i>	<i>Relação da E. coli com o cloro residual livre</i>	60
<i>6.1.3</i>	<i>Avaliação da eficiência de remoção da DQO</i>	62
<i>6.1.4</i>	<i>Utilização da metodologia Índice de Conformidade</i>	62
6.2	Avaliação de parâmetros de funcionamento dos Reatores UASB	64
6.3	Indicadores de Desempenho da estação	66
6.4	Indicadores de Desempenho para estações do Ceará	71
7	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade de efluente tratado é de fundamental importância devido aos impactos que lançamento indiscriminado dos esgotos pode causar na saúde das pessoas e na qualidade dos corpos d'água.

A ausência do saneamento básico constitui um dos mais sérios problemas ambientais, implicando em prejuízos aos setores da saúde, social, econômico etc. Tendo em vista que o saneamento básico é indispensável para a manutenção da saúde pública, a implementação e o acesso aos serviços básicos estão intrinsecamente ligados à condição e ao bem-estar de uma população, determinando a sua qualidade de vida. Segundo Ferreira (2009), a grande deficiência de saneamento básico existente em nosso país, notadamente de serviços de coleta e tratamento dos esgotos domésticos, impõe a muitos brasileiros elevados riscos de exposição a organismos patogênicos presentes nestes resíduos e responsáveis pela disseminação de várias doenças de veiculação hídrica. Como apontado pela OMS (2013), visto que a cada R\$1,00 investido pelo governo em saneamento básico, o sistema de saúde economiza R\$4,00 no tratamento de doenças causadas pela ausência de tratamento de água e esgoto.

Para discriminar se o esgoto tratado pode trazer problemas para os corpos receptores foi criada a Resolução N° 02/2017 pela SEMACE, que dispõe sobre padrão estadual de lançamento de efluentes. Dentre os parâmetros de qualidade observados pela resolução, o presente trabalho buscou estudar os seguintes parâmetros: pH, Escherichia Coli e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST). O monitoramento da qualidade desses parâmetros é um dos procedimentos básicos para saber se o esgoto tratado atende, ou não, aos requisitos estabelecidos pela legislação.

Uma maneira de avaliar a qualidade do efluente tratado e a eficiência do tratamento é através de indicadores de desempenho. Segundo Matos et al. (2004), o uso de indicadores de desempenho pode ter como vantagens: obtenção de dados de referência consistente para a comparação do desempenho com outras entidades gestoras de sistemas de esgotos e para a identificação de áreas de atividade que necessitem de melhorias; apoio à formulação de políticas para o setor, de alocação de recursos, de investimentos e de desenvolvimento de novos instrumentos de regulação; obtenção de informação que contribua para a preservação dos interesses dos usuários a quem o serviço é prestado essencialmente em regime de monopólio, em particular para monitoramento do

cumprimento de metas contratuais de nível de serviço e verificação da adequação do desempenho ambiental através da comparação com valores de referência pré-estabelecidos. Neste trabalho serão sugeridos alguns indicadores para melhor desempenho das estações de tratamento do Ceará.

Uma maneira de avaliar a qualidade do efluente é empregando ferramentas estatísticas que permitam calcular a conformidade da qualidade do esgoto em relação aos parâmetros da legislação pelo sistema por meio dos resultados das análises das amostras coletadas. Para isso foi criado um Índice de Conformidade para facilitar o entendimento quanto a qualidade do produto final de uma ETE. As análises e comparações quanto a qualidade do tratamento serão realizadas em uma estação localizada no estado do Ceará, que se chama Estação de Tratamento de Esgotos José Euclides Ferreira Gomes e que é operada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE)

2 JUSTIFICATIVA

As Estações de Tratamento de Esgotos desempenham um papel importante desde a sua concepção até o destino final do efluente. Para que um sistema de tratamento seja eficiente e esteja em conformidade com os padrões de lançamento, faz-se necessário um acompanhamento operacional da ETE, bem como um monitoramento de resultados que quantifique e qualifique o esgoto, a fim de alcançar um desempenho operacional e uma boa eficiência no tratamento do sistema com resultados em conformidade com a legislação ambiental referente aos padrões de lançamento de efluentes.

No estado do Ceará, Nordeste do Brasil, a CAGECE (2018) opera 280 estações de tratamento de esgoto. Cerca de 40,58% é o índice de cobertura do sistema de esgotamento sanitário no Ceará e, aproximadamente 58,09%, esse mesmo índice para Fortaleza. Destas 280 ETEs, 53 possuem como tecnologia de tratamento o UASB e dessas estações com esse tratamento anaeróbio, 15 possuem as tecnologias de UASB e FSA sendo utilizadas em sequência. As quantidades de estações de tratamento com este último tipo de tecnologia tendem a crescer devido à eficiência de remoção de organismos patógenos e de matéria orgânica, utilizando uma pequena área e com baixo consumo energéticos. Devido a esses motivos é necessário o acompanhamento do desempenho desse tipo de tecnologia para que outras estações possam aumentar seu desempenho e que esse tipo de tratamento possa ser mais utilizado.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de uma estação com tecnologia anaeróbia e aeróbia de tratamento e propor melhorias inerentes ao comportamento operacional.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o sistema de tratamento;
- Avaliar a eficiência do tratamento, com base nos relatórios físico-químicos;
- Quantificar os principais custos no tratamento;
- Correlacionar os resultados das análises do efluente com padrões de legislação;
- Levantar os indicadores de desempenho referentes a estações de tratamento de esgotos utilizados por diversas organizações no âmbito nacional e internacional.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Saneamento

A lei nº 11.445, de acordo com Brasil (2007), estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, entende como esgotamento sanitário o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.

A partir do que foi definido como esgotamento sanitário, é possível definir o esgoto sanitário, de acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986), como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Esta mesma norma também define:

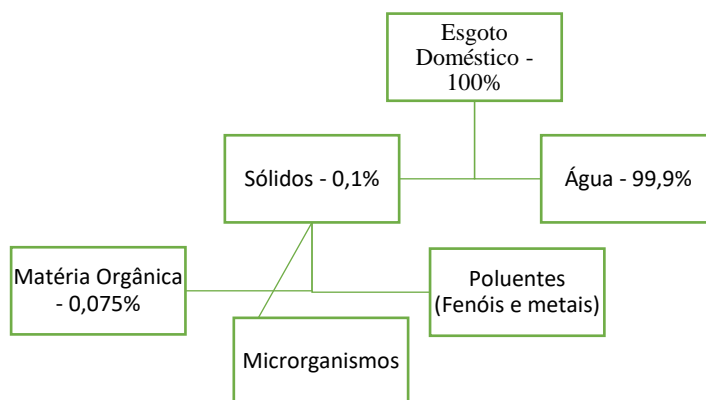
- a) Esgoto doméstico: Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- b) Esgoto industrial: Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos;
- c) Água de infiltração: Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- d) Contribuição pluvial parasitária: Parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário.

A ausência do saneamento básico constitui um dos mais sérios problemas ambientais, implicando em problemas nos setores da saúde, social e econômico. Tendo em vista que a sua importância é indispensável para a manutenção da saúde pública, a implementação e o acesso aos serviços básicos de saneamento estão intrinsecamente ligados à condição e ao bem-estar de uma população, determinando a sua qualidade de vida.

Além disso, o despejo de esgoto sanitário sem o devido tratamento pode causar eutrofização em rios e em lagos, contaminação de lençóis freáticos e mortalidade da fauna e da flora da região. Esses problemas ocorrem devido a composição do esgoto doméstico, que está representada pela Figura 1. Na Tabela 1 está representada a composição das águas

residuárias com variações de concentração para cada tipo de componente e mostrando-a de forma mais detalhada.

Figura 1- Composição do esgoto doméstico



Fonte: Nuvolari (2003).

Tabela 1 - Composição típica dos esgotos domésticos

Componente	Unidade	Concentração		
		Forte	Média	Fraca
Sólidos totais	mg/L	1200	720	350
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	850	500	250
Sólidos Suspensos	mg/L	350	220	100
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	mg/L	400	220	110
Demanda Química de Oxigênio - DQO	mg/L	1000	500	250
Nitrogênio total	mg/L	85	40	20
Fósforo total	mg/L	15	8	4
Óleos e graxas	mg/L	150	100	50
Sulfatos	mg/L	50	30	20
Coliformes totais	NMP/100ml	1,0E+07 a 1,0E+09	1,0E+07 a 1,0E+08	1,0E+06 a 1,0E+07

Fonte: Adaptado de Gonçalves e Souza (1997).

4.2 Tecnologias de tratamento de esgotos

Segundo Von Sperling (2005) e Lettinga (1995 apud CHERNICHARO, 2001), pontuam os principais requisitos que devem ser observados num estudo técnico-econômico de escolha de alternativas de estações de tratamento, uma vez que não tenhamos uma solução que os atenda integralmente. Assim, os critérios são: baixo custo de implantação; elevada sustentabilidade do sistema, relacionada à pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de reposição; simplicidade operacional, de manutenção e de controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados); baixos custos operacionais; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes; pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação; baixos requisitos de área; existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência; possibilidade de aplicação em pequena escala, com pouca dependência da existência de grandes interceptores; fluxograma simplificado de tratamento (poucas unidades integrando a estação); elevada vida útil; ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha; possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas e existência de experiência prática.

A fim de preservar as condições de qualidade dos corpos receptores, bem como seu ecossistema, o lançamento de esgotos sanitários deve ser feito sob o atendimento de padrões técnicos de qualidade, especificados por legislação particular de cada território. Segundo Dos Santos (2007), costuma-se dividir o tratamento nos níveis preliminar, primário, secundário, terciário e avançado

4.2.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar, que pode vir a ser constituído por gradeamento, peneiramento e unidade de desarenação, visa uma adequação inicial do efluente para ser posteriormente encaminhado aos níveis seguintes de tratamento, fazendo uso de mecanismos físicos para a remoção de sólidos grosseiros.

Segundo Dos Santos (2007), o tratamento preliminar é responsável por evitar obstruções e danos aos equipamentos da eletromecânicos e diminuir o volume útil do reator biológico ocupado por biomassa. A função do gradeamento é reter sólidos grosseiros de diferentes dimensões, dependendo do espaçamento entre suas barras. Com relação a desarenação, o principal objetivo dessa unidade é a retenção de areia e de materiais inertes. O tipo de caixa de areia mais utilizada é do tipo canal, onde esse equipamento possui dois canais, sendo utilizados para rodízio, onde um é para ser utilizado e o outro para limpeza. No fim dos desarenadores podem existir medidores de vazão tipo Calha Parshall. Estes servem tanto para medição da vazão da estação quanto para controlar a vazão distribuída para os próximos tratamentos.

4.2.2 Tratamento Secundário

De acordo com Von Sperling (1996), o tratamento secundário destina-se a degradação biológica de compostos carbonáceos e, eventualmente, alguns nutrientes como o fósforo e nitrogênio. Segundo Barros et al. (1995), o tratamento nessa fase pressupõe as operações do tratamento preliminar, mas pode prescindir dos equipamentos de tratamento primário.

4.2.2.1 Reator UASB

Para Dos Santos (2007), os reatores UASB, sigla que corresponde ao termo dado pela literatura em inglês “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” para designar os “Reatores de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente”, são a vertente de tecnologia anaeróbia de alta taxa mais difundida nos dias atuais. No Brasil, pode-se encontrar traduções diferentes para nomear a mesma tecnologia, como Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente.

O tratamento com uso de reator UASB deve ser precedido de etapa preliminar, com gradeamento e unidade desarenadora.

De acordo com Chernicharo (2007), após estas fases, o efluente entra no reator pela parte inferior, sendo distribuído por tubulações de forma homogênea e percorrendo-o de forma ascendente. Os sentidos ascendentes do fluxo mantem o lodo formado em suspensão na parte inferior do reator, de modo que há formação de uma camada composta de grânulos de lodo ativado, decorrentes do fenômeno da floculação. Na região identificada como “manta de lodo”, espera-se verificar uma intensa ação dos micro-organismos anaeróbios.

Segundo Dos Santos (2007), esse tratamento possui uma alta eficiência de remoção de matéria orgânica, sendo em torno de 65% de remoção de DQO.

A Figura 2 mostra o caminho feito pelo esgoto dentro do reator anaeróbio.

Figura 2 - Representação de tratamento em reator UASB



Fonte: Chernicharo et al. (1999).

Para Dos Santos (2007), a condição climática brasileira de temperaturas elevadas ou moderadas durante grande parte do ano favorece a utilização de processos anaeróbios para decomposição da matéria orgânica e, se as temperaturas fossem mais baixas, como ocorre nos países de clima frio, haveria necessidade de aquecimento dos reatores. Isso ocorre, segundo Jordão e Pessôa (1995), pois a temperatura de decomposição é a temperatura mesofílica (aproximadamente 35 °C).

O lodo denso, que é formado no “compartimento de digestão” do reator, é onde ocorre a maior parte da degradação dos compostos orgânicos, logo, é um lodo que não pode ser muito descartado devido a diminuir a eficiência de degradação anaeróbia. O lodo floculento, um líquido menos viscoso que o lodo denso e que fica localizado na “manta de lodo”, é descartado devido a presença de sólidos que podem interferir nos valores finais de vários parâmetros. A espuma é a parte que flutua no reator, é o líquido na parte superior do reator que pode levar gorduras e outras substâncias para o efluente final tratado.

