



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HELENAMARA FONSECA SOBRINHO DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE ÍNDICE DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO COMO
FERRAMENTA DE APOIO AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES**

FORTALEZA

2023

HELENAMARA FONSECA SOBRINHO DE OLIVEIRA

PROPOSTA DE ÍNDICE DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO COMO
FERRAMENTA DE APOIO AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O47p Oliveira, Helenamara Fonseca Sobrinho de.
Proposta de Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário como ferramenta de apoio ao lançamento de efluentes / Helenamara Fonseca Sobrinho de Oliveira. – 2023.
132 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Ana Bárbara de Araújo Nunes.
1. Estações de Tratamento de Efluentes. 2. Índice de Tratamento de Esgoto. 3. Lançamento. I. Título.
CDD 627
-

HELENAMARA FONSECA SOBRINHO DE OLIVEIRA

PROPOSTA DE ÍNDICE DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO COMO
FERRAMENTA DE APOIO AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovado em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva
Universidade Federal do Ceará - UFC

Profª. Dra. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
Universidade Federal do Pará - UFPA

Profª. Dra. Carla Bastos Vidal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

A minha mãe, minha melhor
amiga, que foi o meu maior apoio
nos momentos de angústia

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pelo exemplo, força, orientação e companhia em todos os momentos difíceis nesta caminhada.

Aos meus pais, *Francisca Ildete Fonseca e José Nascimento Sobrinho*, por todo cuidado, amor e base sólida de educação oferecida.

A minha orientadora, Dra. *Ana Bárbara de Araújo Nunes*, pela oportunidade e orientação prestada neste doutorado.

Aos meus amigos e turma de doutorado: *Vicente, Eliel, Stephanie e Herivanda*, pelo amor, companheirismo e experiências compartilhadas.

A CAGECE pelas informações disponibilizadas, em especial, ao *Gilmar Pacífico de Sousa*, Coordenador Técnico de Sistemas de Tratamento de Esgotos Isolados da UNMTE, por toda a colaboração com a pesquisa.

Aos professores participantes da banca examinadora, pela disponibilidade e por todas as contribuições.

A CAPES pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa.

“A natureza não se apressa;
contudo, tudo é realizado.”

(Lao Tsé)

RESUMO

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), componentes básicos dos serviços de saneamento básico, são essenciais para a mitigação da escassez hídrica, porém possuem graves problemas operacionais ou de projeto, que comprometem os processos de tratamento e lançam efluentes com qualidade inferior ao esperado para os corpos hídricos receptores. O objetivo deste estudo foi a construção de um Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário (ITES), como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão para o lançamento dos efluentes tratados, a fim de reduzir o impacto sobre os recursos hídricos. Para isto foram escolhidas 50 ETEs, no município de Fortaleza-Ce com quatro tecnologias de tratamento: reatores UASB com biofiltro aerado submerso seguido de cloração (UASB + BF + CLOR), seguidos apenas de cloração (UASB + CLOR); lagoas de estabilização (LE) e decanto-digestores associados a filtros anaeróbios seguidos de cloração (DD + FA + CLOR). O estudo consistiu em análise estatística dos dados, aplicação de Análise de Componentes Principais (PCA) e construção do índice de 16 ETEs com as tecnologias UASB e LE, e a análise da qualidade do efluente de 34 ETEs com todas as tecnologias analisadas. Os parâmetros avaliados foram Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e *Escherichia coli* (E.coli). Para o índice foi avaliada a qualidade quanto ao atendimento das legislações de lançamento de acordo com as seguintes faixas de atendimento: insatisfatório (0 – 39,9), satisfatório (40 – 69,9) e excelente (70 – 100). Os melhores ITESs gerados foram de estações com reator UASB + BF + CLOR, enquanto 50% das 16 ETEs apresentaram atendimento insatisfatório às legislações ambientais. Para as 34 ETEs analisadas, o parâmetro mais avaliado foi a DQO, cujas concentrações em sua maioria estiveram acima de 200 mg/L. Para esse grupo de estações, 21% foram destaques positivos com conformidade dos seus parâmetros com a legislação ambiental para a maioria das suas médias semestrais, enquanto 62% estiveram não conformes. De maneira geral, a maioria das estações avaliadas não estão aptas para o lançamento nos corpos hídricos receptores, exigindo a avaliação dos seus processos de tratamento para adequação as exigências das legislações ambientais.

Palavras-chave: Estações de tratamento de efluentes; índice de tratamento de esgoto; lançamento.

ABSTRACT

Wastewater Treatment Plants (WWTPs), basic components of basic sanitation services, are essential for mitigating water scarcity, but they have serious operations or project problems, which compromise the treatment processes and release effluents with lower quality than expected for receiving water bodies. The objective of this study was the construction of the Sanitary Sewage Treatment Index (SSTI), as a tool to aid decision-making for the release of treated effluents, in order to reduce the impact on water resources. For this, 50 WWTPs were chosen, in the city of Fortaleza-Ce, with four treatment Technologies: UASB reactors with submerged aerated biofilter followed by chlorination (UASB + SAB + CHLO), followed only by chlorination (UASB + CHLO), stabilization ponds (SP) and digester decant associated with anaerobic filters followed by chlorination (DD + AF + CHLO). The study consisted of statistical analysis of the data, application of Principal Component Analysis (PCA) and construction of the index of 16 WWTPs with UASB and SP Technologies, and the analysis of the quality of the effluent of the 34 WWTPs with all the analyzed technologies. The parameters evaluated were Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS) and Escherichia coli (E.coli). For the index, quality was evaluated in terms of compliance with environmental legislation according to the following service ranges: unsatisfactory (0 – 39.9), satisfactory (40 – 69.9) and excellent (70 – 100). The best SSTI generated were from WWTP with UASB + SAB + CHLO, while 50% of the 16 WWTP showed unsatisfactory compliance with environmental legislation. For the 34 SSTP analyzed, the most evaluated parameter was COD, whose concentrations were mostly above 200mg/L. For this group of WWTPs, 21% were positive highlights with compliance of their parameters with environmental legislation for most of their half-yearly averages, while 62% were non-compliant. In general, most of the evaluated WWTPs are not suitable for launching in receiving water bodies, requiring the evaluation of their treatment processes to adapt to the requirements of environmental legislation.

Keywords: Wastewater treatment plants; sewage quality index; release.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATD	Apoio à Tomada de Decisão
BF	Biofiltro aerado submerso
BTS	Bartlett's test of sphericity
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CLOR	Cloração
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DD	Decanto-Digestor
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E.coli	<i>Escherichia coli</i>
E.E.	Estação Elevatória
EPC	Estação de Pré-Condicionamento
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FA	Filtro Anaeróbio
IQA	Índice de Qualidade de Água
ITES	Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário
KMO	Teste Kaiser-Meyer-Olkin
LE	Lagoa de Estabilização
NMP	Número Mais Provável
PC	<i>Principal Component</i>
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
qi	Qualidade da variável
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UNMTE	Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto
UNMTO	Unidade de Negócio Metropolitana Oeste
UNMTS	Unidade de Negócio Metropolitana Sul

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fatores importantes para a qualidade operacionais de ETEs.....	27
Figura 2 – Abordagem geral da evolução das ATDs aplicadas às ETEs	33
Figura 3 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Cocó, Ceará, Brasil	40
Figura 4 – Processo de verificação da adequabilidade dos dados	48
Figura 5 – Etapas para a aplicação de PCA.....	50
Figura 6 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Centro de Eventos.....	66
Figura 7 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Castelão	67
Figura 8 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Aldemir Martins.....	68
Figura 9 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES(d) para a ETE Rosalina	70
Figura 10 -ITESs das estações com tecnologia reator UASB + BF + CLOR	71
Figura 11 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Sítio Santana	72
Figura 12 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Aracapé III	74
Figura 13 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Lago Azul.....	75
Figura 14 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Itaperí.....	77
Figura 15 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Riacho Doce.....	78
Figura 16 - ITESs das estações com tecnologia reator UASB + CLOR	79
Figura 17 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a <i>ETE Conjunto Palmeiras</i>	81
Figura 18 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a <i>ETE Tupã Mirim</i>	82
Figura 19 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE João Paulo II	83
Figura 20 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE São Cristóvão	85

Figura 21 - ITESs das estações com tecnologia LE + CLOR	86
Figura 22 - ITESs categorizados por estações estudadas	88
Figura 23 - Número de análises realizadas nas ETEs não enquadradas no método do ITES ..	90
Figura 24 - Número de análises realizadas das <i>ETEs Almirante Tamandaré</i> (a) e <i>Aracapé</i> (b)	91
Figura 25 - Número de análises realizadas das <i>ETEs Tancredo Neves</i> (a) e <i>Itaperussu</i> (b).....	93
Figura 26 - Concentrações médias de DBO das <i>ETEs 01 de março</i> (a) e <i>Pequeno Mondubim</i> (b)	94
Figura 27 - Concentrações médias de SST das <i>ETEs Monte Líbano</i> (a) e <i>Pequeno Mondubim</i> (b)	95
Figura 28 - Concentrações médias de E.coli das <i>ETEs Monte Líbano</i> (a) e <i>Aracapé I</i> (b).....	97
Figura 29 - Destaques positivos dentre as ETEs não enquadradas no método do ITES	101
Figura 30 - Destaques negativos dentre as ETEs não enquadradas no método do ITES	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estação de tratamento selecionadas para o estudo, diferenciadas de acordo com suas tecnologias de tratamento	43
Tabela 2 - Faixas para a qualidade das variáveis (qi)	54
Tabela 3 - Designação qualitativa das classes do ITES	55
Tabela 4 - Estatística descritiva dos dados das ETES selecionadas para aplicação do índice ..	57
Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados de efluentes das ETES selecionadas, organizados por tecnologia de tratamento	58
Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros analisados por tecnologias para as ETES selecionadas para aplicação do índice	59
Tabela 7 - Valores do teste KMO por tecnologia de tratamento para as ETES selecionadas para aplicação do índice	60
Tabela 8 - Resultados de PCA para reator UASB + BF + CLOR para o período de 2016-2020	62
Tabela 9 - Resultados de PCA para reator UASB + CLOR para o período de 2016-2020	63
Tabela 10 - Resultados da PCA para LE + CLOR para o período de 2016-2020	63
Tabela 11 - Percentuais de atendimento aos limites de lançamento e classificação de acordo com o ITES das estações	87
Tabela 12 - Quantidades de análises por parâmetro, conformes e não conformes com a legislação ambiental das ETES não enquadradas no método do ITES	98

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	37
Equação 2	37
Equação 3	48
Equação 4	48
Equação 5	50
Equação 6	51
Equação 7	52
Equação 8	53
Equação 9	62
Equação 10	63
Equação 11.....	64

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVOS	19
2.1.	<i>Objetivo geral</i>	19
2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	19
3.	REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1.	Estações de Tratamento de Efluentes e seus impactos ambientais	20
3.2.	Tecnologias de tratamento de efluentes em Fortaleza/CE	23
3.2.1.	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)</i>	23
3.2.1.1	Reator UASB com biofiltro aerado submerso	24
3.2.2.	<i>Lagoas de estabilização</i>	24
3.2.3.	<i>Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio</i>	26
3.4.	Legislação Ambiental relacionada ao lançamento de efluentes	30
3.5.	Ferramentas de apoio à tomada de decisão e ETES	31
3.5.1.	<i>Abordagens conceituais</i>	32
3.5.2.	<i>Aplicações as questões ambientais</i>	33
3.6.	Índices ambientais	34
3.6.1.	<i>Metodologias de índices ambientais</i>	34
3.6.1.1.	Índices aplicados ao saneamento	37
4.	METODOLOGIA	40
4.1.	Área de estudo	40
4.1.1.	<i>Bacia de Esgotamento Sanitário do Cocó</i>	40
4.1.2.	<i>Estações de Tratamento de Efluentes</i>	42
4.1.2.1.	Seleção de parâmetros	44
4.2.	Construção do Índice	47
4.2.1.	<i>Metodologia utilizada</i>	47
4.2.1.1.	Análise de Componentes Principais	49
4.2.2.	<i>Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário</i>	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1.	Análises dos dados	56
5.2.	Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário	58
5.3.	Avaliação das ETES não enquadradas no método do ITES	88

6. CONCLUSÕES.....	103
REFERÊNCIAS	105
<i>ANEXO A – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM OPERAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO COM SUAS RESPECTIVAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO</i>	<i>113</i>
<i>ANEXO B – VALORES DAS MÉDIAS SEMESTRAIS, QUALIDADES CALCULADAS POR PARÂMETROS E ITES DAS ESTAÇÕES NOS PERÍODOS ANALISADOS.....</i>	<i>116</i>
<i>ANEXO C – QUANTIDADE DE ANÁLISES E MÉDIAS SEMESTRAIS DAS ETES NÃO ENQUADRADAS NO MÉTODO DO ITES</i>	<i>121</i>

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos, que os torna acessíveis em quantidade e qualidade adequadas, é uma ferramenta de garantia da segurança hídrica no mundo. Porém, fatos associados ao crescimento demográfico e econômico e às mudanças climáticas causam cada vez mais estresses aos recursos hídricos, podendo inferir na sua adequabilidade em quantidade e qualidade e ocasionar grave crise hídrica global (MÜLLER; AVELLÁN; SCHANZE, 2020).

Uma opção para a mitigação da escassez hídrica é a oferta de serviços adequados de saneamento básico. Porém, no mundo, 2,4 bilhões de pessoas estão vivendo sem saneamento adequado. Em países menos desenvolvidos, cerca de 50% das escolas não possuem acesso a instalações sanitárias. No período de 2000 a 2015, houve um crescimento de apenas 9% da população mundial que dispõe de pelo menos um serviço básico de saneamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021).

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) estão nesse cenário como importantes componentes dos serviços de saneamento básico. São instalações que podem contribuir para a mitigação da escassez hídrica através do tratamento de águas residuais. Os processos das ETEs envolvem a remoção de poluentes potencialmente poluidores, para a produção de água tratada ambientalmente segura. Esta água pode ser reutilizada, por exemplo na agricultura, ou devolvida ao meio ambiente. (MUSTAPHA; MANAN; WAN ALWI, 2017).

Porém, a falta de monitoramento ou avaliação dos processos envolvidos nas ETEs, pode acarretar descargas que excedem os limites exigidos em legislações específicas, gerando episódios de poluição. Alguns estudos já demonstraram uma redução insuficiente de poluentes preocupantes tais como nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Logo, estes poluentes continuam sendo depositados nos corpos hídricos receptores. (BATEGANYA *et al.*, 2015; GOSSET *et al.*, 2021).

A avaliação dos riscos reais destas descargas é dificultada pelo monitoramento inadequado do lançamento de efluentes e pela variedade de parâmetros ambientais. Essas questões relacionadas aos perigos ambientais e seus riscos associados têm aumentado as preocupações voltadas às ETEs nas últimas décadas. (PRASSE *et al.*, 2015).

No Brasil, a universalização de acesso ao saneamento básico ainda é uma realidade distante, enfrentando problemas de baixo reinvestimento no setor. Com relação aos serviços de tratamento de esgoto apenas 49,1% destes são tratados. Aproximadamente metade da população

não tem acesso à rede de esgoto, utilizando medidas alternativas a geração de seus dejetos. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021). Em Fortaleza, capital do estado do Ceará, o índice de cobertura de esgoto chega a 62,39%, com uma rede coletora com extensão de 2.532,324 km (CEARÁ, 2021a).

Na capital cearense, o esgotamento sanitário consiste nos sistemas integrado e isolados, e opera com 133 ETEs instaladas e uma Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) (CEARÁ, 2021a). O sistema integrado transporta o efluente para a EPC, enquanto os sistemas isolados não estão interligados ao sistema integrado e sua coleta, tratamento e disposição ocorre no mesmo local. De acordo com dados do Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza, parte considerável dos efluentes gerados nos sistemas isolados se encontra fora dos padrões exigidos para o lançamento em corpos receptores, operando, na sua maioria, sem o devido licenciamento ambiental e contribuindo para a poluição dos corpos hídricos (FORTALEZA, 2014).

O monitoramento das estações da capital cearense associado ao tratamento qualitativo desses dados, pode resultar na construção de índices, que irão apresentar informações relevantes dos seus efluentes tratados. Os índices são ferramentas capazes de auxiliar a tomada de decisão (GÉMAR et al., 2018), com relação ao efluente das ETEs podem orientar quanto ao seu lançamento, contribuindo para a preservação da saúde do corpo hídrico receptor, consequentemente evitando episódios de poluição. O uso do índice facilitaria a compreensão do estado das ETEs, avaliando se seus processos estão atendendo à legislação ambiental, sendo uma medida paliativa a complexidade envolvida nestes sistemas, através da escolha de parâmetros relevantes ao desempenho de todo o processo envolvido.

Sendo assim, para o desenvolvimento deste estudo, foram selecionadas algumas das ETEs em operação na bacia de esgotamento sanitário do rio Cocó, um dos principais recursos hídricos da região metropolitana de Fortaleza. A pesquisa é baseada no monitoramento da qualidade dos efluente dessas ETEs visando a construção de um Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário (ITES). Esse índice tem como objetivo refletir a qualidade do efluente tratado, buscando o atendimento de legislações específicas para o seu lançamento em corpos hídricos receptores, se constituindo em uma ferramenta de apoio à gestão ambiental, auxiliando o desempenho dos serviços de esgotamento sanitário

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Propor um Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário (ITES) como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para o lançamento dos efluentes tratados, a fim de reduzir o impacto sobre os recursos hídricos.

2.2 *Objetivos específicos*

- Escolher as ETEs de uma bacia de esgotamento sanitário de Fortaleza para o estudo;
- Selecionar os parâmetros de efluentes monitorados pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) relevantes ao estudo;
- Definir metodologia para a construção do ITES, utilizando análise de componentes principais (*principal component analysis - PCA*);
- Apresentar o ITES como ferramenta de apoio à tomada de decisão para o lançamento dos efluentes nos corpos hídricos receptores.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A escassez de água doce é um processo que pode se intensificar nos próximos anos, devido a demanda crescente pelo aumento contínuo da população mundial e as mudanças climáticas atuais. Essas mudanças acarretam regimes mais quentes e secos, aumentando a pressão sobre áreas já estressadas, que podem implicar diretamente no seu desenvolvimento econômico. Dessa forma, águas de baixa qualidade e águas residuais tratadas se tornam um recurso viável, oriundas das etapas das Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) (BAYO; OLMOS; LÓPEZ-CASTELLANOS, 2020; PEÑA; DELGADO-MORENO; RODRÍGUEZ-LIÉBANA, 2019). A seguir serão abordadas as ETEs, alguns dos tratamentos, parâmetros e impactos ambientais associados aos seus processos. Além disso, legislações ambientais e ferramentas de apoio à tomada de decisão serão exploradas, buscando embasar a aplicação do índice ambiental como apoio ao lançamento dos efluentes.

3.1 Estações de Tratamento de Efluentes e seus impactos ambientais

As ETEs surgiram há mais de 100 anos, impulsionadas por surtos de doenças transmitidas através da água. A cólera e a febre tifoide, ocasionadas através da contaminação dos recursos de água potável por patógenos oriundos de águas residuais, foram os surtos responsáveis por esse estabelecimento. Nas décadas de 1960 e 1970, as etapas de remoção de nutrientes passaram a ser instaladas nas ETEs, devido a identificação das águas residuais como responsáveis pela eutrofização das águas superficiais (PRASSE *et al.*, 2015).

De acordo com Gebicki *et al.* (2016) na maioria das ETEs os processos típicos envolvidos são:

- o tratamento primário: tratamento mecânico com a finalidade de remoção dos sólidos brutos, suspensos e flutuantes;
- o tratamento secundário: decomposição das substâncias orgânicas dissolvidas no tratamento primário através de atividade biológica;
- o tratamento terciário: tratamento adicional visando a melhora da qualidade do efluente para ser descarregado no meio ambiente.

As ETEs são responsáveis pela conservação e reciclagem de recursos no ecossistema, através da recuperação e reutilização de águas residuais, reciclagem de nutrientes e o tratamento e disposição de esgoto (ZENG *et al.*, 2017). A partir da otimização dos métodos convencionais

centralizados para o tratamento de águas residuais é possível alcançar a remoção de nutrientes, porém não ocorre o favorecimento da sua reciclagem (MCCONVILLE *et al.*, 2017).

A determinação das características gerais das águas residuais tratadas ocorre através de parâmetros. Os mais comumente utilizados são nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), carbono orgânico total (COT) e sólidos totais em suspensão (SST). Possuem a vantagem de terem métodos padronizados com facilidade para medir e serem acessíveis, não necessitando de instrumentação sofisticada. Porém, tais parâmetros não fornecem informações sobre compostos toxicológicos potencialmente perigosos, como fenóis, aldeídos ou nitrosaminas (PRASSE *et al.*, 2015).