Alguns parâmetros são importantes para o acompanhamento do tratamento desses reatores anaeróbios. Um desses parâmetros é o tempo de detenção hidráulica (TDH), este é o tempo que um determinado efluente deve ser mantido em tratamento dentro do UASB para que o lodo seja estabilizado e o tratamento esteja dentro dos padrões. Segundo Chernicharo (2006), esse parâmetro deve estar em uma faixa de 6 a 9 horas para esgotos com temperaturas maiores que 25°C, como é o caso de Fortaleza, para a vazão média.

De acordo com Chernicharo (2007), em relação a carga orgânica volumétrica (COV), que é a quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator por sua unidade de volume, essa deve se situar na faixa de 2,5 a 3,5 kg DQO/m³.d.

Outro indicador da situação de um UASB é a velocidade superficial do fluxo ou velocidade ascensional (V. Asc.). Este parâmetro é a velocidade com que o fluxo se movimenta dentro do reator. Para Chernicharo (2007), a velocidade superficial em reatores anaeróbios em lodos floculentos deve ser da ordem de 0,5 a 0,7 m/h e em casos de lodo granular, deve ser próxima de 10m/h.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de reatores UASB em comparação a tratamentos aeróbios convencionais

Vantagens	Desvantagens
<p>Baixa demanda de área</p> <p>Baixo custo de implementação e operação</p> <p>Baixa produção de lodo</p> <p>Baixo consumo de energia (apenas elevatória de chegada)</p> <p>Satisfação eficiência de remoção de DBO e DQO na ordem de 65 a 75%</p> <p>Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações</p> <p>Elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente.</p>	<p>Possibilidade de emanção de maus odores</p> <p>Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas</p> <p>Elevado intervalo de tempo necessário para partida do sistema</p> <p>Necessidade de uma etapa de pós-tratamento</p>

Fonte: Chernicharo, 1997.

Apesar de reatores anaeróbios possam apresentar elevadas concentrações de biomassa ativa em seu volume reacional, com altas eficiências na remoção de cargas orgânicas e de sólidos em suspensão e com curtos tempos de detenção hidráulica, para Fontana (2007), normalmente a qualidade do efluente tratado não consegue atender aos padrões legais para seu lançamento direto em corpos hídricos, apresentando necessidade de um pós-tratamento.

Segundo Tonetti (2008), a formação de biomassa nesse tipo de tecnologia é pequena e, conseqüentemente, há uma diminuição das despesas com processamento, transporte e disposição final do lodo. Diferentemente de outros processos anaeróbios, no reator UASB não há a necessidade de decantador primário, simplificando ainda mais o fluxograma da estação. De acordo com Von Sperling (1996), podem ser gerados maus odores, podendo ser minimizados através da elaboração de bons projetos e de uma correta operação da estação.

4.2.2.2 Lodos Ativados

Segundo Von Sperling (1996), a tecnologia de lodos ativados é hoje amplamente aplicada em ETEs, pois, é uma alternativa eficiente de redução de contaminantes orgânicos, e de nutrientes, além de necessitar de baixa área para construção.

De acordo com Pessoa e Jordão (2005), o sistema de lodo ativado é o floco produzido em um esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zooglúicas ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido, e acumulado em concentração suficiente graças o retorno de outros flocos previamente formados.

Para Giordano (2005), os processos que ocorrem neste tratamento funcionam a partir de fenômenos de autodepuração, através de processos bioquímicos. Esses processos podem ser anaeróbios, aeróbios ou facultativos.

Existem três tipos de Lodos ativados, são esses:

a) Convencionais: de acordo com Von Sperling (1996), o sistema é composto por decantadores primários, tanques de aeração, decantadores secundários, adensadores de lodo e digestores de lodo, onde o princípio básico do sistema consiste na recirculação dos sólidos (lodo ativado) presentes no fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para o tanque de aeração. Ou seja, com a recirculação dos sólidos há uma na concentração de bactérias no tanque, o que garante uma alta eficiência na degradação da matéria orgânica.

b) Aeração Prolongada: para Von Sperling (1996), este sistema é similar ao convencional, porém, não se utilizam decantadores primários e o tratamento biológico é dimensionado de forma a produzir um excesso de lodo mais mineralizado, de forma a se dispensar a necessidade de qualquer tipo de digestão adicional de lodo.

c) Fluxo Intermitente: segundo Von Sperling (1996), a operação do sistema é intermitente e consiste em incorporar todas as unidades, processos e operações do sistema de lodo ativado convencional em um único tanque.

4.2.2.3 Filtro Submerso Aerado (FSA)

O filtro submerso aerado (FSA) surge com uma modalidade de pós-tratamento. Existem diversas configurações de FSA, mas que são fundamentalmente regidas pelo mesmo princípio: um reator de escoamento contínuo com sistema de aeração e meio inerte que atua como suporte para os microrganismos, onde o meio poroso é mantido submerso em sua totalidade.

Para Fontana (2007), é interessante perceber a complementariedade da junção de tratamentos com UASB e FSA, uma vez que reduzida uma grande parte da carga orgânica na primeira unidade, a segunda tecnologia apresenta capacidade de tratamento e clarificação de despejos suficientemente diluídos, além de não necessitar de grandes áreas, possuem aspecto modular, simplicidade operacional e ter menor produção de lodo, quando comparado ao sistema de lodos ativados, por exemplo.

Em seguida ao processo de tratamento no biofiltro submerso, utiliza-se decantadores para diminuir a quantidade de sólidos em suspensão no efluente. Um dos tipos de decantadores utilizados para esse fim, é o decantador lamelar, que possui esse nome por possuir lamelas em sua estrutura que facilitam a sedimentação do esgoto.

4.2.3 Tratamento Terciário

O tratamento terciário, para Von Sperling (1996), tem como objetivo a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, tais como os nutrientes fósforo, nitrogênio e desinfecção do efluente tratado. Este nível de tratamento é de suma importância, pois, é nele que ocorre a remoção de patógenos, quantificados pelos parâmetros *Coliformes termotolerantes* e *Escherichia coli*.

De acordo com Wef (1998), a desinfecção de águas residuárias é motivada por oferecer proteção à saúde pública ao servir de obstáculo contra organismos patogênicos e reduzir o risco de transmissão de doenças, garantir o reuso seguro de água e adequar o efluente para ser lançado no corpo receptor, pois, segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), sua classe não pode ser alterada.

Para esse nível de tratamento, existem os tipos de processos de desinfecção naturais, como a lagoa de maturação, e de artificiais, como a cloração e a radiação ultravioleta).

O tipo de tratamento que será aprofundado nessa seção será a cloração, devido a ser o processo de desinfecção mais difundido no mundo.

4.2.3.1 Cloração

Para que ocorra uma eficiente desinfecção do efluente os fatores mais importantes são: tempo de contato, a concentração do agente químico, o tipo de agente químico, a temperatura, a quantidade e o tipo de organismos presentes no esgoto.

Com isso, o agente químico mais utilizado é o cloro. Existem várias formas de utilização do cloro como: o hipoclorito de sódio (NaOCl), o cloro gasoso (Cl₂) e o hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)₂). Para adequar a concentração do agente desinfetante, são utilizadas bombas dosadoras e tanques de preparo de solução desinfetante.

Segundo Chernicharo (1997), quando o cloro gasoso ou uma das formas de hipoclorito é adicionado à água ou água residuária, age de duas formas: como desinfetante, destruindo ou inativando os microrganismos patogênicos, algas e bactérias, e como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no meio.

Considerando o tempo de contato, utiliza-se um equipamento chamado tanque de contato. Essa estrutura possui chicanas, que podem ser verticais ou horizontais, que servem para aumentar o tempo que o esgoto em tratamento está em contato com o cloro.

4.2.4 Parâmetros de Monitoramento dos esgotos domésticos

De acordo com Von Sperling (2005), os parâmetros relacionados aos esgotos domésticos principais são: sólidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nutrientes e indicadores de contaminação fecal, como *Coliformes termotolerantes* (CTT) e *Escherichia coli* (*E. coli*).

Jordão e Pessoa (2011), define DQO (COD, “Chemical Oxigen Demand” na terminologia inglesa) como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável pelo permanganato ou dicromato de potássio em solução ácida. Normalmente a DQO de esgotos domésticos varia entre 200 e 800 mg/L.

Na Tabela 3, são mostrados os principais parâmetros e a quais poluentes eles se relacionam, além do efeito daquele poluente em um efluente.

Tabela 3 - Poluentes, parâmetros e eventuais efeitos adversos decorrentes de seu lançamento em corpos receptores

Poluentes do esgoto	Parâmetros relacionados	Efeitos adversos
Ácidos e álcalis	pH/alcalinidade	Interfere na decomposição biológica e provoca morte dos organismos aquáticos
Sólidos em suspensão	SST	Aumento da turbidez; decomposição de lodo no fundo do corpo aquático e nas canalizações de esgoto; proteção de organismos patogênicos; produção de maus odores devido à decomposição anaeróbia da fração orgânica.
Matéria orgânica	DBO e DQO	Diminuição do oxigênio dissolvido na água dos corpos receptores; prejuízos à biota; decomposição anaeróbia que se inicia a seguir e causa a produção de maus odores
Nutrientes	N e P	Proliferação de algas e macrófitas aquáticas levando a um estado de eutrofização; depleção de oxigênio
Microrganismos patogênicos	<i>E.coli</i>	Transmissão de doenças

Fonte: Adaptados Jordão e Pessoa (2005).

Esses parâmetros devem ser monitorados tanto para saber sobre o desempenho da ETE quanto para saber se o efluente pode causar diminuição da qualidade do corpo receptor.

De acordo com Von Sperling (2005), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Diante da importância dos indicadores de matéria orgânica e sólidos, os mesmos estão entre os principais parâmetros relativos a esgotos predominantemente domésticos.

Muitos dos critérios para indicadores fecais são atendidos pela bactéria *Escherichia coli* e, em menor grau, pelas bactérias termotolerantes. Segundo Ortega et. al (2009), *E. coli* é a mais numerosa em fezes de mamíferos e é considerada o indicador mais específico de poluição fecal, pois é o único coliforme que habita exclusivamente o trato intestinal.

Outro parâmetro importante é o cloro residual livre. Segundo Usepa (1986), teoricamente, os microrganismos são destruídos quando a demanda de cloro foi satisfeita, e a desinfecção resulta da ação do cloro residual, ou seja, da quantidade de cloro remanescente após a demanda de cloro ter sido satisfeita. É possível perceber que a medição de cloro residual é uma parte importante do processo de cloração.

Segundo Nascimento et al. (2000), demonstrou que FSA podem promover uma importante remoção adicional de DQO e DBO no efluente dos reatores UASB. Nesse estudo foi possível obter cerca de 80 a 94% de eficiência de remoção de DQO.

4.3 Legislação Vigente

Para atender a legislação e a necessidade de tornar os tratamentos de efluentes cada vez mais eficientes, é que faz com que o acompanhamento operacional das ETES, tornando-o um instrumento essencial para o avanço na qualidade dos efluentes. De acordo com Von Sperling (2005), a remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência de tratamento.

A maioria dos esgotos coletados e tratados tem como destinação final corpos hídricos. A remoção de contaminantes deve ser feita de modo atender às especificações de qualidade, particulares de cada localidade e determinada pelas autoridades competentes para tal. Uma vez feita a coleta e transporte dos esgotos, estes são destinados a uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), definida pela NBR-12209 (ABNT, 1992), como o “conjunto

de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução de cargas poluidoras de esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do processo”.

Os parâmetros devem ser padronizados para facilitar a análise e as previsões da eficiência e do desempenho das ETEs. Visto essa necessidade de padronização foram criadas legislações tanto em âmbito federal quanto estadual.

Em nível federal, foi estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA a Resolução Nº 430/2011, que estabelece sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. No âmbito estadual, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará – SEMACE, por meio da Resolução COEMA Nº 02/2017 estabelece condições com os mesmos objetivos da Resolução Nº 430/2011.

Considerando a Resolução da COEMA, no seu artigo 12, é colocado os padrões para lançamento de esgotos sanitários em corpo hídrico. Considerando esse artigo foram escolhidos os principais parâmetros relacionados a este estudo de caso, são estes:

- a) pH: entre 5 e 9;
- b) SST: até 150 mg/L para lagoas de estabilização e até 100 mg/L para outras tecnologias;
- c) Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L;
- d) *Escherichia coli*: até 5000 NMP/100mL.

Além destes parâmetros, existe um não mencionado pelo artigo da legislação estadual vigente, este é importante para determinar a quantidade de matéria orgânica no efluente final, este é a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Assim, embora não seja mais vigente, tem-se como referência artigo da Resolução anterior, a COEMA Nº 154/2002 no seu artigo 4, que estabelece a seguinte condição para o descarte de efluentes sanitários:

- a) Demanda Química de Oxigênio: até 200 mg/L

4.4 Indicador de desempenho

O indicador de desempenho é de suma importância, pois, é uma medida quantitativa da eficiência e da eficácia de uma entidade gestora considerando aspectos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento de sistemas. A eficiência mede a otimização dos recursos disponíveis são utilizados para a produção do serviço, enquanto a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos realisticamente, foram cumpridos. Segundo Matos et al. (2004), os indicadores de desempenho constituem um instrumento de apoio ao monitoramento da entidade gestora, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva.