Assim, ETEs têm esse importante papel de redução dos impactos ambientais das águas residuais, mas seus processos envolvidos consomem recursos e podem liberar emissões, que potencialmente podem ser causadoras de impactos ao meio ambiente (MUSTAPHA; MANAN; WAN ALWI, 2017). Além disso, seus efluentes podem ser importantes fontes de poluentes e microrganismos fecais, dentre eles patógenos (PASCUAL-BENITO *et al.*, 2020). Atualmente, o principal desafio que as ETEs enfrentam é avaliar, qual entre as diferentes tecnologias tem mais potencial de minimizar os riscos toxicológicos para a biota e a saúde humana (PRASSE *et al.*, 2015).

O reúso desses efluentes tratados não pode ocorrer aleatoriamente, visto que a não cautela no uso pode, potencialmente, acarretar contaminação das águas superficiais e subterrâneas, impactos a longo prazo nos solos, plantas e fauna local, além de preocupações com a saúde da população humana local (LIU *et al.*, 2018).

De acordo com Schaubroeck *et al.* (2015), ainda não há evidências de que o uso das ETEs possa diminuir a degradação ambiental, sendo necessária investigação detalhada que avalie o real impacto causado por elas. Os efluentes das ETEs são também considerados importantes fontes de microplástico (MP) que se trata de um poluente emergente descartado no ambiente (BAYO; OLMOS; LÓPEZ-CASTELLANOS, 2020). Algumas pesquisas anteriores explicitaram que o total de impactos ambientais de ETEs típicas são sempre negativos (COROMINAS *et al.*, 2013; HELLWEG; MILÁ I CANALS, 2014).

Entre os impactos negativos, há o descarte inadequado dos efluentes nos cursos de águas naturais, que acarreta a contaminação da água doce gerando danos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos. Esse descarte pode ocorrer através do lançamento do efluente não conforme com a legislação ambiental ou mesmo através do lançamento das águas residuais não tratadas (PRATEEP NA TALANG; SIRIVITHAYAPAKORN; POLRUANG, 2020; WWAP, 2017). Nesses corpos hídricos receptores, esse lançamento inadequado pode ser causador de

acidificação e eutrofização, além de colaborarem para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (ZENG *et al.*, 2017).

O episódio de eutrofização está relacionado aos fluxos biogeoquímicos de nitrogênio (N) e fósforo (P). Embora o uso de fertilizantes agrícolas seja o principal responsável pelo desequilíbrio causado por esse fluxo biogeoquímico, os fluxos de N e P presentes nas águas residuais são significativos. (MCCONVILLE *et al.*, 2017).

Além disso, a contaminação da água acarreta outros inúmeros problemas, incluindo desaparecimento de espécies aquáticas, diminuição da biodiversidade ou surtos patogênicos, além de prejudicar, mesmo em baixas concentrações, as espécies aquáticas (WARNER; LICHA; NÖDLER, 2019).

Na qualidade do ar, o tratamento de águas residuais é uma fonte antropogênica de dois gases de efeito estufa (GEE), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), responsáveis pela pegada de carbono de maior parte das ETEs. A quantificação destas emissões é um passo desafiador, pois a ETE compreende diferentes unidades e tecnologias de processos, com grandes áreas de emissões, que possuem várias fontes menores com diferentes formas físicas e alturas de emissão (DELRE; MØNSTER; SCHEUTZ, 2017).

A aplicação do efluente tratado no solo, sem o devido acompanhamento, pode ocasionar inúmeros impactos ambientais, dependendo das suas características físico-químicas, como: sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH e concentrações de metais pesados, presença de produtos farmacêuticos, nutrientes, dentre outros. Tais elementos podem influenciar na relação com as plantas, organismos e na saúde do solo (LIU *et al.*, 2018).

A irrigação com efluente tratado, fora das condições adequadas, pode alterar as características químicas do solo, acarretando diminuição do pH e da taxa de infiltração do solo, ou em aumento na matéria orgânica e da condutividade elétrica (BEDBABIS *et al.*, 2014). Além disso, respostas variáveis da microbiota do solo podem ocorrer, com alteração da distribuição populacional das comunidades microbiana (BECERRA-CASTRO *et al.*, 2015) ou acúmulo de metais vestigiais em vegetais folhosos (QURESHI *et al.*, 2016). Esses são alguns dos impactos ambientais das ETEs na água, no solo e no ar.

3.2 Tecnologias de tratamento de efluentes em Fortaleza/CE

Na cidade de Fortaleza, a capital do estado do Ceará, o sistema de esgotamento sanitário opera através de dois sistemas (integrado e isolados). Parte do efluente sanitário é direcionado para o sistema integrado de transporte de efluentes sanitários, que o converge para a Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC). O restante é tratado através dos sistemas isolados, que possuem como solução para os seus efluentes decanto-digestores associados a filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo e lodos ativados (FORTALEZA, 2014):

3.2.1 *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)* se trata de tratamento anaeróbio, que pode possuir unidades únicas ou ser seguido de algum tipo de pós-tratamento. A sua configuração consiste em dispositivo denominado separador trifásico, que retém a biomassa e ao mesmo tempo coleta o biogás produzido na digestão anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2005). O mecanismo de retenção permite uma alta concentração de lodo no interior do reator, além de também permitir o desmembramento do tempo de retenção celular (idade do lodo) do tempo de detenção hidráulica (TDH). Logo, alcança-se uma alta idade de lodo, um TDH reduzido, além de demandar áreas menores para o tratamento (DOS SANTOS, 2008).

O reator UASB possui eficiência de remoção de DBO de cerca de 65%, quando com TDH na ordem de 6 horas para esgotos sanitários. No Brasil e em outros países, esta tecnologia vem sendo utilizada como pré-tratamento e digestor de lodo de processos biológicos e físico-químicos (DOS SANTOS, 2008). De acordo com Chernicharo (2007), o reator UASB de forma isolada pode atingir eficiências de remoção de DBO de até 70%, Von Sperling (2014) aponta eficiências de 60 a 75% de remoção de DBO.

Embora sejam sistemas com boa eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, eles podem não gerar efluentes que atendem aos requisitos legais para o lançamento, sendo necessária a realização de um pós-tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2005). A associação com processos aeróbios para o pós-tratamento é vantajosa, sendo empregadas lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos, dentre outros (MONTEIRO, 2009).

3.2.1.1 Reator UASB com biofiltro aerado submerso

Para esta tecnologia o reator UASB possui pós-tratamento com a utilização de biofiltros, que visam a remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos remanescentes. O biofiltro aerado submerso (BF) vem sendo aplicado com sucesso, utilizando como meios de suporte três tipos de britas comerciais (dois, um e zero), que possuem baixo custo e boa disponibilidade no mercado (DOS SANTOS, 2008). O fluxo do BF pode ser ascendente ou descendente e a aeração ocorre artificialmente. A introdução de oxigênio pode ocorrer por meio de difusores de ar alimentados por sopradores ou através de turbilhonamento do líquido por meio de aeração mecânica. Nesse sistema, o lodo de excesso, gerado nos biofiltros, é recirculado para o reator UASB, ocorrendo a digestão e o adensamento pela via anaeróbia (VON SPERLING, 1996). As eficiências de remoção de alguns parâmetros para as tecnologias reator UASB e UASB + BF estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de dimensionamento de ETEs para os tipos UASB e UASB + BF.

Parâmetro	UASB	UASB + BF
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	65 – 75%	85 – 95%
Sólidos Suspensos (SS)	65 – 75%	85 – 95%
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	60 – 70%	80 – 90%

Fonte: Adaptado de dos Santos (2008).

3.2.2 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são amplamente utilizadas no Brasil para o tratamento de esgoto sanitário. Esta tecnologia tem como objetivo principal mineralizar o material orgânico presente no esgoto. Este processo ocorre através da atividade metabólica de microrganismos, como bactérias e algas (DOS SANTOS, 2008).

Esses sistemas demandam grandes áreas e possuem longos TDH, da ordem de 20 a 30 dias, sendo necessários para a remoção de ovos de helmintos e de coliformes termotolerantes. Além disso, promovem boa nitrificação, boa remoção de DBO, eficiências de remoção de coliformes termotolerantes superiores a 99,99%. Os seus sistemas, quanto ao suprimento de oxigênio, podem ser classificados em convencional, suprimento fornecido pelas algas, ou aeradas artificialmente, onde o suprimento ocorre através de aeradores. (VON SPERLING, 2014).

Para as lagoas convencionais, os principais tipos são descritos a seguir:

- Lagoa Anaeróbia (LAn): a digestão anaeróbia é o mecanismo de remoção predominante da matéria orgânica, através das suas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese/sulfetogênese. Essa tecnologia, recebe o esgoto bruto proveniente do tratamento preliminar, e é capaz de suportar altas cargas de DBO e possui baixos TDHs, sendo normalmente seguidas de lagoas facultativas (DOS SANTOS, 2008).

- Lagoa Facultativa (LF): possui profundidade entre 1,5 e 2,5 metros, logo criam condições para um ambiente aeróbio na camada superior, devido a atividade fotossintética das algas, e anaeróbio na camada inferior. Logo, ocorrem tanto os processos de oxidação da matéria orgânica na camada mais próxima da superfície como também digestão anaeróbia no fundo da lagoa (MOTA, 2012).

- Lagoa de Maturação (LM): possui profundidade da ordem de 1,0 metro, para que o ambiente seja predominantemente aeróbio, e são construídas após as lagoas anaeróbias e facultativas. Elas podem proporcionar elevados tempos de detenção dos esgotos, promovendo decaimento dos coliformes, devido as condições de pH e oxigênio e a incidência da radiação ultravioleta da luz solar (MONTEIRO, 2009).

Para as lagoas aeradas artificialmente, os principais tipos são descritos a seguir:

- Lagoa Aerada Facultativa: a fonte de oxigênio é proveniente de aeradores de superfície ou ar comprimido. A energia desses aeradores, permite apenas a oxigenação da massa de água, não interferindo na manutenção dos sólidos em suspensão, logo eles tendem a sedimentar. Os sólidos sedimentados formam uma camada de lodo, que será decomposta anaerobiamente. A DBO solúvel e finamente particulada, pertencente a massa líquida, sofrerá decomposição aeróbia (DOS SANTOS, 2008).

- Lagoas Aeradas de Mistura Completa seguidas de Lagoas de Decantação: há o aumento do nível de aeração, fornecendo alto grau de energia por unidade de volume e gerando turbulência que irá permitir a oxigenação da massa de água e conseqüente manutenção dos sólidos em suspensão. Esta lagoa necessita de um dispositivo de separação sólido-líquido, sendo a unidade que proporciona essa separação a lagoa de decantação. Esta permitirá que os sólidos em suspensão possam se sedimentar e assim o efluente clarificado possa ser retirado do sistema (DOS SANTOS, 2008).

3.2.3 Decanto-digestor associado a filtro anaeróbio

O tratamento de esgotos por decanto-digestor (DD) (tanque séptico ou fossa séptica) consiste de um compartimento destinado a decantação e digestão dos dejetos, podendo alcançar uma remoção de DBO variando entre 30 e 55% (MOTA, 2012). Von Sperling (2014) aponta eficiências de remoção de DBO e DQO entre 25 e 35%. A retenção do esgoto ocorre por um período entre 12 e 24 horas, na qual ocorrerá a sedimentação de 55 a 65% dos sólidos em suspensão, havendo uma redução de volume devido a hidrólise dos sólidos voláteis que irão gerar gases e líquido com características estáveis (MONTEIRO, 2009).

O formato do DD pode ser cilíndrico ou prismático, em câmara única ou de câmaras em série e a disposição do seu efluente pode ocorrer por sumidouros, valas de infiltração e filtração e filtro anaeróbio. Essa tecnologia apresenta baixa eficiência, principalmente na remoção de patogênicos, porém há produção de um efluente razoável, podendo ser encaminhado ao pós-tratamento ou ao destino final (MONTEIRO, 2009; MOTA, 2012).

O filtro anaeróbio (FA), como alternativa a disposição, consiste em uma unidade de tratamento biológico, na qual o esgoto passa por uma camada de brita graúda por fluxo ascendente. Após a passagem pelo FA o efluente deve ser lançado em corpo hídrico (MOTA, 2012). Para Von Sperling (2014) o DD associado ao FA pode alcançar remoções de DBO entre 60 e 75%.

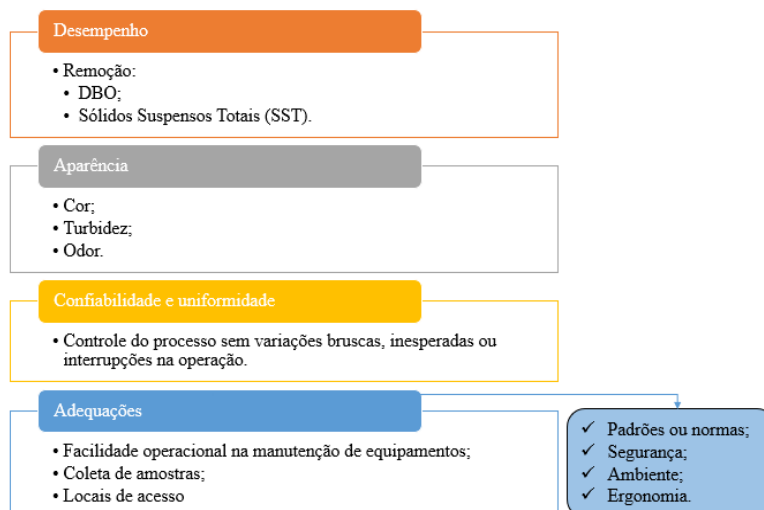
3.3 Parâmetros de qualidade do efluente

Nos ambientes aquáticos, em geral, os parâmetros normalmente avaliados são: cor aparente e verdadeira, turbidez, sabor e odor, temperatura, materiais flutuantes, óleos e graxas, corantes artificiais, sólidos dissolvidos, cloretos, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), amônia, coliformes totais e coliformes termotolerantes (TARDIVO, 2009). O padrão de qualidade dos corpos hídricos, avaliado através desses parâmetros, é uma ferramenta que deve estar associada ao padrão de lançamento de efluentes objetivando proteger a saúde do corpo hídrico receptor. Logo, seja na entrada ou na saída das ETEs, esses parâmetros também devem ser avaliados, funcionando como uma ferramenta de fiscalização (MORAIS; DOS SANTOS, 2019).

Para a qualidade operacional das ETEs (Figura 1), há alguns fatores importantes como a avaliação de remoção de matéria orgânica por meio dos parâmetros DBO e sólidos suspensos

totais (SST); além do acompanhamento da cor, turbidez e odor do efluente. Há também a verificação de adequação das ETEs às normas, que possam garantir padrões ambientais, de segurança e de ergonomia. Por fim, o alcance do controle nos processos, que possa garantir a uniformidade e a confiabilidade do tratamento (TARDIVO, 2009).

Figura 1- Fatores importantes para a qualidade operacionais de ETEs.



Fonte: Adaptado de Tardivo (2009).

Para os parâmetros físicos destacam-se a cor verdadeira e aparente, turbidez, odor, sólidos suspensos totais e temperatura. Os sólidos têm sua concentração na água relacionada à presença de impurezas, exceto os gases dissolvidos e podem ser encontrados na forma dissolvida ou em suspensão, podendo ser fixos ou voláteis (Quadro 2) (DOS SANTOS, 2008; VON SPERLING, 2005).

Quadro 2 - Tipos de sólidos presentes nos efluentes sanitários.

Tipo	Descrição
Sólidos Totais (ST)	Matéria remanescente após evaporação da água presente.
Sólidos Sedimentáveis (SSed)	Matéria em suspensão que se sedimenta.
Sólidos Suspensos (SS)	Sólidos que ficam retidos por filtração em membrana com porosidade determinada.
Sólidos Dissolvidos (SD)	Moléculas orgânicas, inorgânicas e íons não retidas em membrana com porosidade determinada.
Sólidos Fixos (SF)	Inorgânicos presentes após calcinação a 500°C.
Sólidos Voláteis (SV)	Parcela orgânica resultado da diferença entre sólidos totais e fixos.

Fonte: Adaptado de dos Santos (2008).

O odor tem sua ocorrência, geralmente, associada à decomposição da matéria orgânica, gerando como produto o sulfeto de hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), mercaptanas e ácidos orgânicos voláteis. A temperatura está relacionada à ocorrência das reações químicas atrelando-se a manutenção da qualidade da vida aquática (DOS SANTOS, 2008). O aumento desse parâmetro pode acelerar a velocidade das reações químicas e bioquímicas, além de facilitar a solubilização de alguns gases (O_2 , CO_2 , N_2 e CH_4), podendo também elevar a demanda de oxigênio e a decomposição de matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

A cor é oriunda da presença de compostos orgânicos e inorgânicos naturais dissolvidos, além de pigmentos e diversos corantes industriais. A turbidez, por sua vez, decorre da presença de partículas em suspensão. Ambos os parâmetros estão relacionados, por causarem aspecto desagradável e dificultarem a penetração da luz no corpo hídrico (DOS SANTOS, 2008).

Para os parâmetros químicos, a matéria orgânica (MO) está presente no efluente em grande variedade de compostos orgânicos, sejam eles dissolvidos ou suspensos, que serão utilizados pelos microrganismos no processo denominado metabolismo. Neste processo, pode ocorrer o seu consumo a fim de obtenção de energia, denominando-se catabolismo, ou a síntese de material celular a partir de matéria orgânica, chamado anabolismo. O processo pode ocorrer de forma aeróbia, quando a remoção de matéria orgânica ocorre predominantemente na fase anabólica, ou anaeróbia que operam mais na fase catabólica. A quantificação da MO pode ocorrer pelos testes de DBO e Demanda Química de Oxigênio (DQO), onde a concentração é determinada a partir do consumo de oxidante para a oxidação. Além destes há também o Carbono Orgânico Total (COT). (DOS SANTOS, 2008).

O oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro importante para a manutenção dos organismos aeróbios e equilíbrio do ambiente como um todo. Sua presença depende de fatores como temperatura, salinidade, turbulência, pressão atmosférica, atividades fotossintéticas, dentre outros (VON SPERLING, 2005).

O nitrogênio é um componente químico essencial às reações biológicas, estando presente no ambiente em diferentes formas: molecular (gasosa), orgânica (dissolvida ou em suspensão), amoniacal com amônia livre (NH_3) ou ionizada (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-). Este componente está sempre presente no efluente sanitário por ser constituinte natural de proteínas, clorofila dentre outros compostos biológicos. Para pH superiores a 11 encontra-se a forma de amônia livre, enquanto a forma ionizada é encontrada para pH inferiores a 8. A presença de compostos de nitrogênio pode ser indicadora de despejos de esgoto, sendo a presença excessiva da forma amoniacal um indicador de poluição recente, enquanto a presença considerável de nitratos está relacionada a descartes mais antigos ou distantes (DOS SANTOS,

2008; VON SPERLING, 2005).

O fósforo é um composto normalmente presente em concentrações suficientes nos despejos domésticos, oriundo principalmente de excretas e do emprego de detergentes, e encontrando-se, principalmente, nas suas formas inorgânicas de ortofosfato, poli e pirofosfato (DOS SANTOS, 2008).

O pH é um parâmetro capaz de influenciar processos químicos e biológicos nos corpos de água, como também processos associados ao abastecimento e tratamento de águas residuárias. Além disso, está sob influência de vários fatores como sólidos e gases dissolvidos; dureza e alcalinidade, temperatura e os fatores bióticos (VON SPERLING, 2005). Os efluentes sanitários possuem o pH, de modo geral, neutro ou ligeiramente alcalino. A alcalinidade é resultado da presença de ácidos fracos, bases e seus sais derivados. Trata-se de um importante parâmetro físico-químico por atuar como tampão contra as quedas de pH e a depender deste fator pode ser encontrada nas formas de carbonato, bicarbonato e hidróxidos (DOS SANTOS, 2008).

Dentre os parâmetros biológicos os coliformes totais e termotolerantes são os mais utilizados para indicação de material fecal. O Quadro 3 apresenta os principais grupos de microrganismos envolvidos nos tratamentos biológicos de esgotos.

Os coliformes totais são um grande grupo de bactérias isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, além de fezes de seres humanos e animais de sangue quente. Os coliformes termotolerantes são grupos de bactérias associados ao material fecal de origem do trato intestinal humano e outros animais, a *Escherichia coli* (E.coli) é uma bactéria pertencente a este grupo (VON SPERLING, 2005).

Quadro 3 - Principais grupos de microrganismos envolvidos nos tratamentos biológicos de esgotos.

Microrganismos	Descrição
Bactérias	Encontrados na maioria dos ambientes aeróbios, anaeróbios ou anóxicos, podendo ou não serem patogênicos.
Archaea	Predominam em condições extremas de pH, temperatura, dentre outros, e são importantes no processo de formação de metano em condições anaeróbias.
Algas	Principal microrganismo no tratamento por lagoas de estabilização. Em ambientes eutrofizados, pode ser responsável pela liberação de toxinas.
Fungos	Na maioria, são seres aeróbios que podem crescer em condições ambientais adversas como baixos valores de pH e concentrações de nutrientes. São importantes no processo de estabilização da matéria orgânica.
Protozoários	Na maioria, são seres anaeróbios ou facultativos.

Fonte: Adaptado de dos Santos (2008).

3.4 Legislação Ambiental relacionada ao lançamento de efluentes

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe na Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores (BRASIL, 2005). No Art. 1º, em parágrafo único, essa afirma que (BRASIL, 2011):

Parágrafo único. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

De acordo com esta Resolução, em seu Art. 3º é afirmado que:

Art. 3º. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Além disso, a respeito das definições presentes no Art. 4º da Resolução 430 (BRASIL, 2011) fica estabelecido:

Art. 4º Para efeito desta Resolução adotam-se as seguintes definições:
IX - Lançamento direto: quando ocorre a condução direta do efluente ao corpo receptor;
XXIII – Lançamento indireto: quando ocorre a condução do efluente, submetido ou não a tratamento, por meio de rede coletora que recebe outras contribuições antes de atingir o corpo receptor;

Em seu Art. 5 determina que os efluentes não poderão comprometer as características de qualidade do corpo receptor, tornando-as em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos no enquadramento específico. Texto este corroborado no Art. 12 da resolução em discussão (BRASIL. 2011), como pode ser visualizado a seguir:

Art. 12. O lançamento de efluentes em corpos de água, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

A definição das condições e padrões específicos para o lançamento direto de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários é estabelecida na Seção III da Resolução 430 (BRASIL, 2011). O Art. 21 aborda condições e padrões através de limites para pH, temperatura, materiais sedimentáveis, DBO, substâncias solúveis em hexano e ausência de material flutuante (BRASIL. 2011).

O Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA) dispõe em sua Resolução n° 2 (COEMA, 2017), sobre os padrões e condições para o lançamento de efluentes líquidos oriundos de fontes poluidoras, dentre elas, que utilizem a rede pública de esgoto. Ela revoga as Portarias SEMACE n° 154 (CEARÁ, 2002) e n° 111 (CEARÁ, 2011), além de alterar a Portaria n° 151 (CEARÁ, 2002). Em seu Art. 1° (CEARÁ, 2017), estabelece:

Art. 1° Dispor sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, em atendimento aos princípios e respectivos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente (Arts.2° e 3° da Lei n° 6.938/1981), bem como, em consonância com a Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, e Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011.

Na Seção II, desta Resolução, em seu Art. 12 são apresentados condições e padrões específicos para o lançamento direto de efluentes sanitários em corpo hídrico. Esses são determinados através de limites para os mesmos parâmetros presentes na Resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011), acrescentando-se valores máximos para sulfeto, número mais provável (NMP) para coliformes termotolerantes e sólidos suspensos totais. Em parágrafo único, deste referido artigo, é esclarecida a possibilidade de exigência de outros parâmetros contidos no Anexo I da respectiva Resolução. Se trata de parâmetros orgânicos e inorgânicos em função de características locais e a critério do órgão ambiental competente (CEARÁ, 2017).

Além disso, em seu Art. 2°, esta Resolução, apresenta diretrizes, critérios e parâmetros específicos sobre o reúso não potável de água, obedecendo as modalidades regulamentadas na resolução (CEARÁ, 2017).

3.5 Ferramentas de apoio à tomada de decisão e ETEs

As ETEs são objetos de estudo mundial na busca por soluções que sejam mais sustentáveis para a sua gestão, sendo assim, seu projeto e operação devem visar minimizar os custos e construir instalações seguras e operacionais, responsáveis pelo tratamento confiável de águas residuais (MANNINA *et al.*, 2019).

Além disso, as regulações têm se tornado mais rígidas sobre o meio ambiente e recursos humanos. A construção de um raciocínio abrangente, integrando as relações de causa e efeito nas ações de gerenciamento das ETEs se torna necessária. Logo, as ferramentas de apoio à tomada de decisão, seja no projeto ou na operação de uma ETE, podem se tornar um suporte útil (MANNINA *et al.*, 2019).

3.5.1 Abordagens conceituais

As ferramentas de apoio à tomada de decisão (ATDs) são sistemas de informação criados para resolver problemas de vários cenários com a finalidade de apresentar uma solução quase ideal. Esses sistemas podem incluir modelos matemáticos, padrões operacionais ou de design, displays gráficos interativos e interfaces amigáveis. Dessa forma, são analisadas as viabilidades de cada cenário em espaços de tempo curtos, com suas possíveis soluções podendo ou não integrar aspectos do desenvolvimento sustentável (MANNINA *et al.*, 2019).

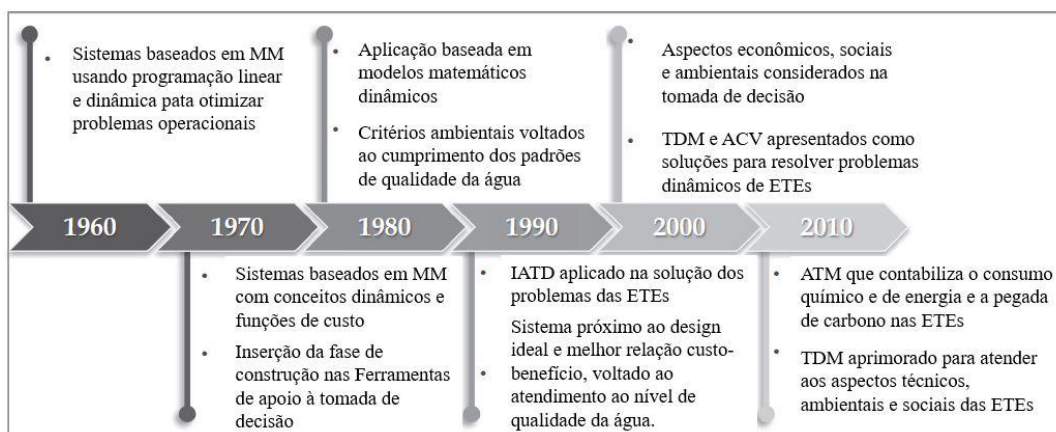
Essas ferramentas podem possuir softwares que fornecem cinco funcionalidades: banco de dados e um ambiente de processamento, sistema de conhecimento e informação, estrutura de análise de modelagem, análise socioeconômica e estrutura de comunicação (BUTCHART-KUHLMANN *et al.*, 2018).

A Figura 2 demonstra a evolução da aplicação dessas ferramentas nas ETEs, como ferramenta de otimização. Este processo começou desde os anos 1960, com o aumento da disponibilidade de sistemas de computador e seus acessos pelas comunidades científicas. Logo, os problemas observados nas ETEs foram relacionados as suas complexidades e dinamicidades, então as ATDs foram desempenhando esse papel crescente no planejamento, projeto e operação de sistemas de tratamento de água, visando a solução de problemas, através da implementação de modelos matemáticos, utilização de conceitos mais dinâmicos até a implementação de inteligências artificiais isoladas (MANNINA *et al.*, 2019).

As quatro abordagens principais adotadas para ATD são: avaliação do ciclo de vida (ACV), modelos matemáticos (MM), tomada de decisão multicritério (TDM) e ferramenta inteligente de apoio à tomada de decisão (IATD) (MANNINA *et al.*, 2019).

As mais antigas ferramentas de apoio à tomada de decisão foram baseadas nos MM. Já se há conhecimentos amplos para a sua aplicação e são recursos que não exigem altos custo para implementação, logo sendo uma ferramenta interessante para obter compreensão abrangente dos processos das ETEs. O presente estudo utilizou essas ferramentas para a construção da metodologia da pesquisa. Os MM podem validar resultados em escala laboratorial, realizar estimativas para instalações em larga escala, apresentando inúmeras soluções durante um processo de tomada de decisão e são capazes de explorar variedades de soluções para uma questão específica antes da sua aplicação, economizando tempo e dinheiro (MANNINA *et al.*, 2019).

Figura 2 – Abordagem introdutória da evolução das ATDs aplicadas às ETES.



Fonte: Adaptado de Mannina *et al.* (2019).

3.5.2 Aplicações em ETES

Nas ETES, a aplicação de MM pode ocorrer na avaliação da remoção biológica de carbono, fósforo e amônia, visando prever a qualidade dos efluentes (ZUTHI *et al.*, 2012), no acompanhamento do metabolismo da biomassa, através da análise da produção excessiva de lodo, das taxas de consumo de oxigênio e das emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE) (SWEETAPPLE *et al.*, 2014; MANNINA *et al.*, 2018).

Gémar *et al.* (2018) aplicaram modelo matemático de distância direcional ponderada de Russell a fim de avaliar as mudanças na eco-productividade ao longo do tempo das ETES. Os autores tinham como objetivo criar um índice de alteração de eco-productividade para cada componente principal do MM, como custos, remoção de poluentes e emissões de gases de efeito estufa. Os resultados apontaram que os custos operacionais e as emissões de GEE foram os principais responsáveis pela redução da eco-productividade. Além disso, destacaram a importância de avaliar as alterações na ecoeficiência ao longo do tempo e os fatores que estão associados a estas mudanças. Estes podem ser usados para auxiliar na tomada de decisão focando a sustentabilidade das ETES.

Visando identificar a solução ideal para o controle de poluentes, Jiang *et al.* (2018), utilizaram MM de otimização social considerando os custos de tratamento de águas residuais e a avaliação dos danos no ecossistema. Os resultados mostraram que o modelo integrado da decisão de custo do tratamento e do dano ecológico melhoraram a capacidade dos formuladores de políticas de identificar soluções socialmente ótimas em várias condições.

A avaliação do desempenho de 1079 ETES urbanas na China, foi realizada por Zeng *et al.* (2017), através de MM de abordagem de função à distância. O objetivo do estudo foi de

minimizar o custo de capital e o consumo de energia na remoção de poluentes convencionais, como: DBO, DQO, SST, nitrogênio total e fósforo total. A pesquisa também identificou que o funcionamento eficiente das ETEs reduziria em 32,2% as emissões de GEE.

3.6 Índices ambientais

A análise de indicadores específicos permite resultados precisos que se concentram em dimensões específicas de um campo, além de supervisionarem o cenário geral. A complexidade da atividade humana e dos avanços no conhecimento humano são a razão para essas análises, que necessitam de uma medida abrangente capaz de descrever o estado das coisas.

Os índices são medidas abrangentes da atividade humana e do estado das coisas em campos específicos, que tentam através da agregação de várias variáveis componentes quantificar conceitos complexos e multidimensionais (OŢOIU; GRĂDINARU, 2018). Já os indicadores são informações quantificadas, utilizadas como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos. Esses indicadores podem ser chamados de indicadores ambientais quando relacionados a aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas (MMA, 2023).

O índice tem a finalidade de medir conceitos complexos, que um único indicador não é capaz de medir (NARDO *et al.*, 2005; SHAH *et al.*, 2019). No caso da sustentabilidade, podem se tratar de alguns conjuntos de indicadores ambientais que podem ser reduzidos a um único índice capaz de sintetizar a medida de sustentabilidade ambiental (BRAMBILA; FLOMBAUM, 2017).

3.6.1 Metodologias de índices ambientais

Para a construção de um índice o passo fundamental é selecionar os indicadores, que, se escolhidos adequadamente, podem fornecer informações úteis e compreensíveis relacionadas as questões de interesse do estudo. Além disso, fornecem ferramenta flexível que pode ser utilizada por pesquisadores e tomadores de decisão para a compreensão das situações de diferentes países, além dos impactos decorrentes de mudanças nas políticas de cada país (NARDO *et al.*, 2005; SHAH *et al.*, 2019).

O estudo de Nunes (2006) avaliou a sustentabilidade hidro-ambiental do Distrito de Irrigação de Jaguaribe – APODI e utilizou de modelos matemáticos para a construção de Índice de Qualidade de Água (IQA). Um dos métodos foi a aplicação de Análise de Componentes

Principais (PCA) para obtenção do índice. Também utilizando o mesmo raciocínio, Rolim (2016) objetivou o desenvolvimento de um Índice de Estado Trófico (IET) para simular o impacto cumulativo em 18 reservatórios da bacia hidrográfica do Banabuiú. Souza Vieira (2014) desenvolveu um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA), utilizando dados da Área de Proteção Ambiental (APA) do Maciço Baturité, a fim de traduzir alterações temporais e espaciais no ambiente analisado.

García-Sánchez *et al.* (2015) desenvolveram um Índice Composto de Desempenho Ambiental, utilizando metodologia Força Motriz – Pressão – Estado – Exposição – Efeito – Ação. Este índice objetivava identificar os impactos negativos que as forças motrizes têm sobre o meio ambiente, além de determinar os supostos efeitos de pressão sobre o estado natural dos recursos disponíveis, causadores de efeitos nocivos à saúde humana. Foram utilizados 19 indicadores para composição do índice final.

Hosseini *et al.* (2019) apresentaram um Índice Integrado de Avaliação da Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas, agregando-se 13 indicadores quantitativos e relacionados ao meio ambiente. Os indicadores foram adotados a partir de Análise de Tomada de Decisão Multicritério (TDM) em escala de 0 a 100, com zero indicando gerenciamento insustentável e 100 valor ideal de gerenciamento sustentável.

Blumetto *et al.* (2019) construíram o Índice de Integridade do Ecossistema para avaliar o estado de um ecossistema específico sob o uso agrícola, na qual consistia em avaliação visual qualitativa e quantitativa baseada em quatro componentes, como estrutura da vegetação, espécies vegetais, solo e áreas ribeirinhas. A construção do índice ocorreu pela média das pontuações obtidas de cada componente.

Shah *et al.* (2019) desenvolveram o Índice de Segurança Energética e Sustentabilidade Ambiental, através da combinação de indicadores energéticos e ambientais, totalizando a utilização de 11 indicadores. Foi realizada uma análise no período de 2006 a 2017 nos países do sul da Ásia a fim de medir a segurança energética e a sustentabilidade ambiental desses países. O Quadro 4 detalha as metodologias utilizadas pelos autores citados nesse estado de arte.

Ho *et al.* (2019), utilizando medidas ambientais objetivas e compreensão ambiental subjetiva da população local, construíram o Índice de Vulnerabilidade Ambiental Subjetiva, através de abordagens de métodos mistos para o planejamento da saúde da comunidade. O objetivo do trabalho foi demonstrar a privação ambiental em Hong Kong, por meio do índice. Os mapas foram gerados e comparados com o conjunto de dados de mortalidade entre 2007 e 2014.

Quadro 4 - Metodologias utilizadas para a construção de índices ambientais.

Índice	Metodologia	Referência
Índice de Qualidade de água	Foram utilizados a Análise de Componentes Principais e o Método adaptado da National Sanitation Foundation/Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental para construção do índice.	NUNES, 2006
Índice de Estado Trófico	Análise de variáveis físicas, químicas e biológicas como indicadoras de qualidade da água. E utilização de técnicas estatísticas multivariada como Análise de Agrupamento Hierárquico e Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais.	ROLIM, 2016
Índice de Sustentabilidade Hidroambiental	Aplicação da abordagem Pressão-Estado-Resposta, inter-relacionando parâmetros hídricos, ambientais e socioeconômicos, considerando níveis de aglutinação para agrupar e gerar índices intermediários.	SOUZA VIEIRA, 2014
Índice Composto de Desempenho Ambiental	Utilização de modelo Força motriz – Pressão – Estado – Exposição – Efeito – Ação, emprego de ferramentas estatísticas e atribuição de pesos gerados pelo método de importância dos critérios através de correlação entre critérios.	GARCÍA-SÁNCHEZ <i>et al.</i> , 2015
Índice Integrado de Avaliação da Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas	Tomada de decisão multicritério com o método PROMETHEE, técnica de organização de classificação e preferência para avaliações de enriquecimento.	HOSSEINI <i>et al.</i> , 2019
Índice de Integridade do Ecossistema	Valores são estimados para cada componente do índice e o valor primário é obtido pela média das pontuações de cada componente.	BLUMETTO <i>et al.</i> , 2019
Índice de Segurança Energética e Sustentabilidade Ambiental	Empregaram modelo baseado em ponderação e agregação. A partir da definição dos subindicadores, foram lhe atribuídos pesos para a construção do índice compostos, basearam-se na técnica de produto ponderado.	SHAH <i>et al.</i> , 2019
Índice de Vulnerabilidade Ambiental Subjetiva	Os autores utilizaram-se de ferramentas estatísticas, aplicaram análise fatorial para a construção do índice e atribuíram pesos para cada variável selecionada. Além disso, utilizaram dados espaciais para o mapeamento de vulnerabilidade da área.	HO <i>et al.</i> , 2019

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Trevisan *et al.* (2020) objetivaram analisar a qualidade da paisagem ambiental da Bacia Hidrográfica de Tietê-Jacaré, em São Paulo, Brasil, através de índices ecológicos, no período de 2007 a 2017. Os índices utilizados para analisar a suscetibilidade dos componentes ecológicos aos efeitos das atividades humanas foram o Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação (IQV), o Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQRH) e o Índice de Vulnerabilidade de Paisagem Ambiental (IVA).

O IQV analisa a sensibilidade da paisagem às perdas de biodiversidade e fragmentação do habitat. É baseado na análise da área (A), forma (F) e distância (D) entre fragmentos de vegetação nativa, obtido através da Equação 1 (TREVISAN *et al.*, 2020):

$$IQV = \frac{A+F+D}{3} \quad (1)$$

O índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQRH) considera a influência dos poluentes, dos pesticidas, dos resíduos sólidos e outros produtos das atividades humanas nos impactos sobre os recursos hídricos. A determinação desse índice ocorreu através de sobreposição de mapas temáticos agrícolas. Além disso, utilizaram o módulo de distância do software ArcGIS e escalonamento com base na lógica fuzzy para a representação espacial. Logo, a análise representa a distância dos recursos hídricos das fontes impactantes, sendo o IQRH igual a zero quando os rios possuem grau mínimo de qualidade e igual a um com o grau máximo de qualidade (TREVISAN *et al.*, 2020).

Por fim, o Índice de Vulnerabilidade de Paisagem Ambiental (IVA) é responsável por determinar o grau de suscetibilidade à degradação devido aos impactos ambientais. É obtido a partir da média dos índices (IQV e IQRH), como pode ser visto na Equação 2 (TREVISAN *et al.*, 2020).

$$IVA = \frac{IQV+IQRH}{2} \quad (2)$$

3.6.1.1 Índices aplicados ao saneamento

Liu *et al.* (2019) visando a avaliação e aprimoramento das estações de tratamento centralizadas, construíram o Índice de Avaliação de Tratamento de Águas Residuais, em estações de tratamento de águas residuais de parques industriais em Tianjin, China. O índice foi proposto para avaliar quantitativamente o status dos sistemas de águas residuais, diagnosticar problemas e apresentar aprimoramentos tecnológicos adequados ao tratamento das águas

residuais. Os indicadores escolhidos visavam avaliar desempenhos tecnológicos, financeiros, do gerenciamento operacional e desempenho dependente. A partir deste índice conseguiram determinar melhorias eficazes para o tratamento, contribuindo para o controle da poluição das águas residuais industriais.

Mustapha *et al.* (2017) desenvolveram um Índice Verde, com o objetivo de ser um indicador quantitativo geral de desempenho ambiental de estação de tratamento de águas residuais, nas operações das instalações se estendendo até os seus processos. Esse índice consiste na coleta, monitoramento e análise de informações, dados e recursos para alcançar a sustentabilidade do processo e promover a produção mais limpa, baseado em oito variáveis ou elementos verdes. O desenvolvimento desse índice utilizou análise fatorial que destacou as variáveis que mais impactavam o processo de desempenho ambiental. Além disso, permitindo maior facilidade na escolha de processo que tenham impactos menores para o meio ambiente.

Luo *et al.* (2019) propuseram um novo índice de demanda total de oxigênio, a fim de avaliação abrangente do consumo de energia no tratamento de águas residuais. Foram utilizados os dados anuais e operação disponíveis de mais de 2.000 estações de tratamento, distribuídas em amplas regiões geográficas da China. Este índice é baseado no cálculo da demanda total de oxigênio, que se trata do oxigênio consumido tanto pela oxidação de poluentes orgânicos quanto pela nitrificação de amônia a nitrogênio. Por fim, através de métodos estatísticos e classificação multivariada exploraram a influência da escala de tratamento, taxa de carregamento, processo de tratamento e demanda total de oxigênio no consumo de energia do tratamento de águas residuais.