Diante do exposto, o uso de IDs vem sendo utilizado por diversas organizações do setor de saneamento, tanto nacionais quanto internacionais. O levantamento de IDs, realizado no âmbito do saneamento de modo geral, é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Indicadores de desempenho de várias organizações de saneamento

Organização ou Entidade	ID	
	Total	ETEs
Internacional Water Association (IWA)	182	56
Water Service Association of Australia (WSAA)	55	4
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)	49	0
Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS)	46	1
International Organization for Standardization (ISO)	41	10
Six Scandinavian Cities Group	25	10
American Water Works Association (AWWA)	22	1
Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR)	16	2
Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)	14	2
Office of Water Services (OFWAT)	10	2
Total	527	90

Fonte: Modificado de Barros (2013).

Destaque é dado ao quantitativo de IDs utilizados para avaliação de ETEs em cada um dos sistemas considerados uma vez que estes são o tema do presente estudo. A International Water Association (IWA) possui mais indicadores ligados ao tratamento de esgoto, se apresentou como a mais completa, devido aos diversos critérios.

5 METODOLOGIA

No presente trabalho, foi necessário estudar mais sobre o tema em livros, artigos, dissertações e monografias sobre o processo de tratamento de esgotos domésticos.

Além disso, foram necessárias algumas visitas à estação que ocorreram nos dias: 23 de março, 19 de abril, 25 de maio e 09 de agosto.

A eficiência do sistema teve como base os resultados de análises físico-químicas do parâmetro DQO realizadas pelos técnicos da CAGECE e analisadas no Laboratório Central da empresa com relação ao esgoto afluente e efluente da ETE José Euclides Gomes Ferreira. O período de avaliação dessa eficiência ocorreu dos meses de novembro de 2017 a julho de 2018. Este curto prazo de análise se deve ao fato de a estação está pronta para o início da sua operação a partir de setembro de 2017.

Com relação a avaliação dos custos de operação, apenas os valores com gastos de energia e cloração do esgoto serão analisados. Os dados dessa análise de recursos serão de abril de 2018 a junho de 2018, devido à falta de alguns dados para o cálculo desses indicadores.

Por fim, será comparada com a legislação estadual vigente os parâmetros de DQO, SST, pH e *E.coli*. Além disso, será comparada a *Escherichia coli* com o cloro residual livre.

O monitoramento utilizado pela CAGECE inclui além do acompanhamento da rotina operacional, análises laboratoriais que seguem a metodologia indicada pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”.

5.1 Caracterização da ETE José Euclides

Segundo a CAGECE (2018), das 161 ETEs localizadas na capital do Ceará, 27 possuem como tecnologia de tratamento o UASB e dessas estações com esse tratamento anaeróbio, 8 possuem as tecnologias de UASB e FSA sendo utilizadas em sequência.

O projeto da estação de tratamento de esgotos José Euclides Ferreira Gomes se localiza na Rua Verde 44. Essa ETE foi projetada para atender a população que mora no

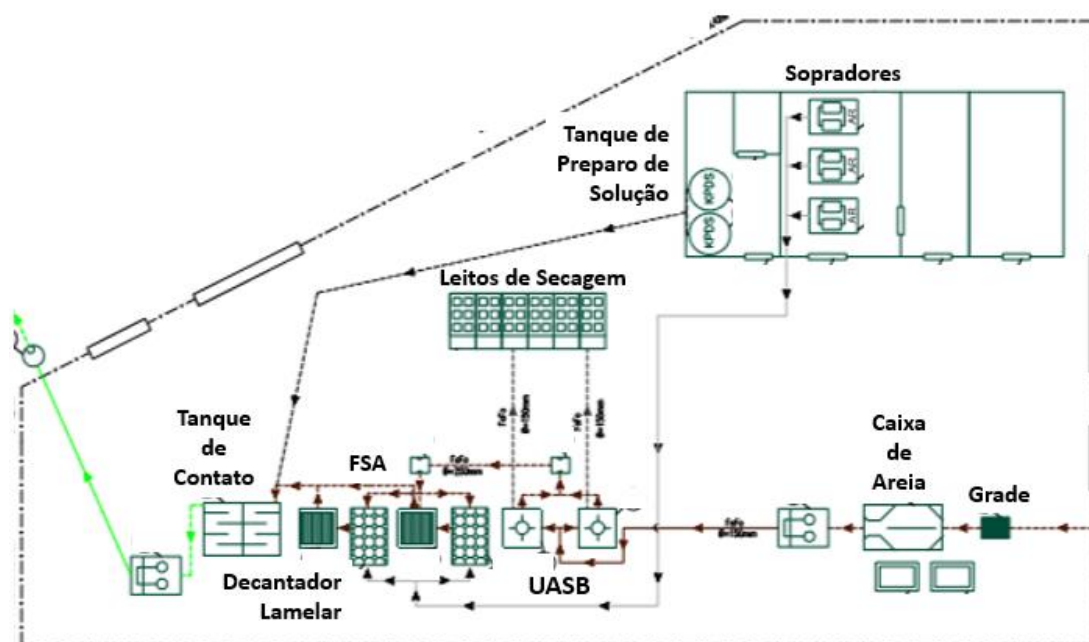
conjunto residencial José Euclides Ferreira Gomes, um conjunto do Programa Minha Casa Minha Vida. Neste conjunto é previsto pelo projeto que cerca de 11968 pessoas habitem esse conjunto residencial. Devido a essa população estimada, se tem como vazão média de projeto o valor de 14,71L/s.

A tecnologia de tratamento da estação em questão é do tipo Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (UASB ou RAFA) com um pós-tratamento aeróbico (FSA).

A rede coletora é do tipo convencional, possui extensão total de 3421,37 metros, tendo como material o PVC rígido, como indica a NBR 7362.

A Figura 3 representa a localização dos equipamentos dentro da área da estação.

Figura 3 - Representação da ETE José Euclides



Fonte: Modificado de CAGECE (2017).

Será mostrado neste trabalho as unidades de tratamento da estação deste estudo de caso e suas dimensões.

Na Figura 4 é possível perceber o material empregado para a construção do sistema e a disposição em relação ao tratamento.

Figura 4 - Vista da entrada da Estação José Euclides



Fonte: Autora (2018)

O fluxograma do sistema de esgoto da ETE em estudo pode ser descrito conforme a figura 5. A rede coletora pública que abrange a sub-bacia 01 e direciona os esgotos para a estação elevatória que é acoplada à Estação de Tratamento de Esgoto. Em seguida, o afluente é bombeado para a ETE onde ocorrerá todo o tratamento. Dentro da localização da estação também se localiza a elevatória de efluente tratado, que direciona para o Rio Cocó. A estação desse estudo de caso é um dos poucos sistemas que possuem uma EEE de efluente tratado.

Figura 5 - Representação do caminho percorrido pelo afluente e efluente da ETE



Fonte: Modificado de SANEBRÁS (2015).

A rede coletora foi traçada de acordo com o projeto hidrossanitário de cada condomínio em acordo com a CAGECE. De acordo com a empresa SANEBRÁS (2015), já a estação elevatória de esgoto, que fica junto à ETE, será dotada de tratamento preliminar composto por gradeamento, desarenação e medição de vazão, além de poço de sucção.

De acordo com a empresa SANEBRÁS (2015), a ETE é composta por dois reatores UASB dois Filtros Submersos Aerados (FSA), dois Decantadores Lamelares (DL), um Tanque de Contato (TC) e cinco Leitões de Secagem (LS), sendo projetada para proporcionar um efluente final dentro dos padrões que atendem a legislação vigente, Resolução COEMA N° 02/2017.

A Figura 6 representa o tratamento preliminar da estação.

Figura 6 - Tratamento Preliminar na ETE



Fonte Autora (2018).

Esse tratamento preliminar consiste em um sistema composto por uma grade feita com barras de aço inox, uma caixa de areia com 2 canais para limpeza e um medidor de vazão do tipo Calha Parshall de fibra de vidro com garganta de 3", de modo que recebem todo o efluente proveniente da rede coletora.

A limpeza da grade é feita com rastelos, ferramenta mostrada no lado esquerdo da Figura 6, pelo operador diariamente e os resíduos retirados são secados na plataforma de secagem para posterior destinação correta. Em relação aos cuidados com o desarenador, diariamente ocorre a lavagem de areia, ou seja, utiliza-se uma ferramenta para movimentar as partículas de matéria orgânica que podem ficar retidas na caixa de areia para que essas partículas sejam direcionadas para os reatores. Além da lavagem, é necessária a limpeza do desarenador, que consiste na remoção do material retido nesse equipamento.

Após o tratamento preliminar o efluente a ser tratado passa por uma estação elevatória, composta por dois conjuntos motor-bombas submersíveis, sendo um destinado a

rodízio ou reserva. O esgoto é distribuído ao longo do reator a partir da rosa de distribuição. Esta é limpa diariamente para evitar obstruções nas tubulações e nos reatores.

Na Figura 7, é possível visualizar a parte superior dos reatores anaeróbios de manta de lodo.

O reator UASB é responsável pelo tratamento através de um sistema de tratamento anaeróbio, de forma compactada. O sistema possui dois reatores, estes contêm pontos de inspeção que permitem eventuais coletas de amostras e a observação do acúmulo de espuma no sistema, permitindo procedimentos de limpeza e de descartes periódicos.

Figura 7 - Visão do pavimento superior dos reatores UASB



Fonte: Campos (2017)

Os reatores de fluxo ascendente com manta de lodo desta estação possuem 6,50 m de largura, 6,50 m de comprimento e uma altura útil de 4,50 m. Assim o lodo em excesso desse equipamento pode ser descartado e encaminhado para os módulos do leito de secagem, onde a parte líquida desse lodo é direcionada novamente ao sistema e a parte sólida é direcionada para tratamento e destino final.

Na Figura 8, é mostrada a vista superior de um dos filtros aerados submersos.

Figura 8 - Vista superior do Filtro Submerso Aerado



Fonte: Autora (2018)

O filtro submerso aerado (FSA), mostrado na Figura 8, é composto de um tanque preenchido com material suporte, através do qual o esgoto e o ar fluem permanentemente. De acordo com a empresa SANEBRÁS (2015), o meio suporte é mantido sob total imersão pelo fluxo hidráulico e fica localizado em compartimentos com dimensões de largura de 4,75 m, comprimento de 6,50 m, altura útil de 4,00 m, tendo área específica de meio suporte de 265,00 m³/m². As descargas desses filtros são feitas através da descarga nos decantadores.

O processo de aeração é constituído por dois sopradores operando em conjunto, com um de reserva, totalizando três sopradores. Segundo dados da empresa SANEBRAS (2015), os sopradores possuem potência de 20,00 CV, é regulada a vazão de ar dos conjuntos sopradores para controlar as partidas e as paradas.

Após esse tratamento aeróbio, é necessária a decantação dos sólidos que nessa ETE ocorre nos Decantadores Lamelares, que estão sendo representados na Figura 9.

Figura 9 - Vista superior do Decantador Lamelar



Fonte: Campos (2017)

Segundo dados da empresa SANEBRAS (2015), cada decantador lamelar possui as seguintes dimensões: Comprimento: 6,50 m; Largura: 1,91 m; Comprimento da Placa: 1,09 m. Embora na Figura 9 não seja possível ver as lamelas, elas aparecem durante todo o equipamento para facilitar a decantação dos sólidos.

Figura 10 - Tanques de preparo de solução desinfetante



Fonte: Autora (2018)

Na Figura 10, são mostrados os tanques de dosagem e preparação da solução desinfetante.

No tanque de contato ocorre o procedimento de desinfecção do efluente, por meio de soluções que permitem a cloração. No caso da ETE em estudo, é utilizado hipoclorito de sódio, de modo que a dosagem é feita em dois tanques de solução de 250L e bombas dosadoras.

O tanque de contato está mostrado na Figura 11, onde aparecem as barreiras da estrutura para que o efluente fique tempo suficiente em contato com o produto químico.

Figura 11 - Vista lateral do Tanque de Contato



Fonte: Campos (2017)

De acordo com o projeto da empresa SANEBRAS (2015), o Tanque de Contato possui as seguintes dimensões: largura: 2,00 m, comprimento: 6,50 m, profundidade útil adotada: 1,00 m, espaçamento entre chicanas: 1,20 m e com tempo de contato de 30 minutos. Assim, tal estrutura pode ser observada na Figura 11.

A Figura 12 apresenta os módulos do leito de secagem e a limpeza deles através de caminhões à vácuo.

Figura 12 - Vista lateral dos Leitos de Secagem



Fonte: Autora (2018)

Segundo informações fornecidas pela SANEBRÁS (2015), o leito de secagem possui cinco células e a parte drenante destes é composta por areia e pedregulho. Este sistema drenante é formado de tubos de PVC furado, colocados no fundo do leito. O fundo do leito tem inclinação de 1% no sentido do coletor de escoamento do líquido filtrado.