Wolf *et al.* (2019) propuseram um Índice de Contaminação Fecal através de oito indicadores de práticas de água, saneamento e higiene, sendo metade sobre as práticas de saneamento, pois o saneamento precário é a principal causa de contaminação fecal. O objetivo é estimar a contaminação ambiental fecal após intervenções através de relatórios em saneamento, e compreensão dos impactos heterogêneos decorrentes de doenças diarreicas.

O Quadro 5 apresenta as metodologias utilizadas pelos autores citados nesse estado da arte sobre índices ambientais aplicados ao saneamento. Todas essas informações fundamentam a construção do índice deste trabalho, que foi baseada no uso de metodologia estatística no tratamento de parâmetros de qualidade ambiental para a formulação do índice.

Quadro 5 - Metodologias utilizadas para a construção de índices de esgoto.

Índice	Metodologia	Referência
Índice de Avaliação de Tratamento de Águas Residuais	Construção do índice através de indicadores, determinação de pesos e critérios de avaliação. Emprego de método de tomada de decisão multivariável, denominado método de avaliação abrangente difusa.	LIU <i>et al.</i> , 2019
Índice Verde	Utilização de método de análise fatorial com os dados dos elementos verdes, a fim de gerar o esquema de ponderação destes. E utilização deste esquema na formulação de índice composto para desenvolvimento do índice.	MUSTAPHA <i>et al.</i> , 2017
Novo Índice de Demanda Total de Oxigênio	Desenvolvimento do cálculo do consumo de energia para a remoção de uma massa unitária de demanda total de oxigênio. E o índice é obtido pela divisão do consumo diário de energia elétrica pela quantidade correspondente de demanda total de oxigênio removida.	LUO <i>et al.</i> , 2019
Índice de Contaminação Fecal	Construção do índice através do levantamento dos oitos indicadores de água, saneamento e higiene obtidos pela disponibilidade de dados em nível de País e relatórios frequentes de pesquisa.	WOLF <i>et al.</i> , 2019
Índice de poluição de algas modificado	Utilização de variáveis ambientais e dados de diversidade de espécies de algas a fim de gerar relação entre espécies de algas e fatores ambientais no efluente da estação de tratamento de águas residuais. Aplicação do índice de Palmer modificado para desenvolvimento do índice de poluição modificado, além de abordagens multivariadas para tratamento dos dados.	ÇELEKLI; ŞAHİN (2021)

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Para finalizar os autores apresentados no Quadro 5, Çelekli e Şahin (2021) desenvolveram o índice de poluição de algas modificado e este junto com abordagens multivariadas avaliou a sustentabilidade da qualidade do efluente de águas residuais de estação central de tratamento de águas residuais doméstica, na província de Gaziantep, Turquia. O objetivo destes pesquisadores era avaliar a resposta de espécies de algas a fatores ambiental na ETE a fim de verificar a qualidade do efluente e apresentar sugestões para o reúso da água residuária, em especial para a irrigação. O índice desenvolvido permitiu indicar os níveis de poluição orgânica na estação. Além disso, a relação entre algas e fatores ambientais foi apresentado como uma ferramenta útil para a avaliação que garanta o abastecimento de água sustentável para fins de irrigação em regiões árida e semiáridas.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

4.1.1 Bacia de Esgotamento Sanitário do Cocó

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do rio Cocó, situada na porção centro-norte do estado do Ceará, dentro da Região Metropolitana de Fortaleza e parte do sistema Cocó/Coaçu (Figura 3). Em seu comprimento é cortada pelas rodovias estaduais CE – 065 e CE – 040, além da BR – 116 (LEAL, 2014). Está limitada ao norte com a Bacia Vertente Marítima, ao sul com os municípios de Maracanaú, Pacatuba e Itatinga, ao leste com o Oceano Atlântico e ao oeste com a bacia do Siqueira. Na margem direita há as seguintes sub-bacias contribuintes: CD-1, CD-2, CD-3, CD-4 e CD-5 e a margem esquerda tem-se: CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-10, CE-11, G1, G-2.1, G-2.2, G-3, G-4, G-5, G-6 e G-7 (FORTALEZA, 2014).

Figura 3 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Cocó, Ceará, Brasil.



A Bacia Hidrográfica do Cocó é considerada o principal recurso hídrico da Região Metropolitana de Fortaleza, com uma extensão em torno de 50 km da sua nascente à foz

(LOPES, 2010). Possui 24 bacias de esgotamento sanitário (Quadro 6), que são as sub-bacias do Cocó, e é denominada Grande Bacia do Cocó. Abrange total ou parcialmente, com suas sub-bacias contribuintes, 65 bairros do município de Fortaleza, além de parcela de Maracanaú.

Quadro 6 - Bacias de esgotamento sanitário da grande bacia do Cocó.

Grande bacia	Bacia de Esgotamento			
	Sub-bacias			
Cocó	CD-1	CE-2	CE-8	G-2.2
	CD-2	CE-3	CE-9	G-3
	CD-3	CE-4	CE-10	G-4
	CD-4	CE-5	CE-11	G-5
	CD-5	CE-6	G-1	G-6
	CE-1	CE-7	G-2.1	G-7

Fonte: FORTALEZA (2014).

A nascente do rio Cocó está localizada na vertente oriental da serra da Aratanha, em Pacatuba, Ceará, que após a serra junta-se ao riacho Gavião e assim recebe esta denominação. Já em planície da Depressão Sertaneja, em seguida do recebimento das águas do Riacho Alegrete, da bacia do sistema Pacoti-Riachão e da barragem do Gavião, recebe a denominação Rio Cocó. Logo, forma-se a Bacia Hidrográfica do rio Cocó, que em sua extensão abrange parte dos municípios de Guaiúba, Pacatuba, Maranguape, Maracanaú, Itaitinga, Euzébio, Aquiraz e Fortaleza. Sua bacia drena uma área de aproximadamente 517,2 km² (DUAVÍ et al., 2015; LEAL, 2014).

Aproximando-se a foz do rio Cocó, o seu leito faz uma curva acentuada no sentido Leste, onde recebe as águas de seu último afluente o rio Coaçú. Por fim, deságua no Oceano Atlântico entre as praias da Caça e Pesca e da Sabiaguaba. Logo, recebe a influência das marés, possuindo regime de escoamento perene e formando estuário alongado, que possui 210 ha de manguezais (LOPES, 2010; DUAVÍ et al., 2015), além disso o estuário está inserido no Parque Ecológico do Cocó com uma área total de 1.155,2 ha (FREIRES et al., 2014).

Ao longo do rio, há agressões naturais e antrópicas e seu processo de ocupação vem ocorrendo descontroladamente. Os problemas ambientais são específicos de zonas urbanas, pois atravessa áreas de grande concentração urbana, industrial e comercial, acarretando modificações no meio ambiente. Alguns dos principais impactos ambientais causados ao rio são: disposição de resíduos sólidos, ocupações irregulares, construções irregulares, lançamento de efluentes, desmatamento da vegetação de mangue; ocupação de áreas de preservação permanente, supressão de áreas úmidas, impermeabilização de extensos trechos do leito principal do estuário (LOPES, 2010).

4.1.2 Estações de Tratamento de Efluentes

A capital cearense opera com dois sistemas de esgotamento sanitário. O primeiro ocorre através do sistema integrado de transporte de efluentes sanitário, que os converge para a Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC), e o segundo através dos sistemas isolados (FORTALEZA, 2014).

A EPC tem como finalidade a remoção de material sólido e flutuante e o lançamento do seu efluente ocorre através de emissário submarino. Por outro lado, os sistemas isolados são aqueles que não estão interligados ao sistema integrado e cujo tratamento ocorre em decantodigestores associados a filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios e lodos ativados. Logo, para esses sistemas, o processo de coleta e tratamento ocorre no mesmo local (FORTALEZA, 2014).

Para esta pesquisa, foram escolhidas as ETEs que operam com os sistemas isolados e estão localizadas na Grande Bacia de esgotamento sanitário do Cocó. Na área de estudo, foram disponibilizadas informações de 55 ETEs destacadas no Anexo A com seus respectivos tipos de tratamento, distribuídos por sub-bacias inseridas e com gestão sob a responsabilidade das seguintes unidades de negócio da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE): Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto (UNMTE), Unidade de Negócio Metropolitana Sul (UNMTS) e Unidade de Negócio Metropolitana Oeste (UNMTO) (CEARÁ, 2021b).

A solicitação dos dados de qualidade dos efluentes dessas ETEs ocorreu através do portal Ceará Transparente à CAGECE. A Companhia esclareceu que devido ao cenário mundial de Pandemia de Covid-19, algumas estações não haviam sido monitoradas durante parte do ano de 2020. Além disso, dados, de longos períodos de monitoramento, não foram disponibilizados pelo Órgão, com a justificativa de se tratar de informação não disponível. De acordo com a CAGECE, o cenário de Pandemia havia inviabilizado as condições de mão de obra e tempo para consolidação das informações.

Diante disto, foram disponibilizados os relatórios de monitoramento de 25 ETEs durante o período de 2020. Esses relatórios possuíram carência de dados para algumas dessas estações, que não apresentavam a maioria dos dados de análises anuais. Devido a esta carência, foram selecionadas 16 ETEs das 25 disponibilizadas (Tabela 1) para a realização do estudo. Estas estações possuem as seguintes tecnologias de tratamento: reator UASB com o pós-tratamento biofiltro aerado submerso (BF) seguido de cloração – UASB + BF + CLOR (4 ETEs), reator

UASB sem o pós-tratamento também seguido de cloração – UASB + CLOR (7 ETEs) e lagoas de estabilização - LE (5 ETEs).

Após a Pandemia de Covid-19, com o retorno das atividades, novos dados foram solicitados à CAGECE das 55 estações disponibilizadas para esta pesquisa. O Órgão disponibilizou relatórios de 50 ETEs, sendo dados de 5 ETEs com UASB + BF + CLOR, 8 ETEs com UASB + CLOR, 6 ETEs com LE, 31 ETEs com a tecnologia de tratamento de decanto-digestores associados a filtros anaeróbios também seguidas de cloração – DD + FA + CLOR. Para o presente estudo, não foram disponibilizados dados de cinco estações: Jangurussú (LE), Nova Descoberta – Favela Vertical, Santa Maria Gorete, Conj. PM II – Aracapé (DD + FA + CLOR) e DIF III (UASB + LE) (Anexo A).

Tabela 1 – Estação de tratamento selecionadas para o estudo, diferenciadas de acordo com suas tecnologias de tratamento.

Tecnologias	Sigla	ETE
UASB com pós-tratamento seguido de cloração	UASB + BF + CLOR	Centro de Eventos
		Aldemir Martins
		Castelão
		Rosalina
		José Euclides
	Total	5
UASB sem pós-tratamento seguido de cloração	UASB + CLOR	Lago Azul
		Sítio Santana
		Zeza Tijolo
		Novo Barroso
		Riacho Doce
		Itaperi
		Aracapé III
		Itaperussu
	Total	8
Lagoas de Estabilização	LE	João Paulo II
		Conjunto Palmeiras
		São Cristóvão
		Tupã Mirim
		José Walter
		Tancredo Neves
	Total	6

Continua na próxima página

Continuação

		01 de março
		Sítio Estrela
		Almirante Tamandaré I
		Dom Lorscheider
		São Domingos
		8 de Setembro
		24 de março
		Barroso II
		Unidos Venceremos
		Passaré I
		Passaré II
		Soares Moreno
		Jardim União I
		Jardim União II-01
		Jardim União II-02
		Campos dos Ingleses 1
		Campos dos Ingleses 2
		Campos dos Ingleses 3
		Campos dos Ingleses 4
		Campos dos Ingleses 5
		Campos dos Ingleses 6
		Campos dos Ingleses 7
		Aracapé I
		Aracapé II
		Monte Líbano
		Ipaumirim
		Marcos Freire
		Novo Renacer
		Pequeno Mondubim
		Sítio Córrego I
		Sítio Córrego II
	Total	30

UASB + BF + CLOR: reator UASB seguido de biofiltro aerado submerso e cloração; UASB + CLOR: reator UASB + CLOR; LE: lagoas de estabilização; DD + FA + CLOR: decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio e cloração. Fonte: CEARÁ (2021b).

4.1.2.1 Seleção de parâmetros

Os dados das ETEs foram disponibilizados pela CAGECE através de relatórios e, de forma geral, foram analisados 07 (sete) anos de dados do período de 2016 a 2022. Como abordado no tópico anterior (seção 4.1.2), no primeiro momento desta pesquisa foram utilizados

relatórios de 16 ETEs para o ano de 2020. Dessa forma, visando maior quantidade de dados foram utilizados outros relatórios de qualidade dos efluentes que foram disponibilizados por um professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e obtidos pela Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle de Serviços Públicos de Saneamento Ambiental de Fortaleza (ARCFOR). Esses relatórios apresentavam análises para o período de 2016 a 2019. A posteriori, foram adicionados os dados de 2021 e 2022.

Para manuseio estatístico os dados dos relatórios foram convertidos em planilhas no Excel. A análise de dados permitiu a seleção de quatro parâmetros, sendo dois físicos, um químico e um biológico para o estudo. O critério de escolha foi a quantidade de informações em número suficiente para aplicação do estudo estatístico, além de estarem contidos nas legislações ambientais para o lançamento (BRASIL, 2011; CEARÁ, 2017). Logo, os parâmetros escolhidos foram potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST) e *Escherichia coli* (E.coli).

As concentrações de DQO foram convertidas para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) a fim de compará-las com a legislação ambiental (BRASIL, 2011; CEARÁ, 2017). Para a conversão dessas concentrações, foram utilizados valores da relação DQO/DBO da literatura e valores obtidos através de análises de DBO disponibilizadas pela CAGECE durante o período estudado. De acordo com Von Sperling (2014), o esgoto doméstico bruto possui uma relação de DQO/DBO que pode variar entre 1,7 e 2,2. Para o efluente oriundo de tratamento biológico essa relação apresenta valores usualmente superiores a 2,5. A depender da eficiência do tratamento, quanto maior ela for, maior será esta relação, podendo chegar a valores como 4,0 ou 5,0. Logo, a partir do conjunto de dados de DBO e DQO analisados, foi obtida uma relação de 3,0, sendo este o valor utilizado para a conversão.

Os dados dos parâmetros SST, pH, *E.coli* foram disponibilizados somente para o efluente tratado, porém para a DQO, além dos dados de efluentes, também houve algumas análises de qualidade do afluente. Tal informação permitiu obter a relação para DQO/DBO mais adequada. Por fim, objetivando realizar uma caracterização do esgoto bruto, necessária nas próximas etapas do estudo, foram levantados dados na literatura (Quadro 7) para os demais parâmetros, que não tiveram seus dados afluentes disponibilizados.

Quadro 7 - Concentrações típicas de esgoto sanitário bruto.

Parâmetros	Referências						
	Dos Santos (2008)	Von Sperling (2005)	Monteiro (2009)			Dados CAGECE	
	Faixa		M	Med	M.G.	M	Med
SST (mg/L)	300 – 400	200 – 450	317,9	292,0	274,1	-	-
DQO (mg/L)	500 – 800	450 – 800	803,0	785,0	735,4	369,41	200,9
Ph	7,0 – 8,0	6,7 – 8,0	7,3	7,2	7,2	-	-
CF (org/100 mL)	1,00E+07 – 1,00E+9	1,00E+6 – 1,00E+9	1,63E+08	2,35E+07	1,93E+07	-	-

CF: coliformes fecais; M: média; Med: mediana; M.G.: média geométrica. Fonte: Adaptado de Dos Santos (2008), Von Sperling (2005), Monteiro (2009) e CAGECE (2021b).

A partir da legislação ambiental foram limitados os valores para cada parâmetro estudado (Quadro 8). Os limites foram definidos com base na Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Ceará (COEMA) n° 02 (CEARÁ, 2017) e na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n° 430 (BRASIL, 2011).

Quadro 8 - Legislações com os limites de lançamento de efluentes sanitários para os parâmetros selecionados.

Parâmetros	Abrev.	CEARÁ (2017)	BRASIL (2011)
Sólidos Suspensos Totais	SST	Até 150 mg/L para lagoas de estabilização	-
		até 100 mg/L para demais tecnologia que não são as lagoas de estabilização	
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	Até 120 mg/L	Máximo de 120 mg/L
Potencial Hidrogeniônico	pH	entre 5 e 9	entre 5 e 9
Coliformes termotolerantes	E.Coli	Número Mais Provável (NMP) até 5000 CT/100 mL	-

Fonte: BRASIL (2011), CEARÁ (2017).

Para todos os parâmetros foram calculadas a média aritmética, como medida de tendência central. Há diversas possibilidades de erros que podem influenciar as medições, sejam eles grosseiros, sistemáticos ou aleatórios, logo optou-se por utilização das médias semestrais

para aplicação no índice, objetivando a redução dos ruídos presentes no conjunto de dados (CABRAL, 2004).

4.2 Construção do Índice

Nesta etapa, foram utilizados os dados das 16 ETEs com tecnologias UASB e LE, pois essas estações apresentaram o maior número de dados para a condução do tratamento estatístico necessário a construção do índice. Para isto, foram utilizados os dados de 2016 a 2020, totalizando cinco anos de análises. Por fim, foram utilizados os dados de 2021 e 2022 para validar as equações construídas, a fim de garantir a robustez do índice.

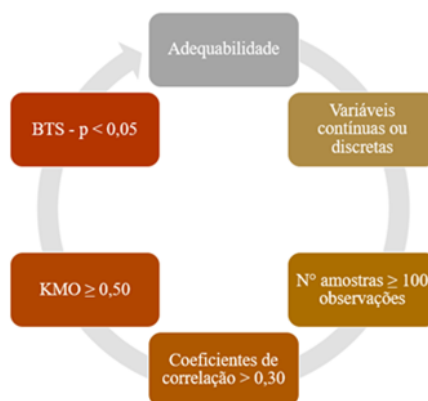
4.2.1 Metodologia utilizada

O primeiro passo na metodologia de construção foi a organização da planilha no Excel com os dados presentes nos relatórios. A partir disso, foram selecionadas as variáveis físicas, químicas e biológicas com dados em quantidade suficiente para a aplicação no estudo estatístico.

Após os dados devidamente organizados, a estatística descritiva foi realizada (média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo), a fim de estudar os padrões de distribuição dos dados. Em seguida, a adequabilidade dos dados foi avaliada, verificando se as variáveis são quantitativas e se possuem tamanho amostral considerável, como por exemplo entre 50 e 100 observações, pois quanto maior o número de observações, conseqüentemente, mais interessante será para o estudo (FIGUEIREDO FILHO E DA SILVA JÚNIOR, 2010). Além disso, testes de correlação foram realizados para a aplicação do método de Análise de Componentes Principais (*principal component analysis* - PCA) e a construção do modelo. O passo a passo para a verificação da adequabilidade dos dados consta na Figura 4.

Para a construção é necessário verificar se há padrão de correlação entre as variáveis de interesse, uma vez que variáveis estatisticamente independentes das demais não são interessantes para a aplicação de PCA. Se forem independentes, o agrupamento de variáveis não ocorre para formação de nenhum construto, ou seja, a construção de fatores não tem sentido. Logo, a matriz de correlação das variáveis deve conter, na maior parte dos coeficientes, valores superiores a 0,30, para serem considerados. (FIGUEIREDO FILHO; DA SILVA JÚNIOR, 2010).

Figura 4 – Processo de verificação da adequabilidade dos dados.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (Equação 3) é importante na verificação da adequabilidade, pois representa a proporção de variância das variáveis que pode ser explicada pelos fatores gerados. Neste caso, quanto mais próximos os valores de KMO estiverem de um melhor será a adequabilidade, porém considera-se um patamar mínimo de 0,50. Além destes, o teste de Bartlett (*Bartlett's test of sphericity* - BTS) é importante para a definição da correlação entre as variáveis, pois o mesmo quando estatisticamente significativo ($p < 0,05$), permite concluir que há alguma associação entre as variáveis, podendo representar conjuntamente traços latentes. (MATOS; RODRIGUES, 2019).

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (3)$$

O termo r_{ij} equivale ao coeficiente de correlação simples entre as variáveis i e j , A_{ij} é o coeficiente de correlação parcial entre os pares de variáveis.

Por se tratar de um método com sensibilidade, o PCA necessita de normalização dos dados a fim de reduzir os erros, logo os dados foram normalizados a partir da Equação 4.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Para tal, tem-se que:

X – valor observado para a variável

μ – média da variável X

σ – desvio padrão da variável X

Z – observação da variável transformada

O teste KMO também foi utilizado para selecionar variáveis a serem empregadas, visto que valores de KMO inferiores a 0,5 equivalem a variáveis com menor comunalidade. Tais variáveis podem ser retiradas, resultando na realização de novos testes. Logo, foram se realizando testes, montando-se correlações entre as variáveis, até se obter o maior valor possível do KMO

Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o software *Jamovi* 1.6 (JAMOVI, 2021). A análises de comparações procedeu com os valores de tendência central, referentes a média, calculados para cada variável no mês de coleta. Também se aplicou análise visual e verificação de coerência, com base em avaliação da linearidade dos resultados, objetivando examiná-los e validá-los.

4.2.1.1 Análise de Componentes Principais

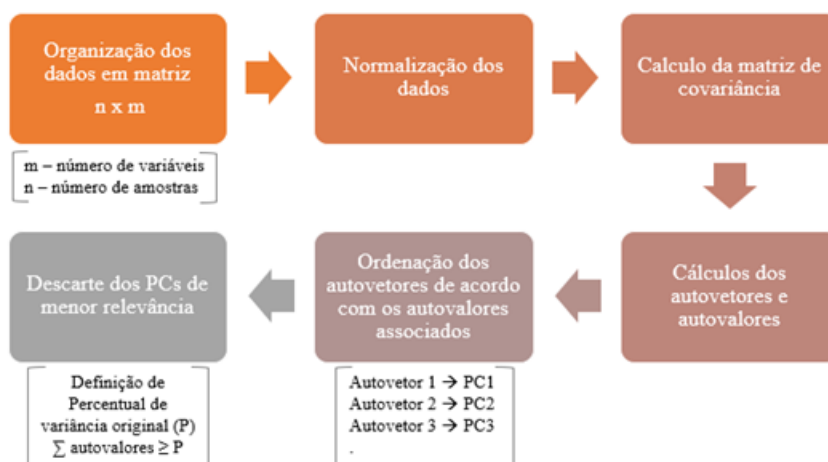
A análise de componentes principais (*Principal Components Analysis* - PCA) se trata de ferramenta estatística que visa descrever a estrutura de variância e covariância de um conjunto de variáveis ou dimensões, através de combinações lineares dos elementos desse conjunto. Esta ferramenta permite visualizar como e com qual importância essas dimensões influenciam na variação dos valores medidos (ROSSI, 2017).

Essa análise reduz a dimensionalidade do conjunto de variáveis, criando-se uma nova base. Para esta são definidas componentes linearmente independentes e em menor número, a partir das componentes principais (*principal components* - PCs) apontadas por PCA. As componentes principais contêm de modo ordenado a maior parcela de variância original, logo a principal componente obtida pela aplicação de PCA corresponde ao eixo da nova base com maior dispersão dos dados originais (NEWHART et al., 2019). O fluxograma contendo os passos para aplicação de PCA estão contidos na Figura 5.

Há muitas aplicações de PCA nas estações, que vão desde a detecção direta de falhas, reconstrução de dados, derivação de informações sobre a influência sazonal e diferenças composicionais no esgoto gerado por resíduos domésticos e industriais, monitoramento do nível de desempenho de ETEs (EBRAHIMI; GERBER; ROCKAWAY, 2017; NEWHART et al., 2019). Isso se deve, justamente, ao seu potencial de extrair informações relevantes de grandes conjuntos de dados, além de descrever relações complexas entre atributos de entrada e

variáveis de destino (DEEPNARAIN et al., 2019).

Figura 5 – Etapas para a aplicação de PCA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.2.2 Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário

O Índice de Tratamento do Esgoto Sanitário (ITES) foi construído com base na técnica de estatística multivariada, PCA, sendo calculado a partir do produtório ponderado dos parâmetros (Equação 5), de maneira similar ao cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022).

$$ITES = \prod_i^n q_i^{w_i} \quad (5)$$

Para tal, tem-se que:

q_i = qualidade da i -ésima variável (valor entre 0 e 100, obtido através da concentração ou medida dos parâmetros);

w_i = peso da variável (valor entre 0 e 1);

$$\sum w_i = 1.$$

Algumas etapas foram executadas para determinação do peso (w_i) e da qualidade (q_i) de cada variável. Para o cálculo do peso (w_i) foi utilizado como ferramenta a planilha Excel, seguindo-se as etapas trabalhadas a seguir:

a) Obtenção de uma matriz de correlação:

Esta etapa consistiu na geração da matriz de correlação. Para isto, foi necessária a organização dos dados em planilha no Excel, contendo as variáveis do tratamento para serem analisadas. A princípio todos os dados das variáveis foram normalizados (Equação 1), para garantir a mesma escala e magnitude.

b) Extração dos fatores de cada componente:

Para a extração dos fatores foi utilizado o método de análise dos componentes principais.

O teste Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) (Equação 3) foi aplicado a fim de averiguar o modelo gerado pela PCA, medindo a adequabilidade da amostragem, além de comparar as magnitudes dos coeficientes de correlação observados e os coeficientes de correlações parciais. Os resultados são valores entre zero e um, sendo quanto mais próximo de um, melhor aplicabilidade à metodologia de análise fatorial (SILVA et al., 2020). Além disso, são representantes da proporção de variância das variáveis, que podem ser explicadas pelos fatores ou traços latentes, ou seja, quanto mais próximo de um mais adequados para aplicação em análise fatorial são os dados (MATOS; RODRIGUES, 2019).

De acordo com Kaiser e Rice (1974), os valores de KMO podem ser classificados para índices KMO acima de 0,8 como bom e abaixo de 0,5 como ruim, sendo entre 0,6 e 0,7 índices regulares. De acordo com Valente et al. (2011), valores abaixo de 0,5 já sugerem uma não aplicabilidade do método.

c) Extração do número de componentes

Para a extração do número de componentes (Equação 6) foram utilizados componentes principais, através do modelo de análise de fator. Foi utilizada a variância da combinação linear das variáveis observadas para realização da extração dos fatores. Este critério define que a extração do primeiro fator representa a combinação linear que explica a variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima explicação da variância remanescente e assim sucessivamente (PALÁCIO, 2004).

$$X_i = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{ik}F_k + U_i \quad (6)$$

Para tal, tem-se que:

X_1, X_2, \dots, X_3 = combinação linear de fatores;

F_1, F_2, \dots = fatores comuns;

U = fator único, representando fração que não é explicada pelos fatores comuns;

A = constantes usadas para combinar com os fatores de k .

A análise de fator utiliza a comunalidade para estimar a variância de cada variável. A comunalidade, por sua vez, calcula a proporção da variância de cada fator comum, onde também se expressa a intensidade da associação linear entre uma variável com as outras variáveis (Equação 7).

$$C_i = \sum_{l=1}^N A_{il}^2 \quad (7)$$

Para tal, tem-se que:

C_i = representa a comunalidade de cada variável;

A_{ij}^2 = variância da variável X_{ij} .

O critério de Kaiser, ou regra do *eigenvalue*, foi utilizado para definir o número de fatores extraídos. Neste, são considerados que só devem ser extraídos os fatores com valor de *eigenvalue* acima de um. Pois para o fator com valor baixo, caracteriza-se como o fator que contribui pouco para a explicação da variância das variáveis originais. Também foi considerado o critério da variância acumulada, no qual percentuais a partir de 60% são aceitáveis, enquanto valores inferiores permitem a extração de fatores. (FIGUEIREDO FILHO; DA SILVA JÚNIOR, 2010).

d) Rotação dos fatores

Para a definição da rotação dos fatores foi escolhida a rotação ortogonal, do tipo varimax, que busca minimizar o número de variáveis com altas cargas em cada fator. As cargas fatoriais de cada variável são observadas, a fim de identificar as que possuíram valores elevados em ambos os componentes. Pois a mesma variável não pode contribuir para a construção de fatores distintos. O valor limite aceitável de contribuição da variável é 0,40 para criação do fator, o

objetivo deste valor é evitar o problema de indeterminação da relação entre variáveis e fatores. (FIGUEIREDO FILHO; DA SILVA JÚNIOR, 2010).

e) Peso de cada variável (W_i)

Para o cálculo do peso de cada variável (W_i) foi aplicada a Equação 8.

$$W_i = \frac{\sum_{l=1}^L F_1 A_l^i}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^L F_1 A_l^i} \quad (8)$$

Para tal, tem-se que:

F = fatores extraídos para o modelo;

A_1 = comunalidade de cada variável no fator;

L = número de componentes.

f) Qualidade das variáveis (q_i)

A qualidade das variáveis (q_i) foi definida como um número adimensional que variou entre 0 e 100, como a escala do IQA. Para isto, foram definidas faixas quanto ao atendimento da legislação de lançamento para cada parâmetro estudado: insatisfatório (0 – 39,9), satisfatório (40 – 69,9) e excelente (70 – 100) (Tabela 2). Para o parâmetro sólidos suspensos totais (SST) foram definidas faixas para a tecnologia com lagoas de estabilização (LE) e para as demais tecnologias, visto que, a legislação ambiental diferencia o limite de lançamento para este parâmetro.

Dessa forma, o mesmo raciocínio do IQA foi seguido, quanto melhor a qualidade da variável, maior será o valor do índice e mais próximo de 100. Para a faixa excelente, há os melhores valores de qualidade dos parâmetros para o lançamento. Nesta faixa, o parâmetro não só atendeu à concentração limite, como foi lançado com concentrações menores do que as exigidas pela legislação ambiental. A partir da avaliação dos dados, foi identificado que o valor máximo de redução das concentrações dos parâmetros em relação a legislação, foi de até 80%. Sendo assim, este percentual foi o utilizado para o cálculo da concentração limite da faixa $q_i = 100$. Isto implica que o máximo removido, de forma geral, equivaleria a valores inferiores em até 80% aos limites estabelecidos em legislação. Nos casos, em que as concentrações foram inferiores às estabelecidas para o $q_i = 100$, seus valores de qualidade foram, automaticamente,

estabelecidos como 100.

Para a faixa de satisfatório (40 – 69,9), compreendeu-se que o parâmetro atendeu à legislação de lançamento (Quadro 8, item 4.1.3). Finalmente, a pior qualidade foi encontrada na faixa de 0 a 39,9, na qual a variável se encontrou fora dos padrões para o lançamento. Para a construção desta classe, foram usados dados de esgoto bruto (Quadro 7, item 4.1.3) como sendo o limítrofe superior ($q_i = 0$). Os valores de concentração superiores às concentrações definidas para o $q_i = 0$ tiveram a sua qualidade automaticamente considerada como 0. Os demais valores de concentrações das classes apresentadas foram obtidos através da interpolação linear dos valores estabelecidos.

A concentração de esgoto bruto ($q_i = 0$) para o parâmetro E.coli foi adaptada, pois com $1,00E+08$ NMP/100 mL (Quadro 7, item 4.1.3) o intervalo da classe 0 – 39,9 ficaria muito grande, reduzindo a diferenciação do q_i dentro da classe. Logo, foi usada como concentração bruta $1,50E+04$ NMP/100 mL, equivalente a três vezes a limítrofe inferior calculada ($q_i = 39,9$; $5,01E+03$ NMP/100 mL). O fator multiplicativo foi determinado com base nas relações encontradas para os outros parâmetros na construção dessa faixa de qualidade (0 – 39,9).

As informações para o esgoto bruto usadas para a construção da qualidade das variáveis estão contidas no Quadro 7 (Item 4.1.3). O estudo de Monteiro (2009) avaliou algumas das ETEs objetos desta pesquisa, logo foi usado como base para determinar o valor de referência para o esgoto bruto da capital cearense. Isto ocorreu aproximando-se as médias da literatura com as médias encontradas pelo pesquisador. Esses valores foram utilizados para os parâmetros que não tiveram suas informações de qualidade afluente fornecidas.

Tabela 2 - Faixas para a qualidade das variáveis (q_i).

Faixa	DBO (mg/L)	SST⁽¹⁾ (mg/L)	SST⁽²⁾ (mg/L)	E.coli (NMP/100 mL)
0 – 39,9	364 – 121	300 – 150,1	300 – 101,1	$1,50E+04$ – $5,01E+03$
40 – 69,9	120 – 72,1	150 – 90,1	100 – 60,1	$5,00E+03$ – $3,00E+03$
70 – 100	72 – 24	90 – 30	120 – 72,1	$3,00E+03$ – $1,00E+03$

(1) Valores de SST para Lagoas de estabilização. (2) Valores de SST para as demais tecnologias. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após estabelecidas as faixas de qualidade das variáveis, foi construída planilha no excel

a fim de gerar uma nota de qualidade para cada parâmetro avaliado. Buscando a redução dos ruídos nos dados, decorrentes de erros de medições ou de introdução de dados, foram utilizadas as médias semestrais para o período de estudo. Após obtida a nota, ela foi então inserida nas equações do ITES de acordo com a Equação 5, a fim de obter o índice de tratamento do esgoto sanitário (ITES).

g) Classificação do Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário

Para o Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário (ITES) foram estabelecidas três classes: Insatisfatório, Satisfatório e Excelente (Tabela 3). A classificação Insatisfatório consistiu em não atendimento da legislação ambiental para todos ou para algum dos parâmetros de lançamento. Para a classe Satisfatório todos os parâmetros envolvidos atenderam. Enquanto para a classe Excelente, os parâmetros atenderam a legislação, mas com concentrações médias inferiores aos valores estabelecidos pela legislação ambiental.

Através do tratamento de dados foram obtidas equações por tecnologia de tratamento, que permitiram a obtenção do ITES das estações estudadas.

Tabela 3 - Designação qualitativa das classes do ITES.

Faixa	Classe
0 – 39,9	Ruim
40 – 69,9	Satisfatório
70 – 100	Excelente

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para esta pesquisa, foram utilizados os dados de monitoramento dos efluentes de 50 estações de tratamento de efluentes (ETEs), localizadas na grande bacia de esgotamento sanitário do Cocó, em Fortaleza, Ceará. As estações operam com quatro tecnologias de tratamento, tais como: reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) com biofiltro aerado submerso (BF) e cloração (5 ETEs) – UASB + BF+ CLOR –, reator UASB seguido apenas de cloração (8 ETEs) – UASB + CLOR –, lagoas de estabilização (LE, 6 ETEs) seguidas de cloração – LE + CLOR – e decanto digestores (DD) associados a filtros anaeróbios (FA) seguido de cloração (31 ETEs) – DD + FA + CLOR – (Tabela 1, item 4.1.2.) Os dados de monitoramento foram avaliados dentro de uma série temporal de sete anos, do período de 2016 a 2022. As tipologias para a lagoa de estabilização estão diferenciadas no Anexo A.

5.1 Análises dos dados

Para cada ETE analisada, a quantidade de dados foi variada com diferentes frequências de monitoramento, havendo estações que não monitoraram durante todo o período de análise. Os dados apresentaram valores repetidos, em especial para o parâmetro E.coli, além de serem irregulares, pois houve valores altos em um mês, enquanto que para o mês seguinte havia quedas consideráveis, sendo este o padrão de muitas análises.

A maioria da ETEs não possuiu dados de monitoramento para todos os parâmetros previstos para análise, sendo um padrão para as ETEs no Brasil (MORAIS; DOS SANTOS, 2019), além de haver valores de DBO afluente inferiores aos valores de DBO efluente, sinalizando erros nas medições. Tais problemas também foram identificados por Monteiro (2009), que avaliou os dados de monitoramento dos esgotos afluente e efluente de 56 ETEs na Região Metropolitana de Fortaleza, inclusive de ETEs presentes neste trabalho, indicando a possibilidade de erros de medição ou introdução de dados.

Para uma avaliação inicial dos dados, foi realizada a estatística descritiva (Tabela 4) das concentrações dos efluentes das 16 estações que foram primeiramente selecionadas. Essas estações foram utilizadas para a construção do índice, por isso os seus dados foram avaliados de maneira isolada. Na estatística descritiva são apresentados os resultados de média aritmética, desvio padrão, mínimo e máximo.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos dados das ETEs selecionadas para aplicação do índice.

Estatística	Parâmetros			
	pH	⁽¹⁾ DBO	⁽¹⁾ SST	⁽²⁾ E.coli
N	1.237	1.237	1.237	1.237
Média Aritmética	7,46	318	117	5,15E+05
Mediana	7,30	245	88,9	330
Desvio Padrão	0,49	415	216	1,72E+06
Mínimo	6,50	15,6	2,00	1,00E+00
Máximo	9,41	8.128	5.900	1,50E+07

(1) Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) expressos em mg /L. (2) Valores de *Escherichia coli* (E.coli) expressos em NMP/100 mL. N: número de observações. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise da estatística descritiva permitiu, de maneira geral, verificar os parâmetros e como estão os seus atendimentos aos limites para o lançamento (Quadro 8, item 4.1.3). O parâmetro pH encontrou-se dentro dos limites estabelecidos (entre 5 e 9) com valor médio de 7,48. Para os processos químicos ou biológicos, envolvidos no tratamento de águas residuárias, o pH é fundamental, logo, deve ser mantido em faixas adequadas à ocorrência das reações químicas ou bioquímicas desses processos (DOS SANTOS, 2007).

Os demais parâmetros, de maneira geral, se encontraram acima dos limites estabelecidos. Os resultados alcançados, para os parâmetros pH, DBO, SST e E.coli, foram semelhantes aos obtidos no estudo de Monteiro (2009) e Rollemberg (2017).

A estatística descritiva foi também realizada para cada tecnologia estudada (Tabela 5). A tecnologia UASB com pós tratamento (Biofiltro Aerado Submerso – BF) apresentou os melhores resultados, os valores médios baixos, dentre as tecnologias estudadas, com exceção para o parâmetro E.coli (9,2E+05). Porém, a DBO esteve acima do limite para o lançamento (120 mg/L). As demais tecnologias tiveram diferenças consideráveis entre os resultados médios dos parâmetros e os limites para o lançamento, estabelecidos na legislação vigente. As ETEs com a tecnologia DD + FA + CLOR apresentaram os maiores valores médios para os parâmetros estudados.

A estatística descritiva permitiu verificar, através do teste Shapiro-Wilk, que a distribuição dos dados não é normal. A partir disto, foi realizado o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, a fim de verificar se a qualidade do efluente tratado mudou significativamente ao longo do período analisado por parâmetro investigado. Todos os dados dos parâmetros analisados apresentaram valores de $p < 0,05$ ($p < 0,001$), indicando diferença significativa entre os dados. Isto sinalizou uma irregularidade dos dados, como identificado por Rollemberg (2017). De acordo com este pesquisador, este é um problema típico de operação dos sistemas das estações, pois não há consistência ao longo do tempo, ocorrendo oscilações de dados para

curtos períodos.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados de efluentes das ETEs selecionadas, organizados por tecnologia de tratamento.

Estatística	UASB + BF + CLOR				UASB + CLOR			
	pH	⁽¹⁾ DBO	⁽¹⁾ SST	⁽²⁾ E.coli	pH	⁽¹⁾ DBO	⁽¹⁾ SST	⁽²⁾ E.coli
Média Aritmética	7,29	176	55,9	9,2E+05	7,20	337	119	1,63E+04
Mediana	7,20	129	27,0	3,3E+01	7,20	298	100	5,70E+01
Desvio Padrão	0,32	136	68,1	2,66E+06	0,22	182	86,0	5,60E+04
Mínimo	6,50	15,6	2,00	1,00E+00	6,50	20,0	12,0	1,00E+00
Máximo	8,55	688	410	1,50E+07	8,10	1.306	1,00	2,40E+05
	LE + CLOR				DD + FA + CLOR			
Média Aritmética	7,96	405	162	9,02E+05	485	214	1,34E+06	
Mediana	7,90	244	101	2,90E+04	406	130	1,20E+03	
Desvio Padrão	0,50	682	360	1,80E+06	628	394	9,28E+06	
Mínimo	6,74	67,9	13,5	1,00E+01	4,00	1,0	1,00E+00	
Máximo	9,41	8.128	5.900	1,10E+07	14.924	4,530	2,00E+08	

(1) Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) expressos em mg/L.

(2) Valores de *Escherichia coli* (E.coli) expressos em NMP/100 mL. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5.2 Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário

Para a construção do Índice de Tratamento de Esgoto Sanitário (ITES) foram utilizados os dados de monitoramento de 16 ETEs como abordado no item 4.2. O ITES analisou os parâmetros estudados de forma direta e objetiva, com relação as legislações ambientais de lançamento (Quadro 8, item 4.1.2.1.). A metodologia do ITES foi inovadora, pois através de levantamento da literatura não foi possível encontrar índices relacionados ao esgotamento sanitário que utilizaram a mesma metodologia deste trabalho. Os resultados dos índices foram então discutidos de forma comparativa a outros trabalhos que avaliaram os parâmetros DBO, SST e E.coli das estações utilizadas nesta pesquisa. A análise comparativa foi realizada com o objetivo de atestar a robustez do ITES.