Na Figura 12, os leitos estavam com problema na drenagem do líquido, por isso, aparecem cheios das descargas da ETE, devido a isso, a remoção do excedente estava sendo feita por caminhões à vácuo durante os meses de junho e julho.

Na Tabela 5 é mostrada a frequência de atividades operacionais realizadas pelos operadores da estação em estudo. A período entre as descargas dos UASB e dos decantadores mudaram durante o período de estudo, devido a testes feitos pela equipe da CAGECE para estabelecer a melhor frequência de maneira que não sobrecarregasse os leitos de secagem e que não tornassem o efluente final da estação fora do padrão da legislação. Além disso, as descargas nos reatores anaeróbios do lodo flocculento também dependiam do valor observado pela análise de sólidos sedimentáveis (SS) no cone de Imhoff no UASB.

Tabela 5- Rotina Operacional das atividades da ETE em estudo

Rotina Operacional na ETE José Euclides Ferreira Gomes	Frequência
Limpar a grade	Diária
Realizar lavagem da areia	Diária
Preparar solução de cloro	Diária
Coletar amostras do efluente dos reatores UASBs e realizar a análise de sólidos sedimentáveis com o cone de Imhoff.	Diária
Coletar amostra do efluente tratado e realizar a análise de cloro residual	Diária
Registrar nas fichas os dados de bombeamento	Diária
Realizar descarga de espuma dos UASBs *	Diária
Realizar descarga do lodo floculento dos UASBs *	2 vezes ao mês
Realizar descarga do lodo denso dos UASBs *	1 vez ao mês
Realizar descargas dos decantadores	Diária
Limpar as duas rosas de distribuição	Diária
Remover gordura na parte superior dos UASBs	Diária

* Pode ter variado as frequências durante o período de estudo

Fonte: Autora (2018)

A quantidade de descargas diárias foi modificada ao longo do tempo, para testar a frequência que seria melhor nos resultados da estação. Nos itens abaixo são mostradas as diferentes frequências de descarte ao longo dos períodos, assim:

- a) A partir de 19 de fevereiro, espuma: 3 vezes ao dia, floculento: diariamente, denso: mensalmente e decantador: 3 vezes ao dia;
- b) A partir de 17 de abril, espuma: 2 vezes ao dia, floculento: semanalmente, denso: mensalmente e decantador: 3 vezes ao dia;
- c) A partir de 29 de maio, espuma: 1 vez ao dia, floculento: semanalmente e denso: mensalmente e decantador: diariamente;
- d) A partir de 9 de julho, espuma: diariamente, floculento: quinzenalmente, denso: mensalmente e decantador: diariamente.

Os valores dos parâmetros se comparado com as frequências de descarga devem sempre considerar o mês seguinte a mudança de descargas, pois as análises físico-químicas são coletadas no meio do mês de referência.

5.2 Avaliação da eficiência do tratamento e correlação com a Legislação

5.2.1 Análises físico-químicas

De acordo com Nuvolari (2003), o teste de DQO baseia-se na oxidação dos compostos orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis), em condições ácidas e sob ação de calor. Utiliza-se normalmente como oxidante o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Por ser uma oxidação exclusivamente química, fornecendo apenas uma indicação da matéria orgânica carbonácea.

De acordo com Silva et al (1979), a definição usual de sólidos totais ou resíduo total refere-se à matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem a uma temperatura entre 103 e 105°C. Segundo Nuvolari (2003), a análise de Sólidos Totais trata-se de um teste com o objetivo de identificar a quantidade de resíduos sólidos totais presentes em uma amostra de água ou esgoto. Os sólidos podem ser classificados da seguinte forma: Sólidos fixos totais (STF), Sólidos voláteis totais (SVT), Sólidos suspensos fixos (SSF), Sólidos suspensos voláteis (SSV) Sólidos dissolvidos totais (SDT), Sólidos dissolvidos voláteis (SDV), Sólidos dissolvidos fixos (SDF) e Sólidos suspensos totais (SST). A análise de SST, consiste em deixar a amostra em uma estufa com temperatura próxima a 103°C e, após, filtrar a solução para identificar a quantidade em mg/L de SST.

Outra análise é a do Potencial Hidrogeniônico (pH), que consiste na medição através do pHmetro, em uma escala de 1 a 14, onde maior que 7 é um meio básico, menor que 7 um meio ácido e igual a 7 um meio neutro.

A última análise deste trabalho consiste na *E. coli*, esta é feita pelo método de cultura da bactéria *Escherichia coli* para a amostra analisada.

5.2.2 Eficiência de remoção de DQO e comparação com a Legislação

Para chegar a eficiência de remoção da DQO, uns dos parâmetros mais importantes do tratamento de esgoto considerando a destinação final, é necessário saber a concentração desse parâmetro no afluente e no efluente. Para calcular essa remoção é utilizada a fórmula a seguir:

$$E = \frac{S_0 - S}{100 \times S_0} \quad (1)$$

Onde:

S: concentração de DQO efluente (mg/L);

S₀: concentração de DQO afluente (mg/L);

E: eficiência de remoção de DQO (%).

Considerando a comparação com a legislação, serão utilizadas duas legislações estaduais, a Resolução N° 154/2002 e a N° 02/2017 da COEMA, pois estas são mais restritivas que a CONAMA Resolução N° 430/2011. As faixas dessas legislações são apresentadas no item 3.2 deste trabalho. Por fim, será comparada com a legislação estadual vigente os parâmetros de DQO, SST, pH e E.coli.

5.3 Índice de conformidade (IC)

O índice de conformidade (IC) é uma simples forma de se avaliar o nível de enquadramento de efluentes a padrões normatizados. Para tratamento de efluentes, IC é baseado em cálculos simples de análise estatística e tem como propósito fornecer subsídios para o acompanhamento da situação da qualidade do efluente em relação aos padrões de qualidade estabelecidos em norma, sugerindo o nível de satisfação do efluente as metas de qualidade. O IC é a média aritmética dos valores dos indicadores observados para os parâmetros DQO, SST e PH. No caso do parâmetro *Escherichia coli*, o valor de IC é a média geométrica dos valores observados. Isso se justifica pela diferente proporção que esses parâmetros apresentam.

Diante disso, foram criadas classes de enquadramento dos ICs calculados para cada parâmetro, essas classes se dividem da seguinte maneira:

Classe 3 para parâmetro i → Bom;

Classe 2 para parâmetro i → Regular e;

Classe 1 para parâmetro i → Ruim.

Para cada tipo de análise existe uma faixa de valores que se enquadram dentro das classes definidas acima. A Tabela 6 mostra o enquadramento de cada parâmetro nas suas respectivas classes.

Tabela 6 - Enquadramento das classes considerando cada parâmetro

Classe	DQO (mg/L)	pH	SST (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)
3	≤ 100	6,5 - 7,5	≤ 50	≤ 2500
2	101 - 200	5 - 6,4 ou 7,6 - 9	51 - 100	2501 - 5000
1	> 200	< 5 ou > 9	> 100	> 5000

Fonte: Autora (2018)

Tais intervalos foram baseados em observações subjetivas, na legislação estadual vigente e em informações fornecidas pela literatura. Se utilizado como método de controle, o Índice de Conformidade seria uma forma razoável de identificação de problemas operacionais do sistema ou mesmo de reconhecimento da prioridade de investimentos em melhorias que é dada a cada estação.

5.4 Parâmetros de projeto

Para a estação deste estudo de caso, o cálculo da vazão média foi a partir do medidor ultrassônico tipo Doppler para aferir a vazão pitométrica de cada bomba e então ser calculada a vazão média estimada pela leitura dos horímetros de cada bomba. Assim, a vazão média é calculada pela equação abaixo:

$$Vméd = \frac{(Vb1 \times h1) + (Vb2 \times h2)}{N} \quad (2)$$

no qual:

$Vméd$: vazão média da estação (m^3/dia);

$Vb1$: vazão medida da bomba 1 (m^3/h);

$Vb2$: vazão medida da bomba 2 (m^3/h);

$h1$: tempo de funcionamento da bomba 1 (h);

$h2$: tempo de funcionamento da bomba 2 (h);

N : número de dias do mês (dias).

Para esse trabalho, foram calculadas as vazões médias da estação para os meses de abril a julho de 2018. Considerando a média dessas vazões calculadas, foi possível calcular os parâmetros dos reatores UASBs: TDH, COV e V. Asc.

O Tempo de detenção hidráulica se calcula da seguinte forma:

$$TDH = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

onde:

TDH: tempo de detenção hidráulica (h);

V: volume total do reator (m^3);

Q: vazão média para cada reator (m^3/h).

A carga orgânica volumétrica define-se da seguinte forma:

$$COV = \frac{Q \times S_o}{V} \quad (4)$$

no qual:

COV: carga orgânica volumétrica por reator (kg DQO/m³.d);

Q: vazão média por reator (m³/d);

V: volume de total do reator (m³);

S_o: concentração de substrato afluente (kgDQO/m³).

Com relação a velocidade ascensional, define-se da seguinte maneira:

$$V. Asc = \frac{H}{TDH} \quad (5)$$

onde:

V. Asc: velocidade ascensional (m/h);

H: altura do reator (m);

TDH: tempo de detenção hidráulica (h).

5.5 Indicadores de Desempenho (ID)

Dentre as várias organizações que possuem indicadores de desempenho para saneamento, mostradas na Tabela 7, as que foram utilizadas para os cálculos e estudos foram a SWWA (Swedish Water & Wastewater Association), a AWWA (American Water Works Association) e a IWA (International Water Association). As duas primeiras serviram de subsídios para o cálculo dos indicadores da ETE José Euclides e para os cálculos de comparação entre IDs da estação deste estudo de caso e da ETE Brasília Norte, apresentados na Tabela 8. Com relação aos indicadores da instituição IWA serviram de inspiração para os IDs sugeridos para utilização nas estações da CAGECE.

Tabela 7 - IDs utilizados nas ETEs do Distrito Federal

Indicadores segundo o critério econômico
Custo de operação/m ³ tratado
Custo de operação/kg de DQO removida
Custo de instalação/habitante de projeto
Custo de operação/habitante atual
Custo de Energia e de Produto Químico/kg de DQO removida
Custo de manutenção/ habitante atual
Indicadores segundo o critério tecnológico
Consumo de energia/kg de DQO removida
Eficiência de remoção de DBO
Eficiência de remoção de DQO
Número de motores elétricos/ 1000 habitante de projeto
Número de intervenções de manutenção/ 1000 habitante de projeto
Produção de lodo/ kg de DQO removida
Área da ETE/ 1000 hab. De Projeto

Fonte: Modificado de Brostel (2002).

Neste trabalho, os indicadores são relacionados à energia consumida, aos produtos químicos e aos custos da estação. A Tabela 9 mostra os IDs que serão calculados neste trabalho e seu período de amostragem. Para alguns dos valores indicadores foram utilizadas a estatística descritiva básica como o cálculo da mediana, dos valores máximos e mínimos e do desvio padrão. Para todos foram calculados a partir da média dos valores observados durante o período especificado na tabela 8.

Esses indicadores foram escolhidos devido a disponibilidade de dados da CAGECE e pela importância da eficiência do consumo de recursos nas estações.

Tabela 8 - Indicadores de desempenho calculados na ETE José Euclides

Indicadores médios calculados	Período
Potência Consumida (kWh/mês)*	Jan/18 a Jun/18
Custo com energia (R\$/mês)*	Jan/18 a Jun/18
Custo com energia/ volume tratado (R\$/m ³)	Jan/18 a Jun/18
Custo com energia e produto químico (R\$/mês)*	Abr/18 a Jul/18
Potência Consumida/ kg DQO removida (kWh/kg DQO)*	Jan/18 a Jun/18
Consumo de produto químico (kg/mês)*	Abr/18 a Jul/18
Custo do produto químico (R\$/mês)*	Abr/18 a Jul/18
Custo do produto químico / volume tratado (R\$/m ³)	Abr/18 a Jul/18
Consumo de produto químico / volume tratado (kg/m ³)	Abr/18 a Jul/18
Ocupação do solo/ volume tratado (m ² /m ³) *	Abr/18 a Jul/18

* Possuem estatística descritiva básica na demonstração de resultados.

Fonte: Autora (2018)

Para a sugestão de IDs voltados para a situação da agência reguladora do Ceará, serão utilizados os indicadores da organização IWA (International Water Association), pois esta se apresentou a mais completa, devido aos diversos critérios e a quantidade de indicadores que existem para essa instituição.

Dessa forma, Molinari (2006) destaca que a finalidade principal do trabalho da IWA é a unificação de critérios e definições, para tornar mais compatíveis e comparáveis os estudos em todo o mundo. Nota-se, nessa publicação, a preocupação em se desenvolver IDs para a avaliação de ETEs uma vez que, dentre os 182 indicadores, 56 são específicos para a avaliação das referidas estruturas, abrangendo todas as dimensões adotadas pela IWA: recursos humanos, operação, meio ambiente, infraestrutura, qualidade do serviço, econômico-financeira.