5.2.1 Análise de Componentes Principais

Para verificar a adequabilidade dos dados para aplicação da análise de componentes principais (*principal component analysis* - PCA), o passo a passo presente na Figura 4 (Item 4.2.1) foi executado. Os dados, do período de 2016 a 2020, foram submetidos a testes para avaliar a correlação por tecnologia de tratamento. A maioria dos coeficientes indicou boa correlação entre os parâmetros (com valores destacados na Tabela 6), ou seja, as variáveis mediram as mesmas características. Porém para algumas tecnologias houve correlações fracas em específico para o pH. Para a aplicação de PCA com sucesso é necessária verificação se há padrão de correlação entre as variáveis de interesse, pois variáveis estatisticamente independentes não são interessantes para a construção de fatores (FIGUEIREDO FILHO; DA SILVA JÚNIOR, 2010).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros analisados por tecnologias para as ETEs selecionadas para aplicação do índice.

UASB + BF + CLOR			
Correlação	pH	DBO	SST
pH			
DQO	-0,44		
SST	-0,39	0,89	
E.coli	-0,21	0,66	0,62
UASB + CLOR			
	pH	DQO	SST
pH			
DQO	-0,16		
SST	-0,06	0,73	
E.coli	0,06	0,32	0,33
LE + CLOR			
	pH	DQO	SST
pH			
DQO	-0,42		
SST	-0,44	0,47	
E.coli	-0,47	0,42	0,62

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e *Escherichia coli* (E.coli). Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise da estatística descritiva no item 5.1 destacou que o pH foi um parâmetro que atendeu ao limite exigido pela legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1.). Logo, não foi um

fator limitante a qualidade do efluente para o lançamento, pois está na faixa limite (entre 5 e 9). Além disso, foi o único parâmetro que apresentou coeficientes de correlação inferiores dentre as tecnologias estudadas. Logo, esse parâmetro foi removido da construção da equação do índice.

Em seguida, os dados foram submetidos ao Teste Kaiser – Meyer – Olkin (Tabela 7) (KMO), a fim de verificar a proporção de variância das variáveis que podem ser explicados pelos fatores gerados (MATOS; RODRIGUES, 2019). Os valores do teste KMO estiveram acima de 0,50, como é apresentado na Figura 4. De acordo com o Item 4.2.1.2, podem ser classificados como valores regulares. Como justificado no item 4.1.2, as atuais condições não tornaram possível o teste ser realizado com mais parâmetros devido a pouca disponibilidade de dados.

Tabela 7 - Valores do teste KMO por tecnologia de tratamento para as ETEs selecionadas para aplicação do índice.

Parâmetros	Tecnologia	KMO
DBO/SST/E.coli	UASB + BF + CLOR	0,68
DBO/SST/E.coli	UASB + CLOR	0,52
DBO/SST/E.coli	LE	0,66

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os testes já descritos visam auxiliar na diferenciação, em cada tecnologia, dos parâmetros relevantes para a construção dos fatores. Os melhores valores para o teste KMO foram obtidos para os parâmetros DBO, SST e E.coli para todas as tecnologias estudadas. Fato corroborado também no teste de correlação, na qual esses parâmetros apresentaram bons valores de correlação.

Além destes o teste de Bartlett (BTS) também foi realizado, a fim de definir a correlação entre as variáveis escolhidas, no qual, para todos os dados testados, os valores foram estatisticamente significantes ($p < 0,001$), indicando associação entre as variáveis (MATOS; RODRIGUES, 2019).

Por fim, visando complementar as informações ponderadas através de PCA, foi realizada uma análise visual e qualitativa dos dados, baseada em observação das concentrações dos parâmetros. A partir desta análise, foi possível identificar dentre os parâmetros aqueles que mais contribuíram para a qualidade do efluente, visando o refinamento de acordo com a realidade de cada tecnologia. Esse refinamento consistiu na redistribuição dos pesos, já devidamente calculados por PCA, para os parâmetros mais relevantes na definição de qualidade

do efluente. Além disso, como cada tecnologia possuía particularidades, não foi possível a construção de um índice para todas as estações, visto que não haveria como ponderar os parâmetros de uma maneira geral para refletir a realidade.

5.2.2 Construção das equações

Para o cálculo do ITES foram desenvolvidas fórmulas para cada tecnologia analisada neste estudo, de acordo com a técnica de PCA. Esta técnica permite a redução de dimensões de um conjunto de dados extenso, construindo um número menor de fatores que explicam a correlação de um maior número de variáveis. Essa construção ocorre sem a perda de muitas informações (DROSE *et al.*, 2020).

A PCA não resultou na redução de variáveis, pois o estudo estatístico já iniciou com poucas variáveis, mas foi importante para a identificação dos parâmetros que têm maior contribuição entre as tecnologias estudadas. Este fato também ocorreu para o estudo de (DROSE *et al.*, 2020). As equações podem ser verificadas a seguir:

5.2.2.1 Equações do ITES para UASB + BF + CLOR

Para esta tecnologia foram utilizados três parâmetros como descrito na Tabela 8, cujos resultados de PCA explicaram 81,8% da variação do conjunto de dados para a primeira componente principal (principal componente - PC1). De acordo com Hair (2005), as cargas dos fatores podem ser classificadas como muito significantes, quando os valores absolutos são iguais ou superiores a 0,75. Podem ser significantes quando ficam entre 0,50 e 0,75 ou insignificantes quando inferiores a 0,50. Logo, as cargas dos fatores deste estudo foram classificadas como muito significantes para os fatores.

Para PC1 a relação foi positiva para os parâmetros envolvidos; sendo a mesma relação verificada para as demais tecnologias. Em seguida, foram realizados os cálculos de ponderação das variáveis, através da Equação 8 (Item 4.2.1.2 – e), que também foi utilizada para as demais tecnologias (Tabela 8).

Tabela 8 - Resultados de PCA para reator UASB + BF + CLOR para o período de 2016-2020.

Dados	PC1		Pesos	
	Cargas do fator	Autovalor	PCA	Refinamento
DBO	0,95		0,30	0,05
SST	0,94	2,45	0,35	0,55
E.coli	0,82		0,35	0,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após o cálculo das ponderações foi construída a fórmula do ITES (Equação 9) de acordo com a Equação 5 (Item 4.2.1.2) também aplicada para as demais tecnologias, como poder ser visto a seguir:

$$ITES = q_{DBO}^{0,05} \cdot q_{SST}^{0,55} \cdot q_{E.coli}^{0,4} \quad (9)$$

Em que:

q – Qualidade da variável;

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio;

SST – Sólidos suspensos totais;

E.coli – *Escherichia coli*.

Após a equação definida, os valores das concentrações médias para os parâmetros DBO, SST e para a E.Coli, foram lançados em uma tabela no *Excel* que interpolou os valores estabelecidos na Tabela 3 (f – item 4.2.1.2), a fim de gerar a qualidade dessas variáveis, como explicado no item 4.2.2. (f). Após obtida a qualidade de cada variável, os resultados foram lançados na Equação 9 para que, finalmente, o índice fosse gerado. O mesmo raciocínio foi aplicado para as demais tecnologias.

5.2.2.2 Equações do ITES para o UASB + CLOR

Para a tecnologia reator UASB + CLOR os resultados de PCA explicaram 57,7% da variação do conjunto de dados, também para a PC1. As cargas dos fatores também foram muito significantes, com exceção para a E.coli, que apresentou carga insignificante (HAIR, 2005). Além disso, a PC1 apresentou relação positiva para os parâmetros. Os resultados da ponderação constam na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados de PCA para reator UASB + CLOR para o período de 2016-2020.

Dados	PC1		Pesos	
	Cargas do fator	Autovalor	PCA	Refinamento
DBO	0,93		0,49	0,05
SST	0,93	1,73	0,49	0,93
E.coli	0,05		0,03	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a obtenção dos pesos das variáveis foi construída a equação para o ITES desta tecnologia de tratamento (Equação 10)

$$ITES = q_{DBO}^{0,05} \cdot q_{SST}^{0,93} \cdot q_{E.coli}^{0,02} \quad (10)$$

Em que:

q – Qualidade da variável;

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio;

SST – Sólidos suspensos totais;

E.coli – *Escherichia coli*.

5.2.2.3 Equações do ITES para LE + CLOR

O tratamento de dados para a tecnologia de LE + CLOR gerou resultados para PCA que explicaram 66,9 % da variação do conjunto de dados, para a primeira componente principal (PC1). As cargas dos fatores foram muito significantes para DBO, SST e E.Coli (HAIR, 2005). A relação para os parâmetros foi positiva par a PC1 e em seguida, foi realizada a ponderação das variáveis (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados da PCA para LE + CLOR para o período de 2016-2020.

Dados	PC1		Pesos	
	Cargas do fator	Autovalor	PCA	Refinamento
DBO	0,75		0,31	0,11
SST	0,86	2,01	0,34	0,29
E.coli	0,84		0,35	0,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com a definição dos pesos, a equação do ITES para esta tecnologia está descrita a seguir:

$$ITES = q_{DBO}^{0,11} \cdot q_{SST}^{0,29} \cdot q_{E.coli}^{0,60} \quad (11)$$

Em que:

q – Qualidade da variável;

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio;

SST – Sólidos suspensos totais;

E.coli – *Escherichia coli*

5.2.2.4 Resultados dos ITESs

A partir das equações definidas, os índices das estações foram calculados, visando as suas classificações quanto ao atendimento da legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). Os índices calculados para as estações estudadas, assim como os valores das médias semestrais de cada variável, por tecnologia avaliada, podem ser encontrados no Anexo B. A fim de validar as equações construídas, foram empregados os dados de monitoramento dos anos de 2021 e 2022, que permitiram atestar os pesos definidos para os parâmetros estudados, como pode ser verificado a seguir:

a) ETEs com reator UASB + BF + CLOR

As concentrações dos parâmetros de cada uma das ETEs presentes nessa tecnologia permitem ratificar os índices obtidos para cada média semestral utilizada. A ETE Centro de Eventos não apresentou concentrações de DBO, SST e E.coli superiores aos limites de lançamentos para nenhuma das análises estudadas dentro do período de 2016 a 2022 (Figura 6). Logo, obteve índices de tratamento de esgoto sanitário (ITES) classificados na faixa excelente (Figura 6).

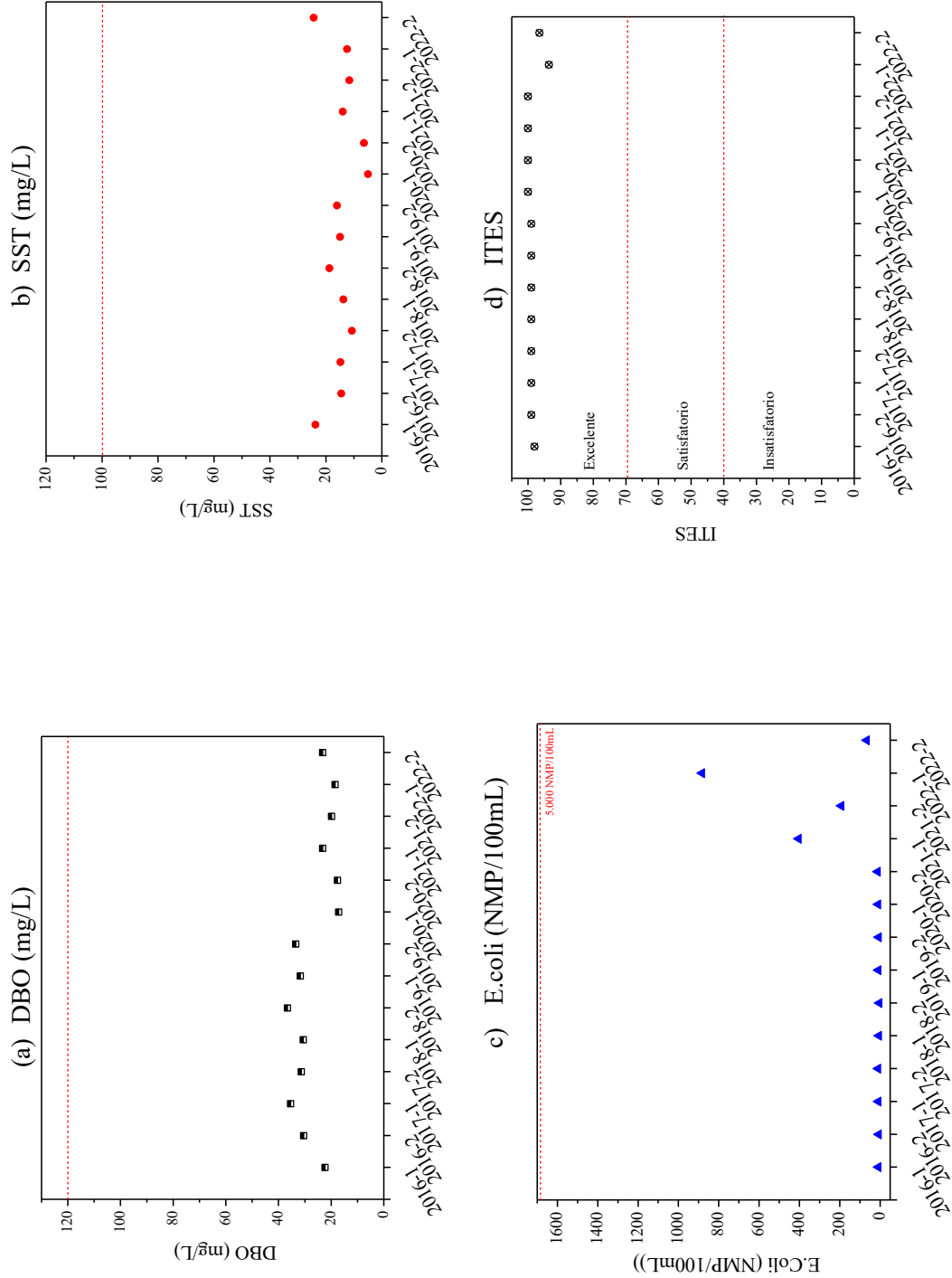
Isso também foi verificado para a ETE Castelão, cujas concentrações médias dos parâmetros estiveram abaixo dos valores limites para o lançamento e consequentemente apresentaram valores de ITES na faixa do excelente (Figura 7). Os melhores resultados da tecnologia UASB com pós-tratamento foram os apresentados para as estações supracitadas, pois de maneira geral, apresentaram os melhores índices de tratamento de esgoto sanitário e os menores valores de concentrações de lançamento dos seus efluentes.

A ETE Aldemir Martins também atendeu aos limites para o lançamento de todos os

parâmetros envolvidos e os seus ITES também estiveram na faixa do excelente, com valores entre 85 e 97 (Figura 8). De acordo com Dos Santos (2008), o sistema de reator UASB com pós-tratamento tem boas eficiências de remoção, sendo superiores às eficiências dos reatores sem o pós-tratamento. Esse fato ratifica o encontrado neste estudo, com estações que apresentaram resultados excelente de tratamento dos seus efluentes, com valores abaixo dos estabelecidos em legislações ambientais.

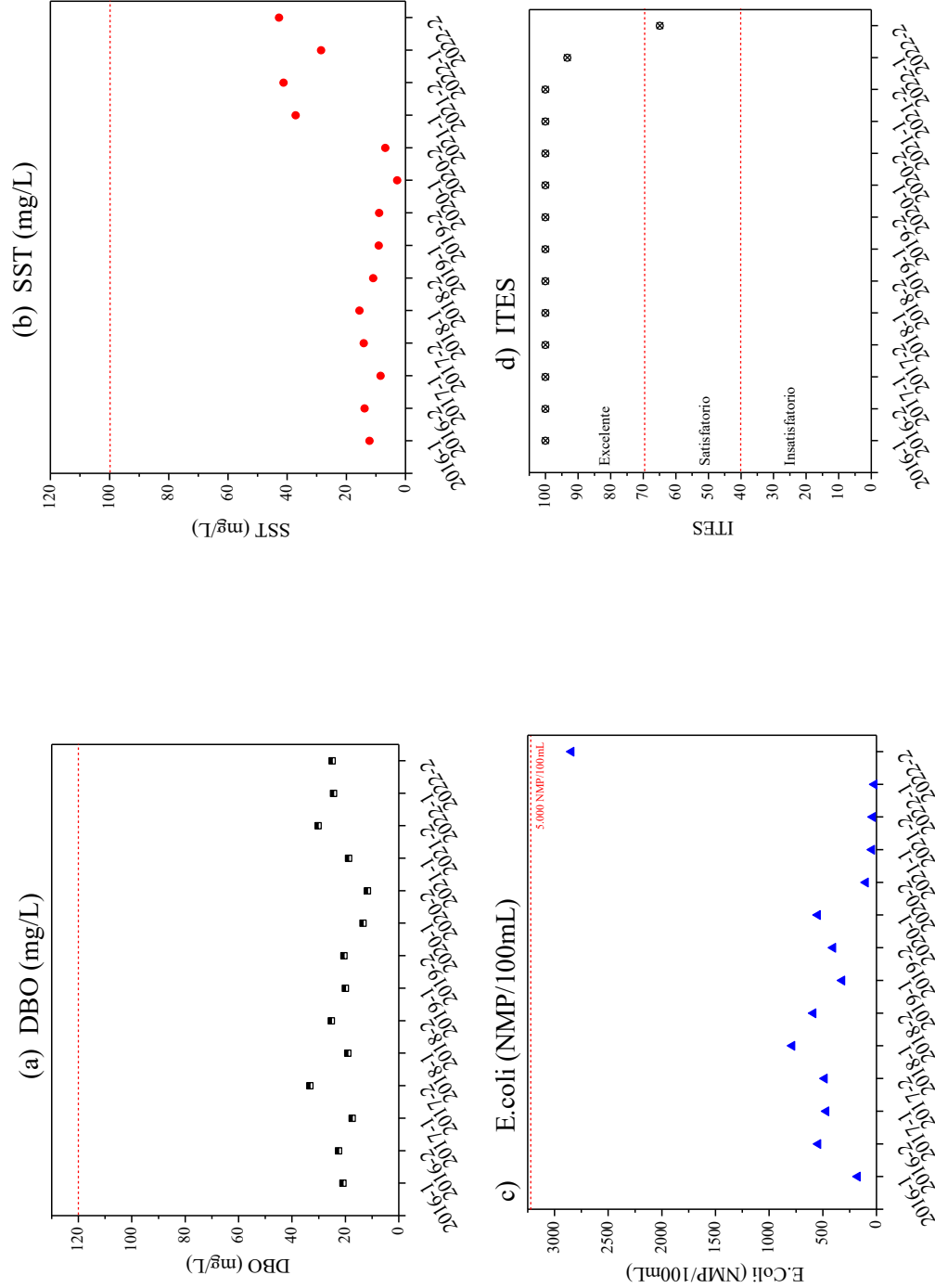
De acordo com Rollemberg (2017), que avaliou o potencial de reúso dos efluentes gerados em 64 ETEs de Fortaleza, a ETE Castelão atendeu aos limites da legislação ambiental para todo o período de pesquisa. Enquanto a ETE Centro de Eventos, atendeu durante parte do período. Magalhães (2017) também identificou que essas duas estações não apresentaram não conformidade (de natureza ambiental e operacional) nos históricos de qualidade dos efluentes.

Figura 6 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Centro de Eventos.