6 RESULTADOS OBTIDOS

Serão avaliados a eficiência e comparada com a legislação vigente, além de comparar vários indicadores de desempenho entre estações.

6.1 Avaliação da eficiência da ETE e comparação com a legislação

Serão apresentados os resultados obtidos a partir dos dados monitorados pela CAGECE do parâmetro DQO da ETE José Euclides Gomes Ferreira durante o ano de 2017 e 2018. Como a estação começou a operar realmente em novembro de 2017, foram utilizados esses dados deste mês até o mês de julho de 2018.

6.1.1 Avaliação da qualidade do efluente final

De acordo com a Portaria N° 154/2002, o limite para DQO é de 200 mg/L no esgoto tratado.

Tabela 9 - Resultados das concentrações de DQO do afluente e efluente final

Mês	DQO afluente (mg/L)	DQO efluente tratado (mg/L)
Novembro (2017)	1160	81
Dezembro (2017)	1169	78
Janeiro (2018)	856	201
Fevereiro (2018)	1056	155
Março (2018)	1350	109
Abril (2018)	890	55
Média	1080	113

Fonte: Autor, 2018.

De acordo com Gonçalves e Souza (1997), a demanda química de oxigênio em forte concentração em esgotos sanitários é em torno de 1000 mg/L. Na Tabela 9, é possível perceber que a média da DQO afluente nos meses de estudo se aproximou consideravelmente

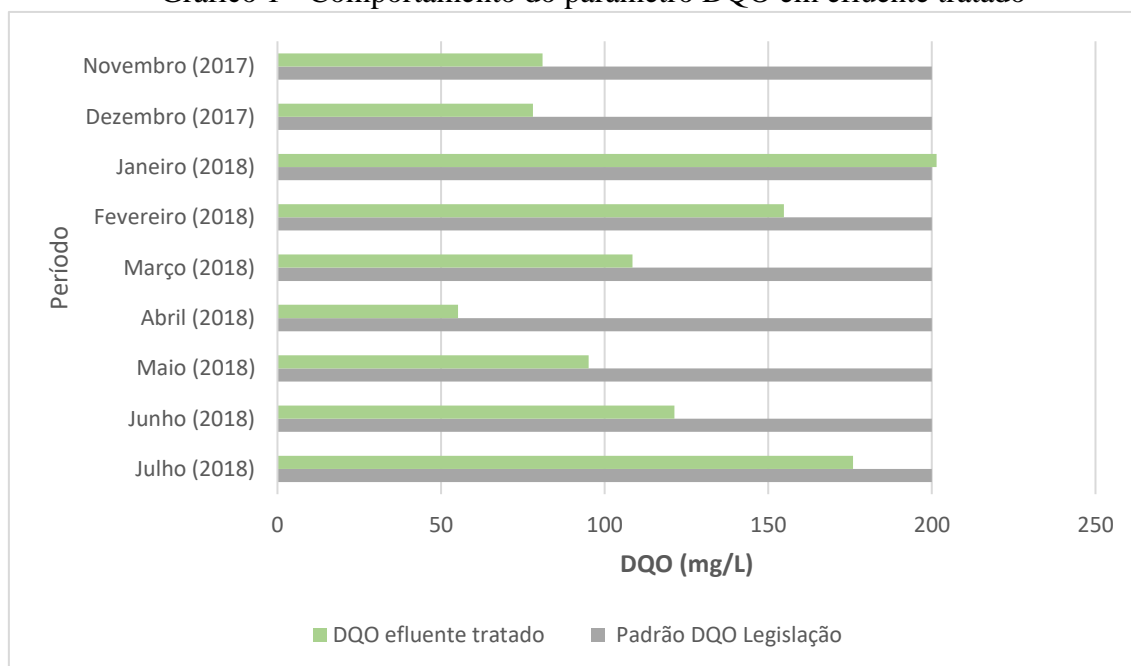
do valor definido por Gonçalves e Souza (1997), logo, o esgoto doméstico produzido na região de estudo apresenta uma forte concentração de DQO. Isso pode ser confirmado, pois no próprio projeto da ETE em questão o valor de concentração afluyente de DQO é de 942 mg/L, ou seja, o valor real se apresenta maior que o previsto e o colocado pela literatura.

Os dados apresentados na Tabela 9 mostram, em termos de valores médios, que de 1080 mg/L de DQO presente no esgoto bruto foi removido 967 mg/L, sendo lançado 113 mg/L de DQO, indicando uma eficiência de aproximadamente 89,54%.

De acordo com Nascimento et. Al (2000), é considerada uma eficiência satisfatória se estiver dentro da faixa de 80% a 94%. Com base no projeto da estação deste estudo de caso, segundo a empresa SANEBRÁS (2015), essa porcentagem de remoção de DQO fica em torno de 91,06%. Esse cálculo foi feito considerando a estimativa de DQO calculada pela população atendida e pela eficiência esperada de cada equipamento de tratamento responsáveis pela remoção de matéria orgânica.

É possível afirmar, pela Tabela 9, que a eficiência de remoção de DQO dessa estação está acima do esperado pela literatura e a eficiência média desde novembro de 2017 é próxima ao valor da eficiência de projeto.

Gráfico 1 - Comportamento do parâmetro DQO em efluente tratado

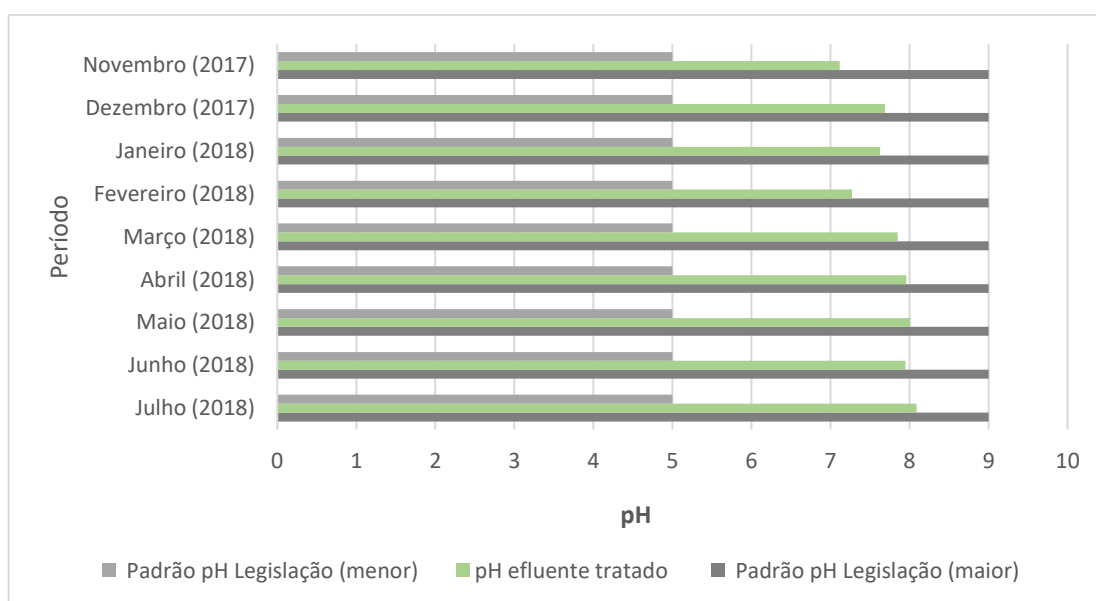


Fonte: Autora (2018)

O Gráfico 1 compara os valores de DQO do esgoto tratado com o valor de referência da legislação. Pode-se constatar que os valores mensais de DQO do esgoto tratado, bem como o valor médio do período estiveram dentro do recomendado pela legislação, com exceção do mês de janeiro, que teve um excedente de aproximadamente 2 mg/L em relação aos 200 mg/L estabelecidos no padrão estadual.

Embora, os meses que apresentaram as maiores DQO efluentes, mês de janeiro e fevereiro, também apresentaram os menores índices de matéria orgânica afluente. A justificativa para esses serem as menores DQO no esgoto bruto é devido a elevada vazão pluviométrica da região devido ao período chuvoso. A baixa remoção de matéria orgânica foi constatada, pois na estação, nesses dois meses, ocorreram problemas de energia com os sopradores dos filtros submersos aerados e com o bombeamento de esgoto bruto para a estação. Esses problemas elétricos nos primeiros meses de 2018 são as prováveis causas pela baixa eficiência na remoção de matéria orgânica do sistema. Os problemas relatados causam baixa oxigenação durante o pós-tratamento anaeróbico, impossibilitando uma remoção de matéria orgânica mais efetiva. Além disso, é possível afirmar, considerando o Gráfico 1, que as frequências de descargas tiveram certa influência nos valores de DQO do esgoto tratado, entretanto, essa não é a principal influência para a eficiência de remoção da DQO do sistema. No Gráfico 2 está mostrando o comportamento do pH na estação em estudo em comparação com a legislação.

Gráfico 2 - Concentração do parâmetro pH em efluente tratado

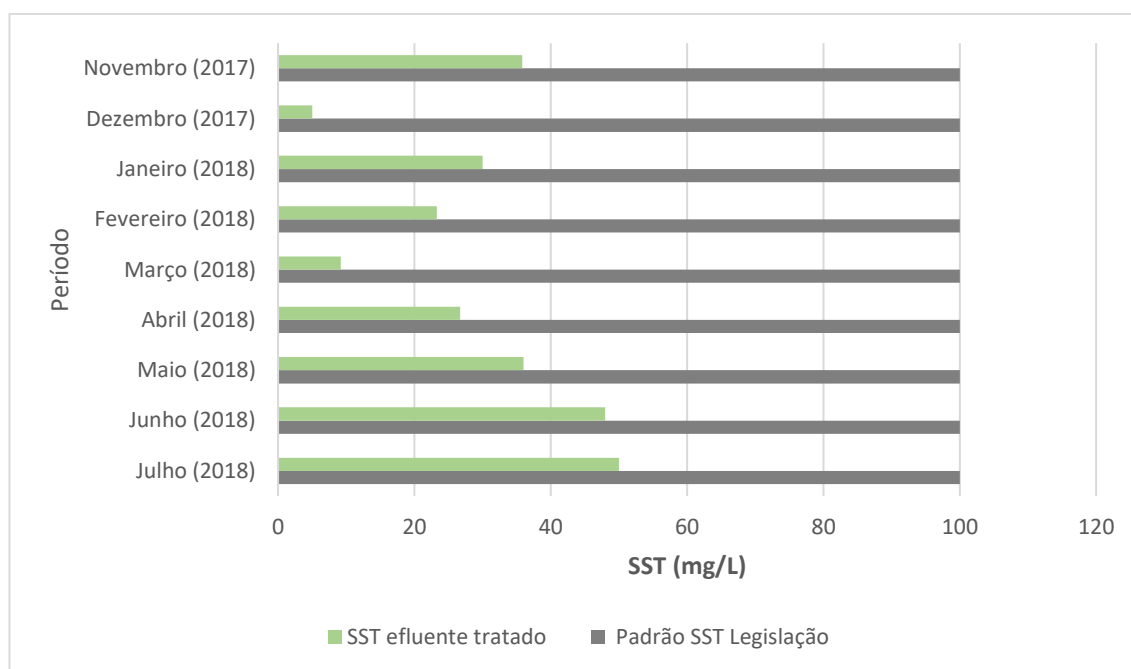


Fonte: Autora (2018)

O Gráfico 2 mostra que dentre todos os meses de análise, o parâmetro pH se manteve dentro da faixa definida pela COEMA Resolução N° 02/2017. De acordo com Jordão e Pessoa (2005), este parâmetro é de suma importância para manutenção dos microrganismos responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos do esgoto. Esse parâmetro não variou consideravelmente e os valores tendem aos valores de máximo citados na legislação. Embora tenham sido modificadas as rotinas operacionais e os procedimentos ao longo do período, essas mudanças não foram suficientes para modificar o pH de forma significativa.

No Gráfico 3, está representado o comportamento dos sólidos suspensos totais (SST) ao longo do período de acompanhamento do projeto.

Gráfico 3 - Comportamento do parâmetro SST em efluente tratado



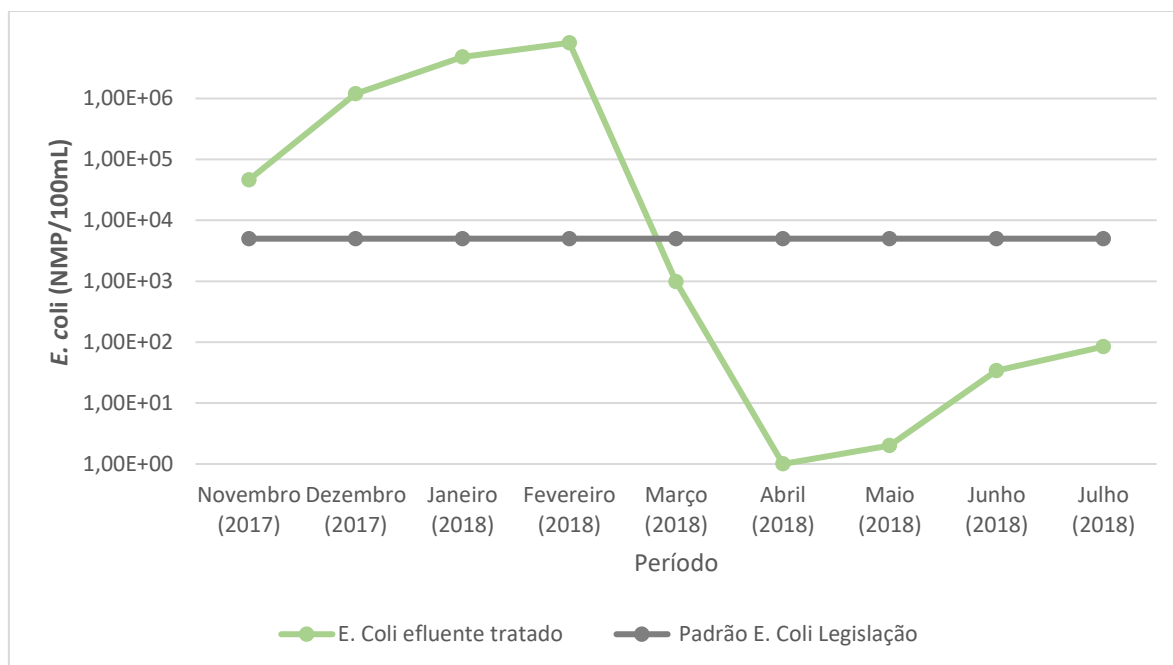
Fonte: Autora (2018)

A partir do gráfico acima, compreende-se que em todos os meses de análise o valor desse padrão na estação de estudo se apresentou bem menor que o exigido pela Resolução N° 02/2017 da SEMACE. Os valores desse parâmetro ao longo dos meses apresentaram menores do que a metade do valor exigido pela legislação para esse tipo de tecnologia.

Um procedimento que se tornou mais frequente foram as descargas de espuma e de lodo, esses fatores influenciaram a partir do mês de março, como pode ser constatado no Gráfico 3. Ao longo dos meses, a frequência de descarte de espuma, de lodo floculento, de denso e lodo dos decantadores foram diminuindo, fazendo que os valores de sólidos aumentassem. No final do mês de abril houve a diminuição da quantidade de descargas de espuma, o que repercutiu no valor de sólidos suspensos totais que foram de 27 para 36 mg/L, mostrado no Gráfico 3, no mês de maio. Além da diminuição de descargas de espuma que ocorreu no mês de abril e permaneceu o mesmo valor no mês de maio, no final do mês de maio, a frequência de descargas dos decantadores diminuiu e também influenciou o valor do SST do mês de junho, que estava em 36 e foi para 48 mg/L. Mostrando que a mudança nos valores provocados pela mudança das descargas de espuma e do decantador possuem grande influência nesse indicador de qualidade.

No Gráfico 4, está representado o comportamento da *Escherichia coli* ao longo do período de acompanhamento do projeto.

Gráfico 4 - Comportamento do parâmetro *E. coli* em efluente tratado



Fonte: Autora (2018)

Os valores de *E.coli* dos primeiros meses são maiores que 3,0E+03 NMP/100mL, demonstrados no Gráfico 4. Isso ocorreu, pois, a etapa de desinfecção apenas foi implantada no final do mês de fevereiro de 2018. Logo, justifica todos os valores maiores que o exigido na Resolução N° 02/2017 da COEMA. Os meses de abril e maio foram os que possuíram os menores teores de patógenos no efluente da ETE José Euclides.

Além da cloração que iniciou no final de fevereiro, outro procedimento que se tornou mais frequente foram as descargas de espuma e de lodo, esses fatores influenciaram a partir do mês de março, conforme apresentado no Gráfico 4.

Na Tabela 10, as principais variáveis estatísticas dos parâmetros físico-químicos são estudadas neste trabalho.

Tabela 10 - Estatística básica dos parâmetros pH, DQO, SST e E. coli do efluente tratado

Variável estatística	pH	DQO	SST	<i>E. coli</i>
N° de dados	9	9	9	9
Mínimo	7,12	55	5	1,00E+00
Máximo	8,09	201	50	8,20E+06
Mediana	7,85	109	30	9,80E+02
Desvio Padrão	0,34	49	15	2,94E+06
Média	7,73	119	29	<u>2,84E+03</u>

Fonte: Autora (2018)

Na tabela acima, o valor sublinhado indica que esse dado é referente uma média geométrica e não uma aritmética, como nos outros casos. Esse cálculo é justificado, pois, uma média aritmética não seria correta já que os valores da *Escherichia coli* são de grandezas diferentes.

De acordo com o demonstrado na Tabela 10 e no Gráfico 1, os meses que apresentaram a demanda química de oxigênio maior que a média do período analisado foram janeiro, fevereiro, junho e julho. Nos dois primeiros meses, foi devido à falta de energia esporádica, como já explicado anteriormente, e nos dois últimos meses ocorreu o aumento do parâmetro devido a diminuição de descargas de lodo floculento e de espuma. Isso ocorreu devido aos leitos de secagem não apresentarem a drenagem necessária devido a colmatção

do tubo drenante, sobrecarregando os leitos e sendo necessária a diminuição das frequências de descarga. Mesmo com esse problema operacional, a DQO apresentou valores dentro do limite máximo.

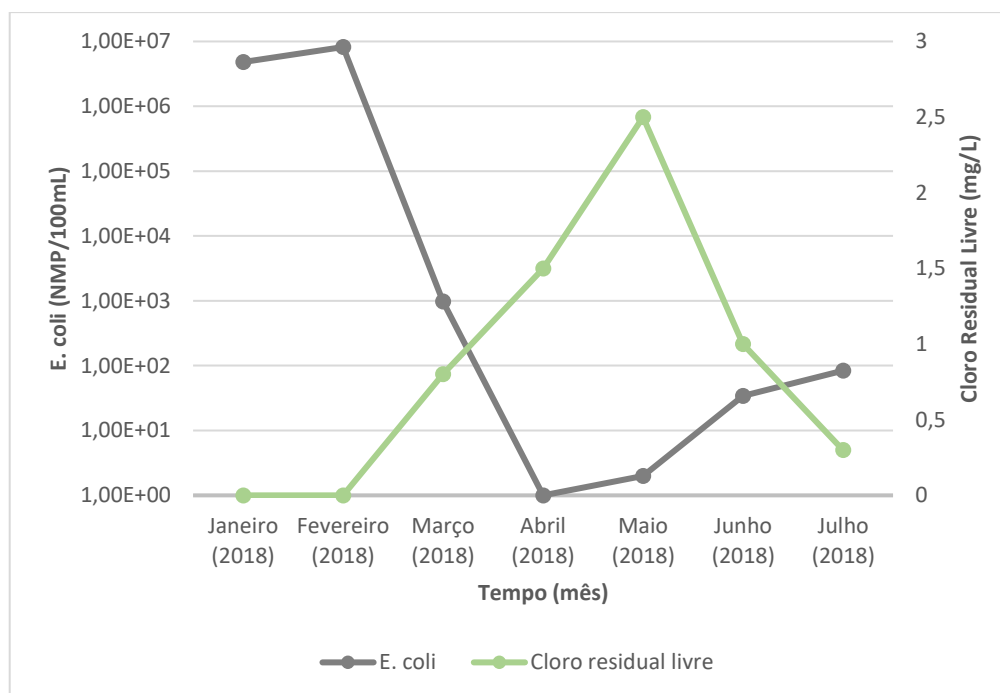
Na Tabela 10 e no Gráfico 2, os meses de março, abril, maio, junho e julho apresentaram valores de pH maiores que a média do período. De acordo com a Tabela 10 e o Gráfico 3, nos meses de novembro, maio, junho e julho, possuíram a concentração de sólidos suspensos totais com valores significativamente maiores que a média aritmética mostrada na Tabela 10.

Considerando o parâmetro *E. coli*, é possível afirmar, pela Tabela 10 e pelo Gráfico 4, que os meses com valores maiores que a média geométrica foram de novembro a fevereiro. Isso ocorreu devido ao processo de cloração ter iniciado no final de fevereiro de 2018. Além disso, a média geométrica desse parâmetro se apresentou menor que o limite da legislação.

A partir do mês de abril, no Gráfico 4, a *E. coli* teve comportamento parecido com o comportamento do parâmetro DQO (representado no Gráfico 1) e do SST (representado no Gráfico 3), um comportamento crescente. Isso ocorre, pois, os microrganismos possuem maior disponibilidade de nutrientes e sólidos que facilitam a sobrevivência desses seres. Além disso, a matéria orgânica pode consumir parte do cloro utilizado para desinfecção, diminuindo a eficiência da cloração e mortalidade dos patógenos.

6.1.2 Relação da E. coli com o cloro residual livre

No Gráfico 5, a relação entre a *Escherichia coli* e o cloro residual livre são apresentados.

Gráfico 5 - Relação da *E. coli* com o Cloro Residual Livre

Fonte: Autora (2018)

Pelo Gráfico 5, é possível perceber a relação entre o cloro residual livre e a *Escherichia coli*, como sendo inversamente proporcionais. A partir do mês de março de 2018, a *E. coli* se apresentou abaixo do limite da legislação.

Podemos utilizar os valores de CRL para identificar a quantidade de hipoclorito de cálcio está sendo suficiente para a manutenção do valor da *E. coli* dentro dos padrões da legislação.

Diante do exposto, a análise de CLR deve continuar sendo feita frequentemente e quando os valores desse parâmetro se apresentarem entre 0,8 e 2,5 mg/L, a quantidade de organismos patogênicos estará dentro do limite da legislação estadual. Esse intervalo de cloro residual livre é indicado para esta estação, não necessariamente para outras, pois o cloro residual livre não reage apenas com microrganismos patogênicos. Para manter o cloro residual livre nessa faixa, utilizou-se em média 13 kg de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ por dia.

6.1.3 Avaliação da eficiência de remoção da DQO

O único parâmetro que foi possível calcular a eficiência de remoção para a estação em estudo foi a DQO. A remoção de matéria orgânica mostrada na Tabela 11 está considerando a remoção global da estação, não apenas a taxa de remoção de um determinado equipamento.

Tabela 11 - Análise estatística da remoção de DQO

Estatística	Remoção DQO (%)
Nº dados	6
Média	89,5%
Mediana	91,5%
Máximo	93,6%
Mínimo	85,1%

Fonte: Autora (2018)

Por essa tabela é possível concluir que a menor taxa de remoção foi de 85,1%, logo, dentro pelo descrito por outros autores, como Nascimento et al. (2000), que obteve cerca de 80 a 94% de eficiência de remoção de DQO. É possível observar que houve uma certa variação entre a eficiência de remoção de DQO, embora, nenhum dos valores seja inferior que 80%. Essa eficiência de remoção da matéria orgânica é importante para mostrar de forma simplificada a eficiência do tratamento nesse tipo de tecnologia.

6.1.4 Utilização da metodologia Índice de Conformidade

Na Tabela 12, são demonstrados os valores de índice de Conformidade para cada parâmetro analisado quanto a qualidade do efluente final e suas classes.

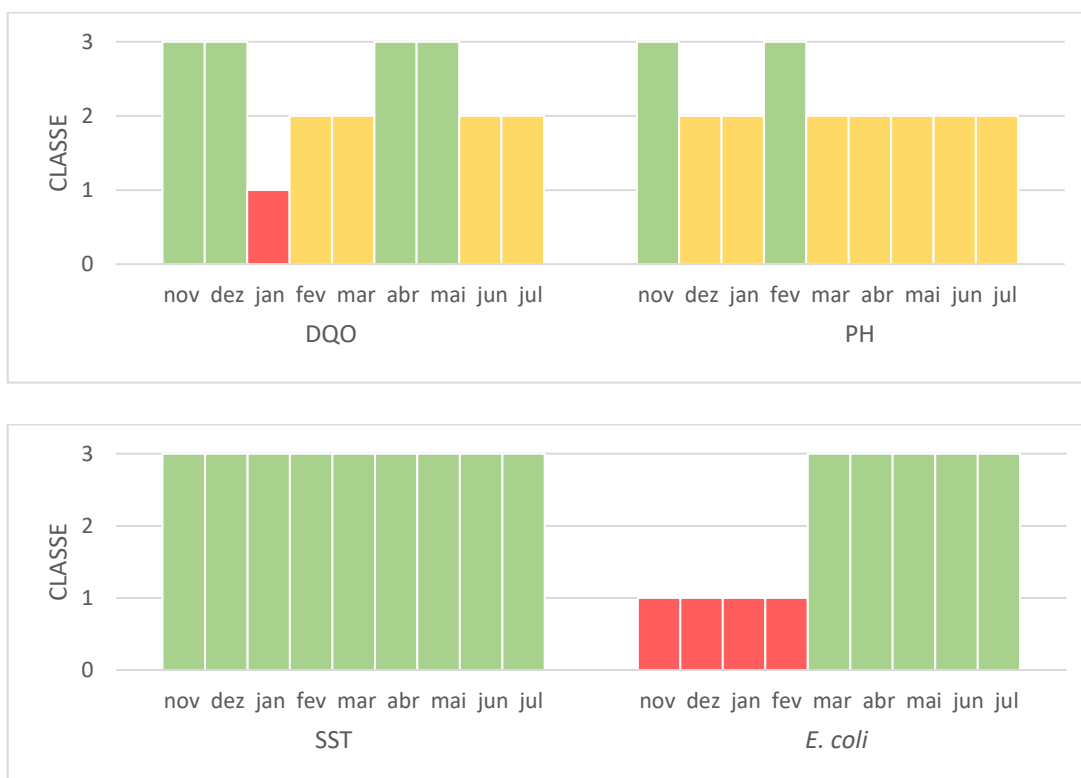
Tabela 12 - Índice de Conformidade para cada parâmetro

Parâmetro do efluente	Índice de Conformidade	Legenda (Classe enquadrada)
DQO (mg/L)	119	Classe 3
E. coli (NMP/100 mL)	2,84E+03	Classe 2
SST (mg/L)	29	Classe 1
pH	7,73	Classe 2

Fonte: Autora (2018)

Pela Tabela 12, é mais simples perceber que todos os ICs estão dentro do estabelecido pela legislação, já que todos se enquadraram nas classes 2 e 3. Entretanto, apenas o índice do SST possui valor que se situa dentro da faixa da classe 3, possuindo um IC bom, coincidindo com o que foi discutido em relação ao Gráfico 3. Considerando os índices em cor amarela na Tabela 12 (IC), todos apresentaram valores distantes em relação ao limite superior da faixa da classe 2.