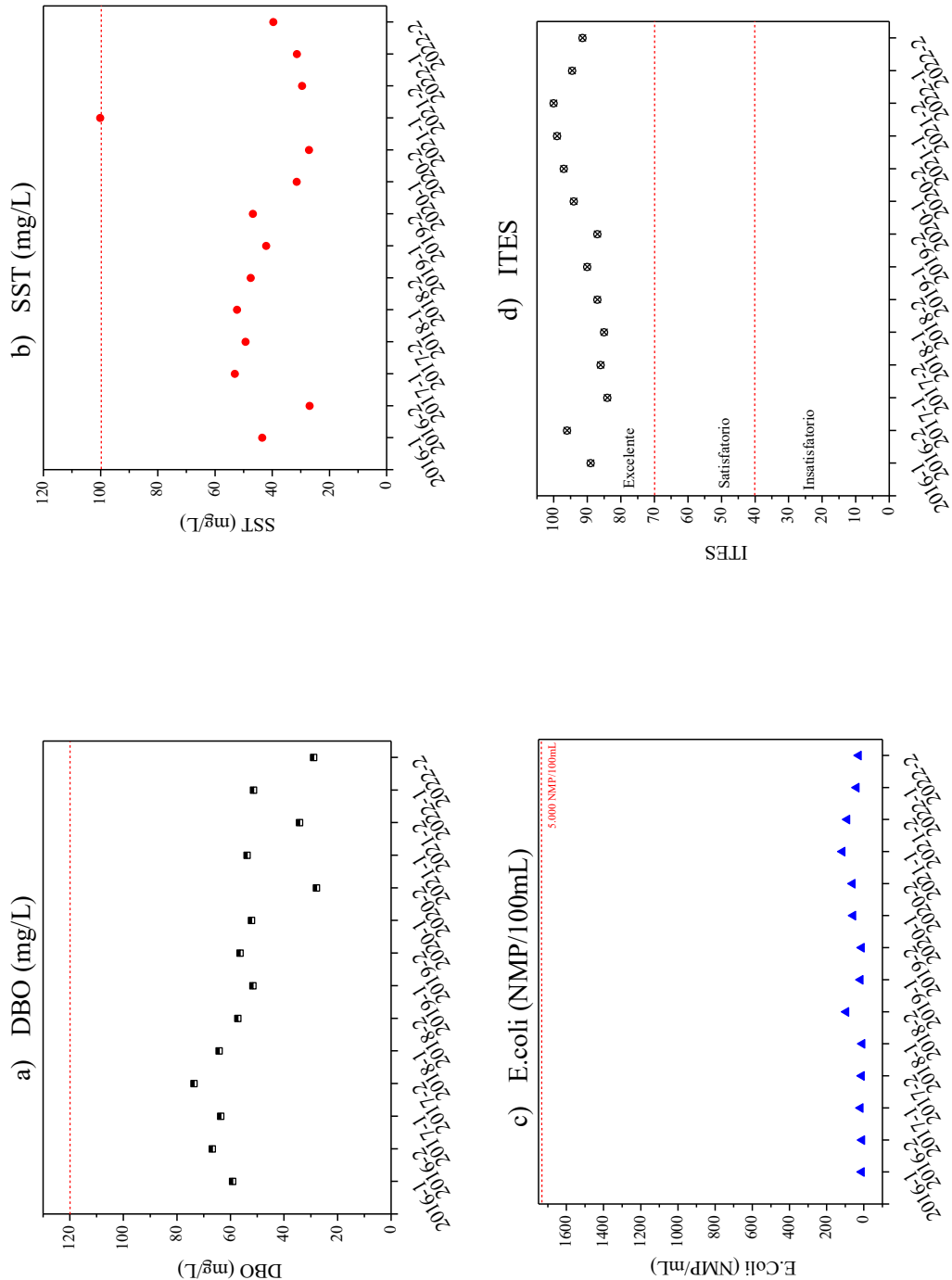
Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 7 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Castelão.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 8 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.Coli (c) e ITES(d) para a ETE Aldeimir Martins.

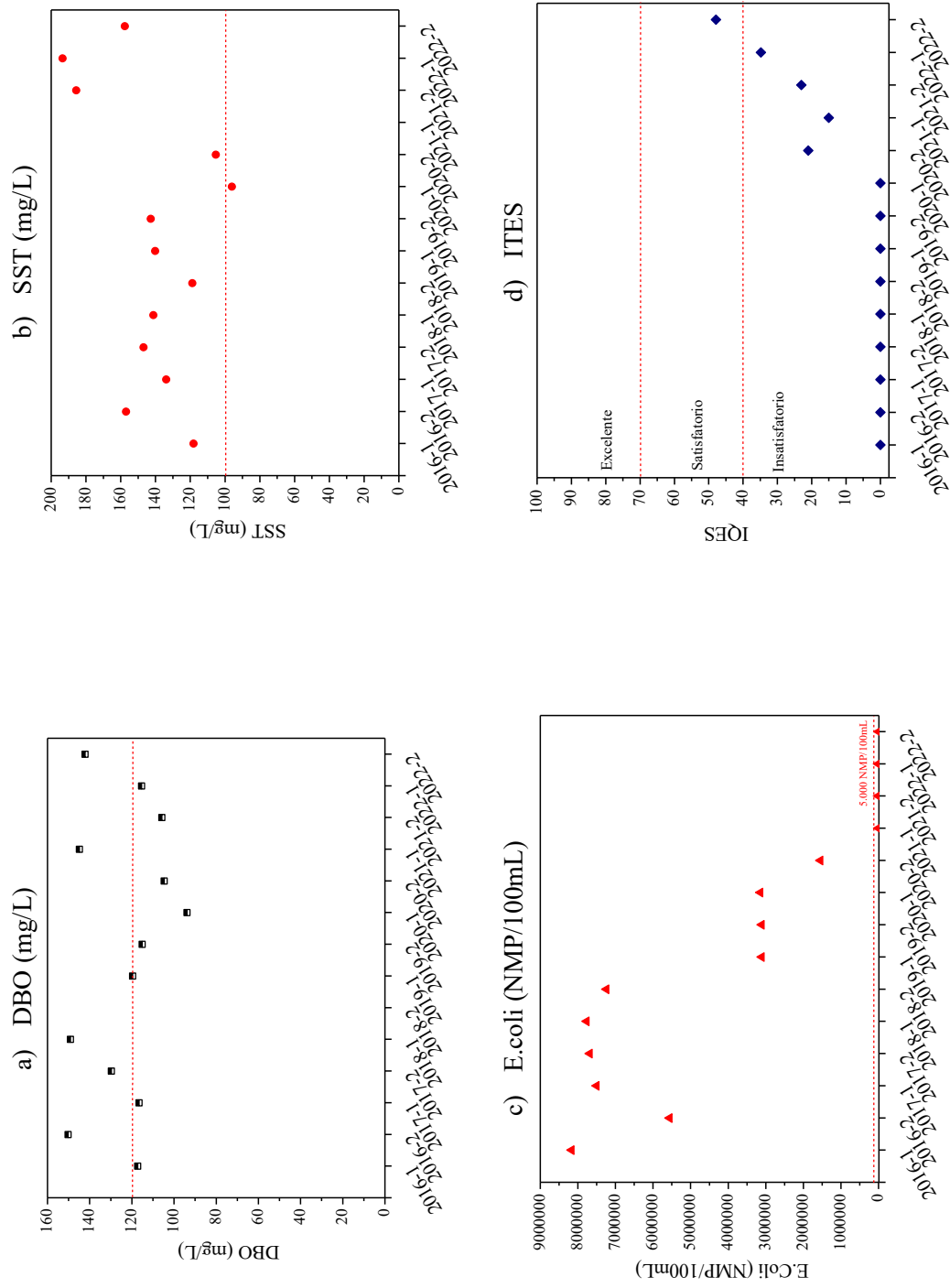


Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A realidade foi diferente para a estação Rosalina, que apresentou concentrações superiores aos valores limites estabelecidos para o lançamento. As concentrações mais altas de SST e E.coli foram registrados para essa ETE, dentre todas as estações avaliadas nessa tecnologia. Dessa forma, os índices de tratamento calculados se encontraram sempre na faixa do insatisfatório, correspondendo aos menores ITEs dentre as estações avaliadas neste item (Figura 9).

De acordo com informação verbal, prestada pela Supervisora da Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto (UNMTE), o sistema de tratamento da ETE Rosalina se encontra prejudicado, devido a não realização de manutenção em tempo hábil, logo necessitando de reforma no sistema de tratamento. Além disso, pesquisas realizadas com dados dessa estação também atestaram a má qualidade do efluente. Magalhães (2017) verificou que para os parâmetros DQO, SST e E.coli todos os resultados estiveram acima do legalmente permitido. Outro estudo realizado por Marques; Nunes (2018), identificou valores médios de DQO, para a ETE Rosalina, superiores em até três vezes ao que é permitido pela SEMACE e para SST em até quatro vezes, além de ter inadequabilidade de remoção também para o parâmetro E.Coli.

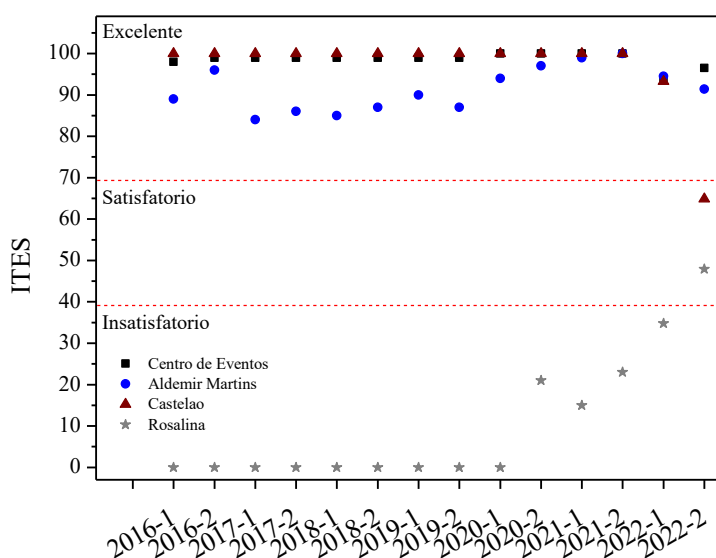
Figura 9 – Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES(d) para a ETE Rosalina.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De maneira geral (Figura 10), a maioria das estações dessa tecnologia lançaram seus efluentes dentro dos limites de acordo com a legislação ambiental, se encontrando na faixa excelente. Dentre as quatro, a ETE Rosalina foi a única que não atendeu, apresentando resultados superiores aos limites, com ITESs na faixa insatisfatório. Como atestado pelos autores citados (MAGALHÃES, 2017; MARQUES; NUNES, 2018; ROLLEMBERG, 2017), é um problema recorrente dessa estação, necessitando de reavaliação de seus processos em busca de melhorias nas eficiências de tratamento.

Figura 10 - ITESs das estações com tecnologia reator UASB + BF + CLOR.

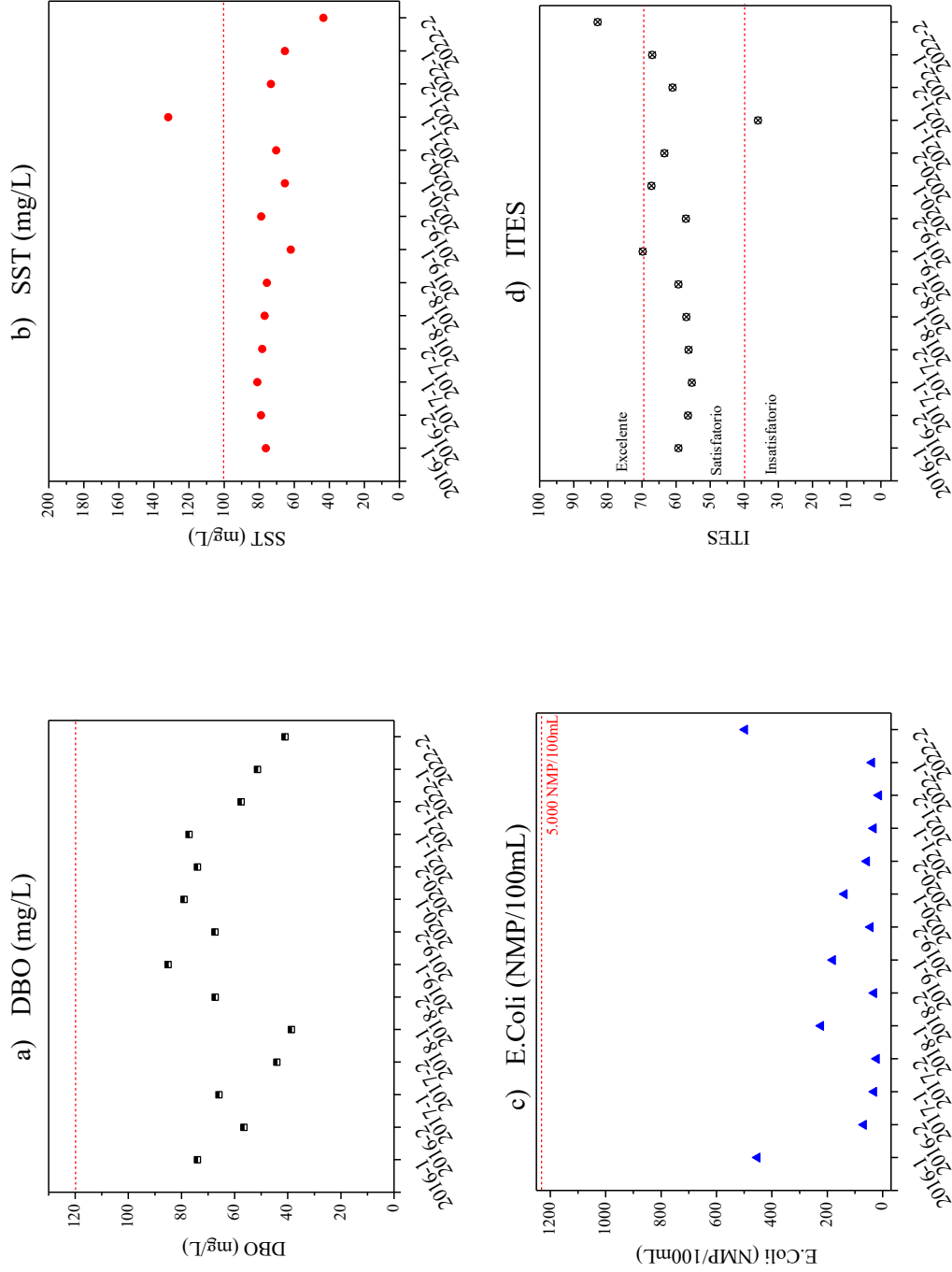


Linha vermelha tracejada representa o limite entre as faixas de classificação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

b) ETEs com reator UASB + CLOR

A tecnologia com reator UASB + CLOR apresentou alguns resultados insatisfatórios de ITES para suas ETEs, durante o período analisado, porém há destaques positivos como as estações Sítio Santana, Novo Barroso, Aracapé III e Zeza Tijolo. Para a estação Sítio Santana as concentrações dos seus parâmetros foram inferiores aos limites para o lançamento, logo, os seus índices de tratamento foram gerados na faixa satisfatório durante maior parte do período analisado, com exceção de uma média semestral de SST superior ao limite (2021-1) (Figura 11).

Figura 11 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Sítio Santana.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

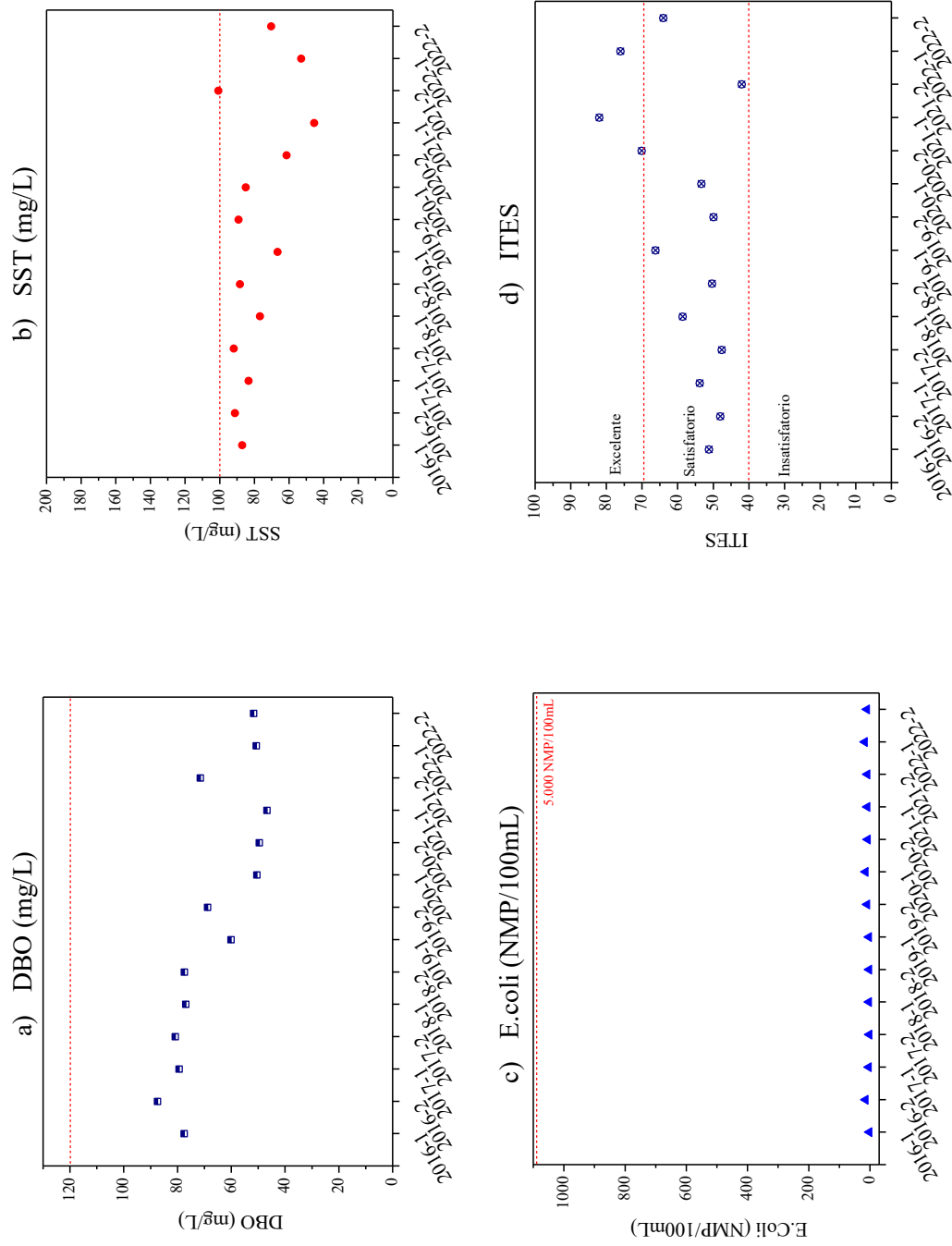
O mesmo perfil foi identificado para as estações Novo Barroso e Aracapé III, como pode ser verificado na estação Aracapé III, as concentrações dos seus parâmetros estiveram dentro da faixa de atendimento a legislação de lançamento, logo a maioria de seus índices se encontraram na faixa do satisfatório (Figura 12).

A tecnologia UASB apresenta eficiências de remoção de DBO de 60 a 80% e de coliformes podendo alcançar 90% (VON SPERLING, 2014). Logo, os dados dessas estações demonstram a boa aplicação dessa tecnologia de tratamento. De acordo com informação disponibilizada pela CAGECE sobre a situação operacional, a ETE Sítio Santana está em manutenção dos seus reatores e em implantação de sistema complementar, cuja informação sobre não foi informado disponibilizada. A ETE Novo Barroso apresenta necessidade de implantação de desarenador no tratamento preliminar. A estação Aracapé III está funcionando sem anormalidades e por fim, a ETE Zeza Tijolo se encontra com reator UASB assoreado necessitando de manutenções (CEARÁ, 2023).

As demais estações apresentaram, para alguns dos parâmetros, concentrações acima dos limites da legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). Isso pode ser observado na ETE Lago Azul com concentrações de DBO inferiores ao limite para o lançamento e concentrações de SST acima em duas análises durante o período analisado, porém para o parâmetro E.coli os valores foram superiores ao limites presentes em legislação, durante maior parte do período. Esse fato contribuiu para que alguns índices gerados fossem classificados na faixa do insatisfatório (Figura 13), sendo necessária a investigação dos seus processos, a fim de identificar condicionantes que estão influenciando negativamente na qualidade do efluente tratado.