Gráfico 6 - Comportamento dos parâmetros em relação ao Índice de Conformidade



Fonte: Autora (2018)

No Gráfico 6, é possível perceber o comportamento dos parâmetros ao longo dos meses, sendo possível perceber ações-chave para a melhoria de cada parâmetro. Isso pode ser facilmente constatado pelo comportamento do gráfico de *E. coli* que se apresentou na melhor classe após o início da cloração do efluente.

Essa metodologia traz de forma mais simples a comparação com a legislação e se mostrou de mais fácil entendimento.

6.2 Avaliação de parâmetros de funcionamento dos reatores UASB

Com as informações obtidas na estação em estudo foi possível calcular alguns indicadores de operação dos reatores UASB que estão sendo mostrados na Tabela 13.

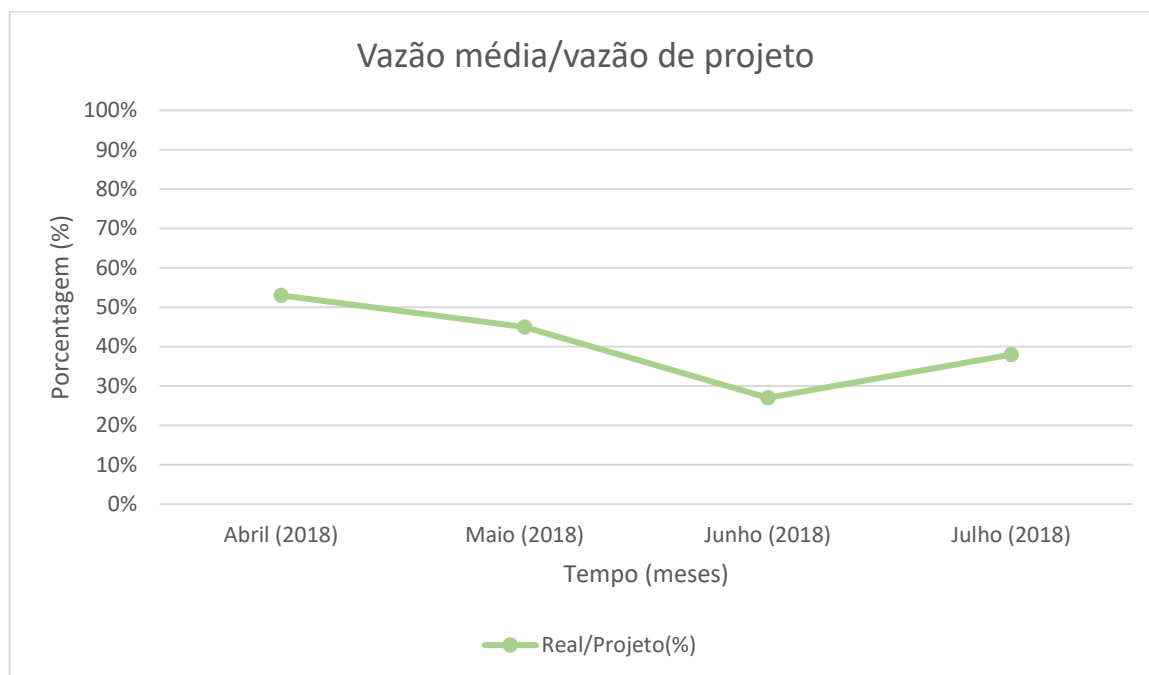
Tabela 13 - Comparação de parâmetros da literatura com valores da ETE

Estatística	V. Asc (m/h)		TDH (h)		COV (KgDQO/m³.d)	
	Real	Esperado	Real	Esperado	Real	Esperado
Média	0,25	0,5 a 0,7	18,85	6 a 9	1,61	2,5 a 3,5

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

É possível perceber pela Tabela 13 que todos os parâmetros não condizem com as faixas definidas por Chernicharo (1997). O provável motivo dessas inconsistências é a vazão da ETE que é bem menor que a prevista em projeto. Como mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7 - Comparação entre a vazão de projeto e a vazão média da estação



Fonte: Autor (2018)

Como é mostrado no Gráfico 7, a vazão real nos meses analisados não se aproxima à vazão de projeto, devido ao Conjunto Habitacional José Euclides não está com todos os apartamentos ocupados atualmente.

Considerando apenas a carga orgânica volumétrica, segundo Gonçalves e Souza (1997), a relação das vazões se confirma, pois, a carga orgânica afluente foi considerada com forte concentração.

Mesmo com a velocidade ascensional, o tempo de detenção hidráulico e a carga orgânica volumétrica estando fora das faixas ideais para UASB, a maioria dos parâmetros de qualidade do efluente final estão dentro do estabelecido pela legislação.

6.3 Indicadores de Desempenho da estação

6.3.1 Avaliação do consumo energético, de produtos químicos e de ocupação do solo

Segundo os dados disponibilizados pela CAGECE, o produto químico utilizado na unidade deste estudo de caso é o Hipoclorito de Cálcio ou cloro. Este tem a função de desinfecção do esgoto, isso ocorre no tanque de contato após o tratamento dos filtros submersos aerados e dos decantadores lamelares. A Tabela 14 apresenta estatística descritiva do consumo de energia e de produto químico e da ocupação do solo com o tratamento.

É possível observar na tabela abaixo que o consumo de hipoclorito de cálcio não varia muito ao longo dos meses, isso ocorre, pois, os operadores possuem o padrão de colocar 15,4 kg do produto diariamente. As maiores variações, observadas através do desvio padrão, podem ter ocorrido devido a falta do produto na estação.

Tabela 14- Indicadores de desempenho de energia e de produto químico

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Potência consumida(kwh/mês)	4	11285,75	11401,00	10364,00	11978,00	708,75
Cloro (kg/mês)	4	381,15	377,30	323,40	446,60	53,90
Ocupação do solo pelo tratamento (m ² /m ³)	4	0,11	0,10	0,08	0,16	0,03
Potência consumida(kwh/kg DQO removida)	4	0,67	0,68	0,62	0,71	0,04

Fonte: Autora (2018)

Com relação a potência consumida por mês, as variações entre os KWh mensais foram pequenas e as maiores variações foram devido a problemas elétricos nos meses de janeiro e fevereiro.

Considerando a ocupação do solo pelo tratamento, as pequenas diferenças entre os valores devem-se pela variação da vazão ao longo dos meses. Esses valores mostram a eficiência dessas tecnologias de tratamento, pois, para uma baixa área é possível atender grandes volumes de esgoto. Isso tem relação também aos baixos tempos de detenção que as

tecnologias da ETE José Euclides possuem, passando pouco tempo em tratamento se comparado ao TDH de lagoas de estabilização.

O último indicador da Tabela 14 tem como função principal relacionar a quantidade de energia elétrica utilizada com uma das principais funções das estações de tratamento que é a remoção de matéria orgânica. Esse indicador possui a facilidade de comparar os meses de uma ETE ou de comparar o valor entre dois sistemas. Embora tenham ocorrido variações na quantidade de DQO removida ao longo dos meses, é possível afirmar isso a partir do Gráfico 1 e da Tabela 9, a potência consumida também acompanhou essas variações, como demonstrado pelo pequeno desvio padrão e pequenas diferenças no valor máximo e mínimo.

6.3.2 Avaliação dos custos

A Tabela 15 apresenta uma estatística descritiva dos principais custos da ETE José Euclides.

Tabela 15 - Indicadores de desempenho relacionados aos custos operacionais

Estatística	Nº dados	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Energia Elétrica (R\$/mês)	6	6994,51	7047,10	6085,63	7851,17	776,83
Produtos Químicos (R\$/mês)	4	2656,62	2629,78	2254,10	3112,80	375,68
Custo com Energia e Produto Químico(R\$/mês)	4	9651,13	9676,88	8339,73	10963,97	1152,51

Fonte: Autora (2018)

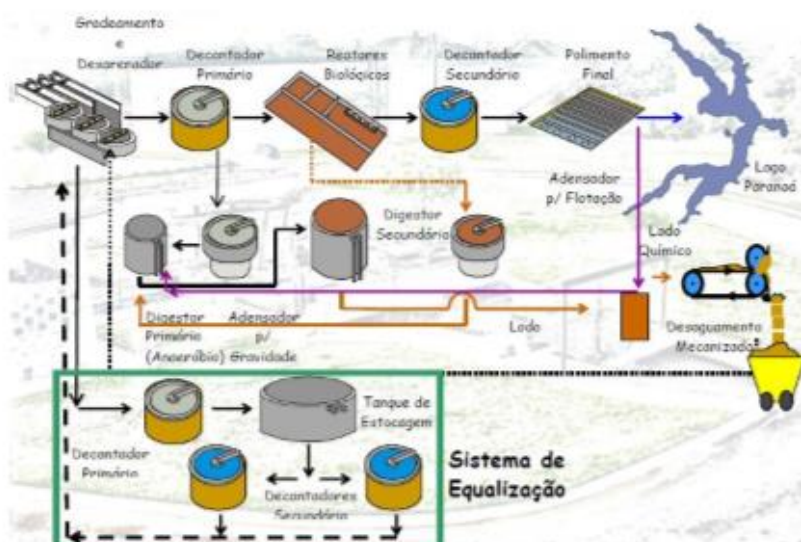
Dentre os custos discriminados, o valor com a média mais elevada é relacionado com energia elétrica, devido a estação necessitar de aeração no FSA e de bombeamento do esgoto bruto e tratado. Isso é explicado, pois, o tipo de tratamento utiliza microrganismos

que vem do próprio líquido para degradar o esgoto doméstico, utilizando poucos produtos químicos para auxiliar no processo de tratamento. Considerando que a estação funciona 24 horas por dia e o indicador de potência por DQO removida é baixo, pode se afirmar que os gastos dessa estação com relação a energia poderiam ser maiores, entretanto, isso não ocorre por muitas das atividades no local serem manuais. Embora esse gasto seja bem maior se comparado a lagoas de estabilização, que não necessitam desse recurso energético ou necessitam apenas para bombeamento do líquido.

6.3.3 Análise comparativa entre ETEs

Na ETE Brasília Norte, os esgotos sanitários são coletados e encaminhados por gravidade e por bombeamento para a entrada da estação, onde a carga hidráulica afluyente ao tratamento é controlada por uma comporta, podendo, em parte, ser desviada para um sistema de estocagem de esgoto bruto.

Figura 13 - Representação da ETE Brasília Norte



Fonte: Caesb (2011 *apud* BARROS,2013)

Este sistema, que iniciou sua operação em junho de 2005, funciona como uma equalização de vazão e utiliza-se das estruturas da ETE Brasília Norte antiga. O líquido sobrenadante, que constitui o efluente dos decantadores secundários, segue para o polimento final, onde os sólidos e fósforo remanescentes são removidos por meio dos processos de floculação, com adição de produtos químicos (sulfato de alumínio e polieletrólito aniônico)

e separação por flotação por ar dissolvido. Vale ressaltar que, devido a vazão média afluente ser bem inferior à vazão média de projeto e a existência de equalização, algumas unidades não necessitam estar em operação. No momento, apenas quatro reatores biológicos (tanques de aeração) existentes, apenas dois estavam em funcionamento. Visando minimizar o impacto provocado pelas emissões de odor na ETE Brasília Norte, é realizada a dosagem de cloreto férrico na entrada da estação. Encontram-se em andamento as obras de controle de odor que irão cobrir as unidades críticas, coletar e tratar os gases.

Tabela 16 - Comparação de parâmetros entre duas ETES

Estatística	Média	
	ETE José Euclides	ETE Brasília Norte
DQO efluente tratado (mg/L)	119	133
CTT efluente tratado (NMP/1000L)	3,40E+06	9,43E+04
Vazão (L/s)	14,71	920,00
População de projeto (hab)	11968	250000

Fonte: Adaptado de Barros (2013)

Pela Tabela 16 é possível perceber que as estações possuem proporções muito diferentes de população e vazão, embora a DQO efluente tratado das duas estações estejam com valores bem próximos.

Em relação a Tabela 17, utiliza-se indicadores de desempenho para cada comparar as ETES.

Tabela 17 - Comparação entre indicadores de desempenho relacionados a eficiência operacional

Estatística	Média	
	ETE José Euclides	ETE Brasília Norte
Potência consumida(kWh/m ³ esgoto)	1,430	0,649
Cloro (kg/ m ³ esgoto)	0,053	-
Custo energia (R\$/m ³ esgoto)	0,965	0,161
Custo prod. Químico (R\$/m ³ esgoto)	0,366	0,135

Fonte: Adaptado de Barros (2013)

Na Tabela 17, é possível perceber que a ETE José Euclides possui uma potência consumida maior que a estação localizada no Distrito Federal, embora esta ETE seja mecanizada em boa parte do seu tratamento e operação. Isso ocorre pelo grande porte da ETE Brasília Norte, ou seja, pelo grande volume tratado por ela.

Além disso, pelos valores de custo energia e potência consumida na Tabela 17 é possível afirmar que o valor cobrado como taxa de energia no Estado do Ceará é maior que a taxa de energia cobrada em Brasília.

Com relação aos produtos químicos, para aumento da eficiência da estação Brasília Norte são utilizados alguns flutuadores e outros compostos para auxiliar no tratamento do esgoto desse local. E nesta estação não se utiliza cloração. Diferentemente da ETE cearense que possui desinfecção por cloro e não utiliza outros produtos químicos em seu tratamento. Embora o custo de produto químico pelo volume de esgoto tratado seja maior na ETE José Euclides, isso pode ser justificado pela grande diferença na quantidade de efluente tratado.

6.4 Indicadores de Desempenho para estações do Ceará

Consumos energéticos variados em função do sistema de tratamento de cada ETE e outras características como a necessidade de utilização de bombas para recalque do efluente e de sistema de aeração para nitrificação, dentre outras. Para compensar tais diferenças, os autores recomendam o ajuste dos dados para a quantidade de quilowatts-horas necessários para realização da operação que demanda energia, assim pode-se trabalhar com kWh por população equivalente e ano. Acredita-se que, desta forma, o ID não será perfeito, mas será mais relevante.

Os indicadores recomendados para o cenário cearense de saneamento, expostos nas Tabelas 18 e 19 e calculados neste trabalho que aparecem nas Seções 6.3.2 e 6.3.3, são ligados aos seguintes assuntos: recursos humanos, qualidade do serviço prestado, operacional e custos de tratamento. Alguns indicadores foram modificados dos originais da IWA.

Essas sugestões de critérios de acompanhamento são voltadas para o tratamento de esgotos e seus recursos envolvidos, entretanto, alguns dos indicadores que aparecem nas Tabelas 18 e 19 podem ser utilizados em outros pilares do saneamento.

Tabela 18- Indicadores de desempenho operacional para as estações do Ceará

Indicadores	Equação
1. Reparo de redes e conexões (Nº/100km/ano)	-
2. Falha de bombas (horas/bomba/ano)	-
3. Atendimento de ETEs ao padrão de lançamento (%/ano)	-
4. Índices de estações elevatórias críticas (%)	Elevatórias críticas/ total de elevatórias
5. Consumo de energia com atividade específica (KW/h/mês)	-
6. Acidentes de trabalho (nº / 100 func./ano)	-
7. Índice de treinamento em lugares fechados (%)	Nº de funcionários treinados/ total de funcionários que trabalham em locais fechados
8. Emissões de gases de efeito estufa	kg CH4/ número de ETEs
9. Destino do Lodo	ETEs que destinam para aterros/ número de ETEs
10. População conectada à rede coletora (%)	População conectada à rede de esgoto/ População da região
11. Número de operadores por ETE	Número de operadores /número de ETEs
12. Total de operadores totalmente treinados (%)	Nº de operadores treinados em todos os procedimentos/ nº total de operadores
13. Receita média por conexão (R\$/conexão)	-
14. Cobertura dos custos de operação	Custos de operação/ Receita da ETE
15. Despesas com energia elétrica (R\$)	-
16. Despesas com materiais, produtos químicos e outros insumos (R\$)	-
17. Reúso de efluente (%)	Volume de efluente de reúso em outras atividades/ volume de efluente tratado

18. Consumo de energia em ETEs (kWh/p.e/ano)	-
19. Produção de lodo na ETE (m ³ ou kg)	-

Fonte: Autora (2018)

Com relação ao reparo de redes e conexões, o objetivo principal é quantificar os serviços de melhorias para melhorar a qualidade desses serviços prestados, diminuindo os desperdícios, as contaminações do solo e as reclamações da vizinhança.

Com relação a Tabela 18, os IDs 2 e 4 possuem como objetivo mapear e quantificar os problemas nas bombas nas elevatórias, sendo possível distinguir algumas causas dessas falhas, diminuindo a quantidade de ocorrências.

Considerando o indicador nº 3, ele é de suma importância para mapear os principais problemas que fazem com que algumas das estações não atendam o padrão estadual.

Com relação aos acidentes de trabalho, item Nº 6, o indicador relacionado a esse problema é necessário para avaliar a segurança dos funcionários no ambiente de trabalho.

Já os indicadores 7, 11 e 12 são voltados para o conhecimento em relação as atividades exercidas pelos operadores e quanto a disponibilidade desses operadores para poderem desenvolver a rotina operacional.

Para os IDs 8, 9, 17 e 19, a recomendação dos seus cálculos é devido a necessidade de quantificação dos produtos resultantes em ETEs, tanto para verificar se estão sendo destinados corretamente quanto para criação de metas futuras para reaproveitamentos desses subprodutos.

Em relação ao indicador 5, é possível quantificar o consumo para cada tipo de equipamento, como o consumo para bombeamento do efluente ou para aeração do líquido. Ainda em relação ao consumo energético, os IDs 15 e 18 são importantes tanto para saber os custos com esse recurso quanto para o consumo em cada tipo de tecnologia e se é possível diminuir o consumo com algumas atitudes como a mudança de rotina para que não ocorra a grande utilização de energia durante os horários de pico.

Com a necessidade de universalização do direito ao saneamento, o indicador n° 10 é de suma importância. Na Tabela 18, os indicadores 13 e 14 são insumos para perceber os custos totais do tratamento de esgotos e se o valor faturado é suficiente para arcar com essas despesas. Para relacionar os gastos com produtos químicos com outros recursos utilizados nas ETEs, o indicador n° 16 é indispensável.

7 CONCLUSÃO

Considerando a eficiência de remoção de matéria orgânica, o sistema apresentou alta eficiência, embora a DQO efluente não esteja enquadrada na classe 3 da metodologia de índice de conformidade apresentado neste trabalho. Isso ocorre devido à alta carga orgânica do esgoto nessa região, mostrado na Tabela 9. A metodologia de índices de conformidade apresentada neste trabalho facilita a tomada de decisão para a destinação de recursos, pois com ela é possível comparar diferentes parâmetros e devido à simplicidade de classificação, de cálculo e de identificação das classes. Embora, pelos valores dos ICs serem obtidos por médias, não é possível ver a variação de cada parâmetro ao longo do tempo.

Analisando os parâmetros físico-químicos do efluente final, foi possível afirmar que nos meses junho e julho, a estação apresentou valores de DQO, SST e pH maiores que as médias e isso pode ser relacionado a sobrecarga dos leitos de secagem e a diminuição das frequências de descargas. Embora, os valores citados estivessem dentro dos limites da legislação estadual, essa relação pode demonstrar a importância do controle de descarte de lodo em uma estação de tratamento de esgotos do tipo reator anaeróbio. Comparando com os problemas elétricos que ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro, a sobrecarga dos leitos tiveram mais influências sobre os resultados do esgoto tratado que os problemas de bombeamento e aeração. Importante salientar que esses problemas elétricos ocorriam esporadicamente e que não está sendo afirmado que um problema é mais grave que o outro, apenas no caso desta estação, um dos problemas modificou mais a qualidade do efluente.

Comparando o cloro residual livre e a *E.coli*, essa relação foi identificada no caso desta estação, não é uma regra para todas, já que o CRL também está relacionado a presença de substâncias nitrogenadas e matéria orgânica. Além disso, utilizar a dosagem de produto químico recomendada para esta estação neste trabalho fará com que não seja gasto recursos mais que necessário e que o parâmetro de *E. coli* não esteja fora do padrão.

Os IDs sugeridos para serem utilizados pela companhia de esgoto cearense devem ser calculados durante um período de 12 meses e após coletados os valores médios desses indicadores (e suas faixas) devem ser estabelecidas metas trimestrais, semestrais ou anuais. Por fim, foi possível concluir que indicadores são necessários tanto para comparar tecnologias de tratamento diferentes quanto estações de locais diferentes e que também são importantes para analisar e corrigir problemas que talvez passassem despercebidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648/86: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986;

BARROS, Raphael T. de V. et all. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

BARROS, Izabela Pinheiro Alves Felipe. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal**. 2013. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 430 de 13 de maio de 2011**. Publicada no Diário Oficial da União em 16 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2013;

BROSTEL, R. C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETES)**. 2002. 133f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002

BRASIL. **Lei Nº 11445 de 5 de janeiro de 2007**. Publicado no Diário Oficial da União em 8 de janeiro de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/111445.htm. Acesso em 23 de junho de 2013;

CAGECE – **COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ**. Disponível em <<https://www.cagece.com.br/esgotamento-sanitario/tratamento>>. Acesso em 15 de julho de 2018

CAMPOS, Felipe Rocha. **Monitoramento da operação de estações de tratamento de esgoto com efluente de origem doméstica**. 2017. 123 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2017.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Vol. 5. UFMG. Belo Horizonte, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores anaeróbios**. v. 5, 2ª edição, Belo Horizonte: Ed. UFMG, 380 p., 2007.

COEMA – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 154, 2002**.

COEMA – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 2, 2017**. Disponível em <http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Resolucao-Coema-02-2017.pdf> Acesso em: 15 de julho de 2018.

CEARÁ, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). **Relatório de verificação de conformidade legal e ambiental – GECCOQ, 2018**.

CEARÁ, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). **Croqui esquemático da ETE José Euclides – Planta baixa, 2017**.

DOS SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

FERREIRA, R. G. **Eficiência do sistema de tratamento de esgoto sanitário de um condomínio residencial no município de Rio Branco, 2009**.

FONTANA, H. **Pós-tratamento de esgoto sanitário com biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granular: desempenho técnico e estudo de viabilidade econômica. 2007**.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais** Engº e Profº. Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ. Rio de Janeiro – RJ. (2005).

GONÇALVES, F. B., SOUZA, A. P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história e prática**. Rio de Janeiro: ABES, 1 ed. 1997.

INSTITUTO REGULADOR DE ÁGUAS E RESÍDUOS – IRAR. **Relatório anual do sector de águas e resíduos de Portugal (2007) – Avaliação da qualidade do serviço prestado**. Lisboa, 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Segrac Editora Belo Horizonte 906. p., 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LETTINGA, Gatzke. **Anaerobic digestion and wastewater treatment systems**. Antonie van Leeuwenhoek, Volume 67, Issue 1, pp 3–28. 1995.

MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. **Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais**. Lisboa: IRAR-LNEC, 2004. 283 p.

MOLINARI, A. Panorama mundial. In: GALVÃO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. C. **Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto** (Eds.). 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006. p. 54-74.

NASCIMENTO, M.C.P, CHERNICHARO, C.A.L., GARCIA, P.B.S. (2000). **Avaliação de filtros biológicos aeróbios como pós-tratamento de efluente de reatores UASB**. Anais do IX SILUBESA, 09-14 de abril de 2000, Porto Seguro, BA.

NUVOLARI, A. (Coordenador). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Ed. Edgard Blücher LTDA, 1ª Ed., São Paulo, 2003.

ORTEGA, C.; SOLOGABRIELE, H.M.; ABDELZAHER, A.; WRIGHT, M.; DENG, Y (2009) **Correlations between microbial indicators, pathogens, and environmental factors in a subtropical estuary**. Marine Pollution Bulletin, v.58, n.9.

PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DO SANEAMENTO – PMSS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2008. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Programa de Modernização do Setor Saneamento, Brasília, DF, 2009.

SANEBRÁS – PROJETOS, CONSTRUÇÕES E CONSULTORIA LTDA (FORTALEZA). **Projeto da Estação de Tratamento de Esgoto do Conjunto Residencial Euclides Ferreira Gomes em Fortaleza-Ce**. Fortaleza, 2015.

SILVA, S. A; MARA, D. D. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização**, 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140p.

TONETTI, A. L. **Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia**. 140p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

U.S.EPA. **Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection. EPA/625/1-86/021**. Cincinnati,OH. 1986.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Princípios Básicos do Tratamento de Esgoto**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 1. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. DESA-UFMG. 3ª Ed. 456p. 2005.

WEF (1998). **Standard methods for the examination of water and esgoto sanitário. 20th edition**. Washington.