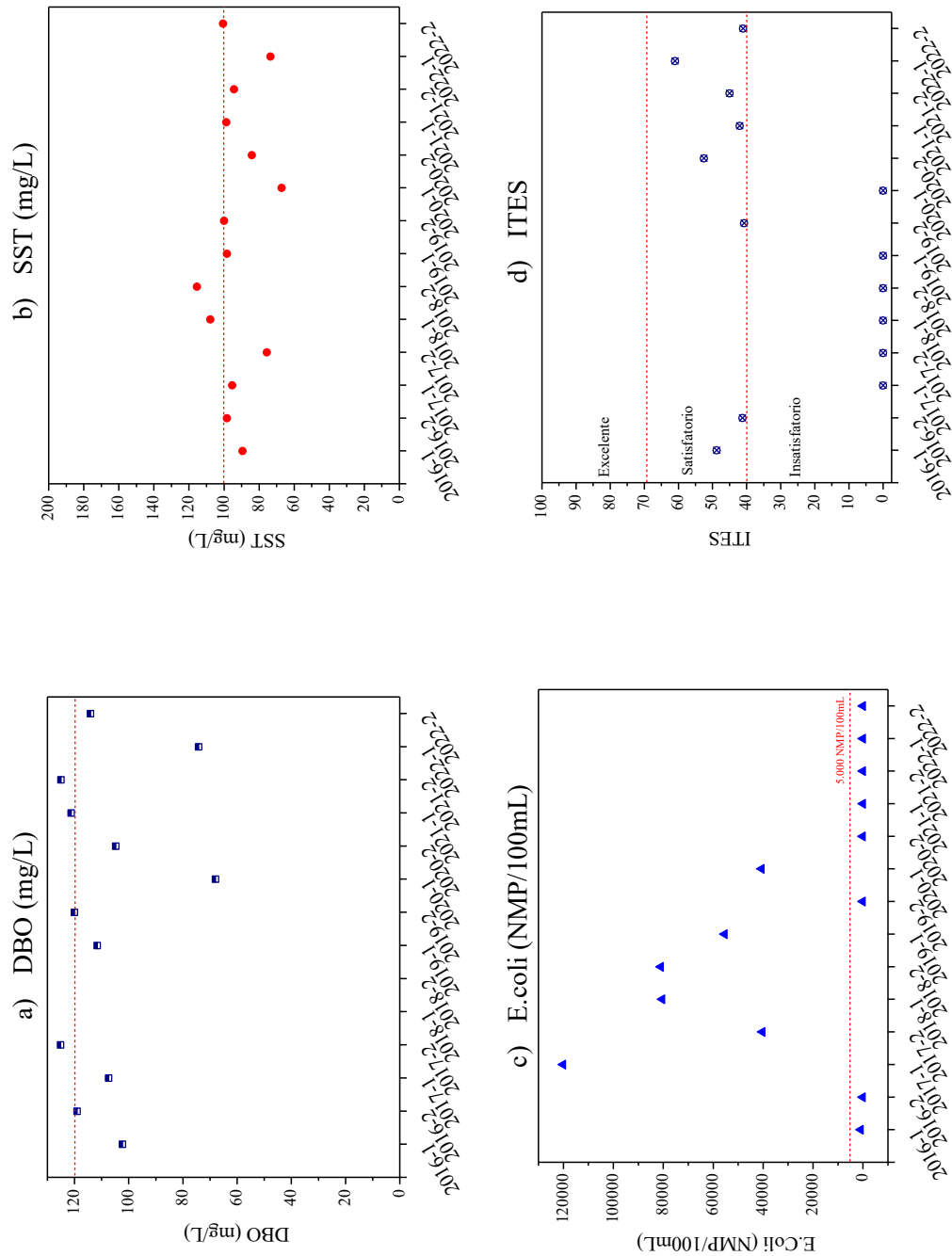
De acordo com a Supervisora da UNMTE, a estação Lago Azul se trata de ETE em fim de plano, visto que recebe uma vazão superior à que ela foi projetada, podendo esse ser um dos fatores que contribuíram para a qualidade ruim de seus parâmetros (COMUNICAÇÃO PESSOAL, 2022). A CAGECE também informou que os reatores dessa estação e os leitos de secagem se encontram em manutenção (CEARÁ, 2023).

Figura 12 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Aracapé III.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 13 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Lago Azul.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

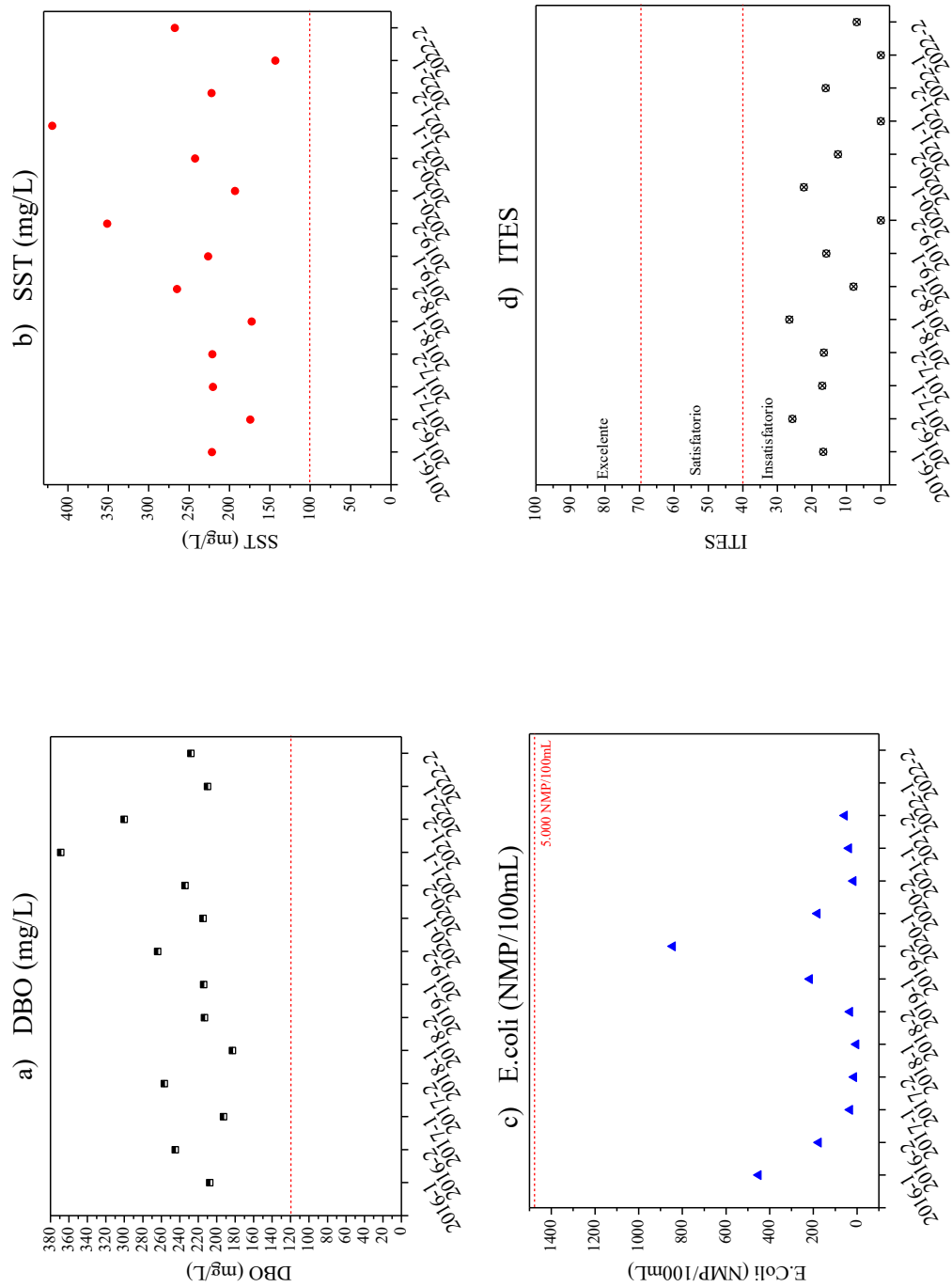
No estudo de Magalhães (2017), as estações Sítio Santana, Aracapé III, Lago Azul e Itaperí, apresentaram todos os resultados, quanto ao critério SST, não conformes com a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). Para este estudo, as ETEs Sítio Santana e Aracapé III tiveram concentrações conformes, porém próximas ao limite para o lançamento, enquanto Lago Azul e Itaperí apresentaram, de fato, não conformidade com a legislação ambiental.

As ETEs Itaperí e Riacho Doce foram os destaques negativos nessa tecnologia. Para a estação Itaperí, as concentrações de SST e DBO estiveram acima dos limites de lançamento, enquanto que para E.coli os valores foram satisfatórios. Devido essa estação apresentar dois de seus parâmetros acima dos limites, os seus índices se encontraram na faixa do insatisfatório (Figura 14).

Já para a estação Riacho Doce, as concentrações estiveram acima dos limites para os parâmetros SST e E.coli, com valores de DBO satisfatórios. Assim como para a ETE Itaperí, devido a dois de seus parâmetros se encontrarem fora dos limites, os seus índices também foram classificados na faixa insatisfatório. É importante destacar que as concentrações de E.coli foram altas, alcançando valores dos seus índices iguais a zero (Figura 15).

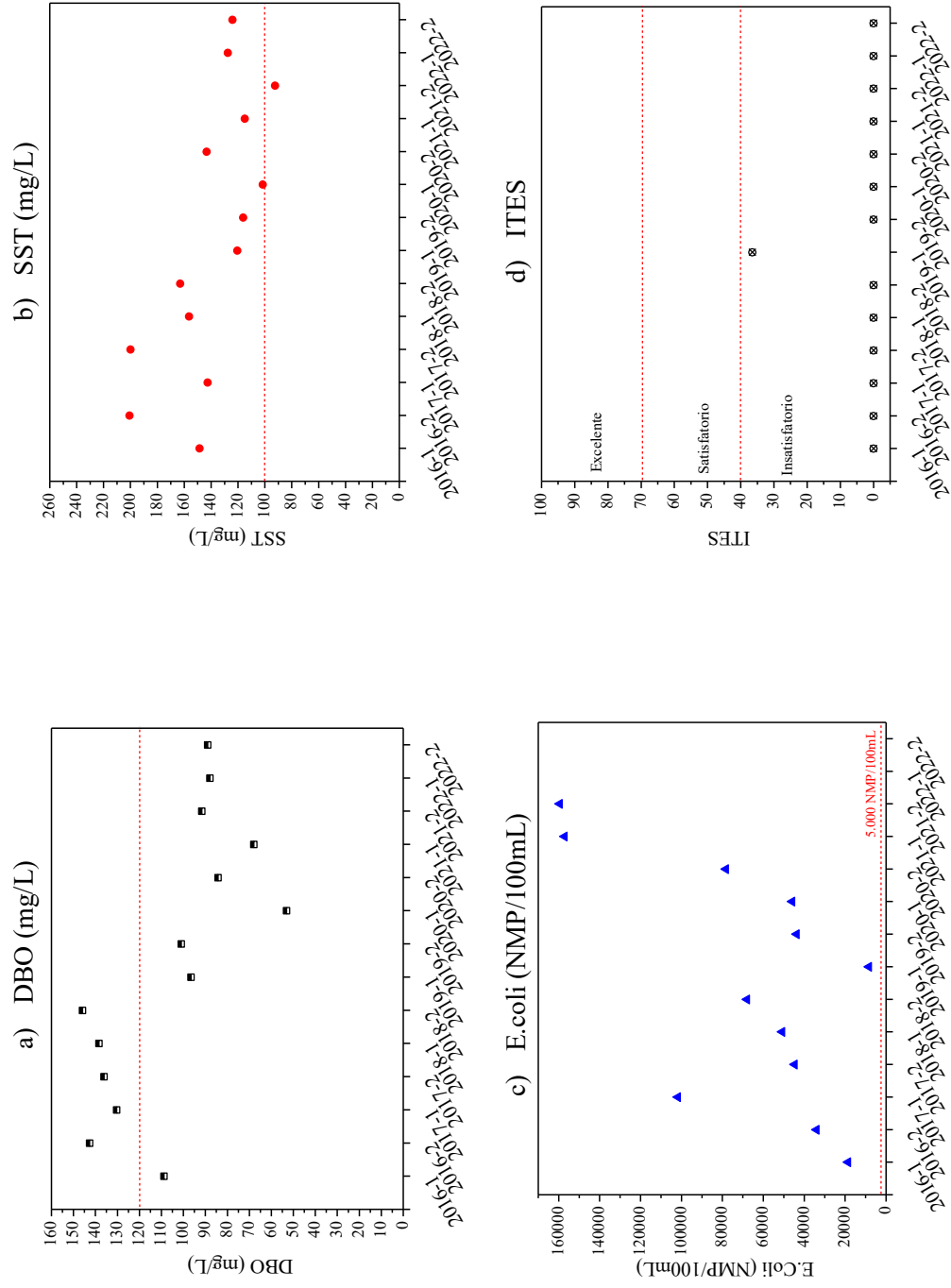
A Supervisora da UNMTE, em informação verbal prestada, esclareceu que as ETEs Itaperí e Riacho Doce são estações em fim de plano, recebendo vazões superiores às que foram projetadas, sendo, possivelmente, o motivo do não atendimento dos seus parâmetros à legislação ambiental (COMUNICAÇÃO PESSOAL, 2022). Além disso, a ETE Riacho Doce, apresenta necessidade de manutenção em um dos reatores, possui dificuldade de acesso ao topo dos reatores e baixa eficiência do leito de secagem, ainda apresentando dificuldade de acesso devido a sua localização. A estação Itaperí se encontra em manutenção dos reatores e com implantação de sistema de pós-tratamento (CEARÁ, 2023).

Figura 14 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Itaperi.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

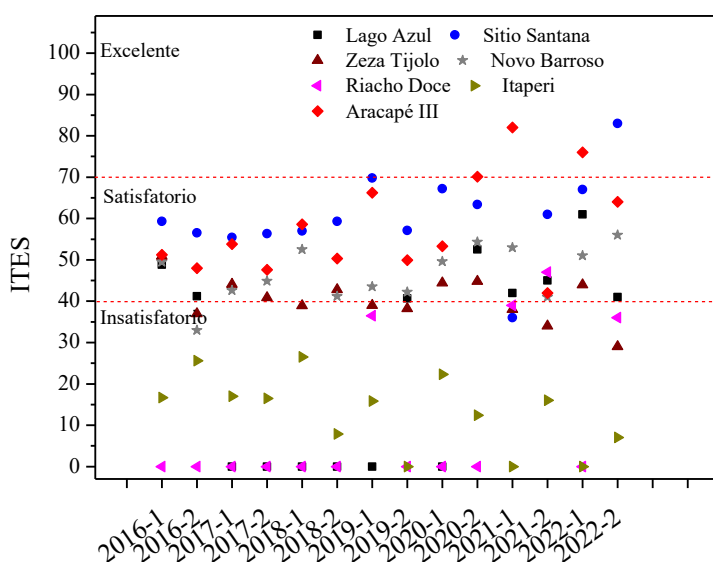
Figura 15 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a *ETE Riacho Doce*.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Logo, dentre as estações da tecnologia reator UASB + CLOR, para as ETEs Sítio Santana, Aracapé III e Novo Barroso foram obtidos os melhores índices de atendimento, com a maioria ou todas as suas análises abaixo do limite de lançamento. Já os destaques negativos foram as estações Lago Azul, Riacho Doce e Itaperí com diversas análises gerando índices iguais a zero, sendo classificadas como insatisfatórias (Figura 16). Para a estação Zeza Tijolo, foram obtidos índices entre o satisfatório e o insatisfatório, logo indicando ser uma estação que também necessita de atenção voltada à eficiência de seus processos (Figura 16).

Figura 16 - ITESs das estações com tecnologia reator UASB + CLOR.



Linha vermelha tracejada representa o limite entre as faixas de classificação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conclusões semelhantes foram alcançadas por Magalhães (2017), que registrou resultados acima do permitido legalmente para as estações Lago Azul e Itaperí. Estas estações obtiveram mais de 50% dos históricos analisados não conformes. Além disso, também foi avaliado por esse pesquisador que para SST as estações Lago Azul, Riacho Doce e Itaperí tiveram resultados não conformes. Os mesmos resultados alcançados para a ETE Itaperí foram também encontrados por Rollemberg (2017).

c) ETEs com LE + CLOR

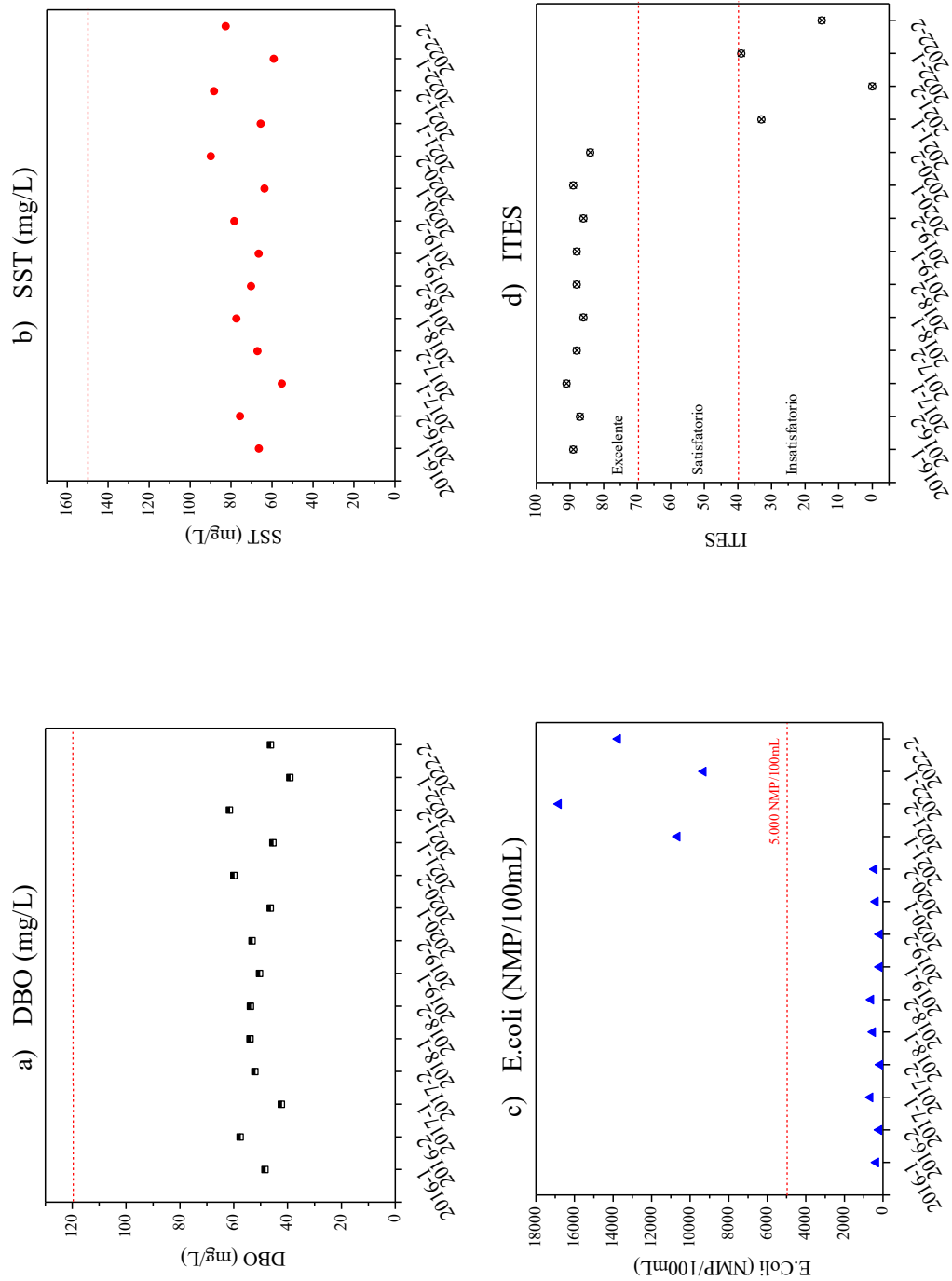
Para essa tecnologia, a ETE Conjunto Palmeiras apresentou os melhores resultados, com a maioria de suas análises atendendo a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). A maioria dos ITESs foram classificados na faixa do excelente e foram os melhores índices dentre as

estações dessa tecnologia (Figura 17). As concentrações superiores aos limites de lançamento, especificamente para o parâmetro E.coli, ocorreram durante o período de 2021 e 2022, gerando índices na faixa do insatisfatório. A CAGECE informou que essa estação enfrenta problemas de ocupações indevidas no entorno da LE, que comprometem a sua operação e manutenção e que a lagoa anaeróbia se encontra assoreada (CEARÁ, 2023). De acordo com Magalhães (2017), essa estação apresentou todas as suas amostras conformes para o período analisado e, para Rollemberg (2017) ela atendeu aos padrões de lançamento durante maior parte do tempo monitorado.

A estação Tupã Mirim apresentou índices que oscilaram entre as faixas de classificação. Para os parâmetros DBO e SST houve o atendimento dos limites de lançamento para todo o período analisado, porém algumas análises pontuais de E.coli não atenderam a esses limites. No primeiro semestre de 2018, segundo semestre de 2019 e durante 2021 e 2022, as concentrações de E.coli foram superiores ao limites para o lançamento, logo acarretando em índices de tratamento na faixa do insatisfatório. De maneira geral, a classificação dessa estação está entre o satisfatório e o excelente, porém é necessária a avaliação dos condicionantes que acarretaram os índices insatisfatórios dessa estação (Figura 18). A CAGECE informou que para essa estação as lagoas se encontram assoreadas, podendo ser esse o motivo para a geração de alguns índices na faixa insatisfatório (CEARÁ, 2023).

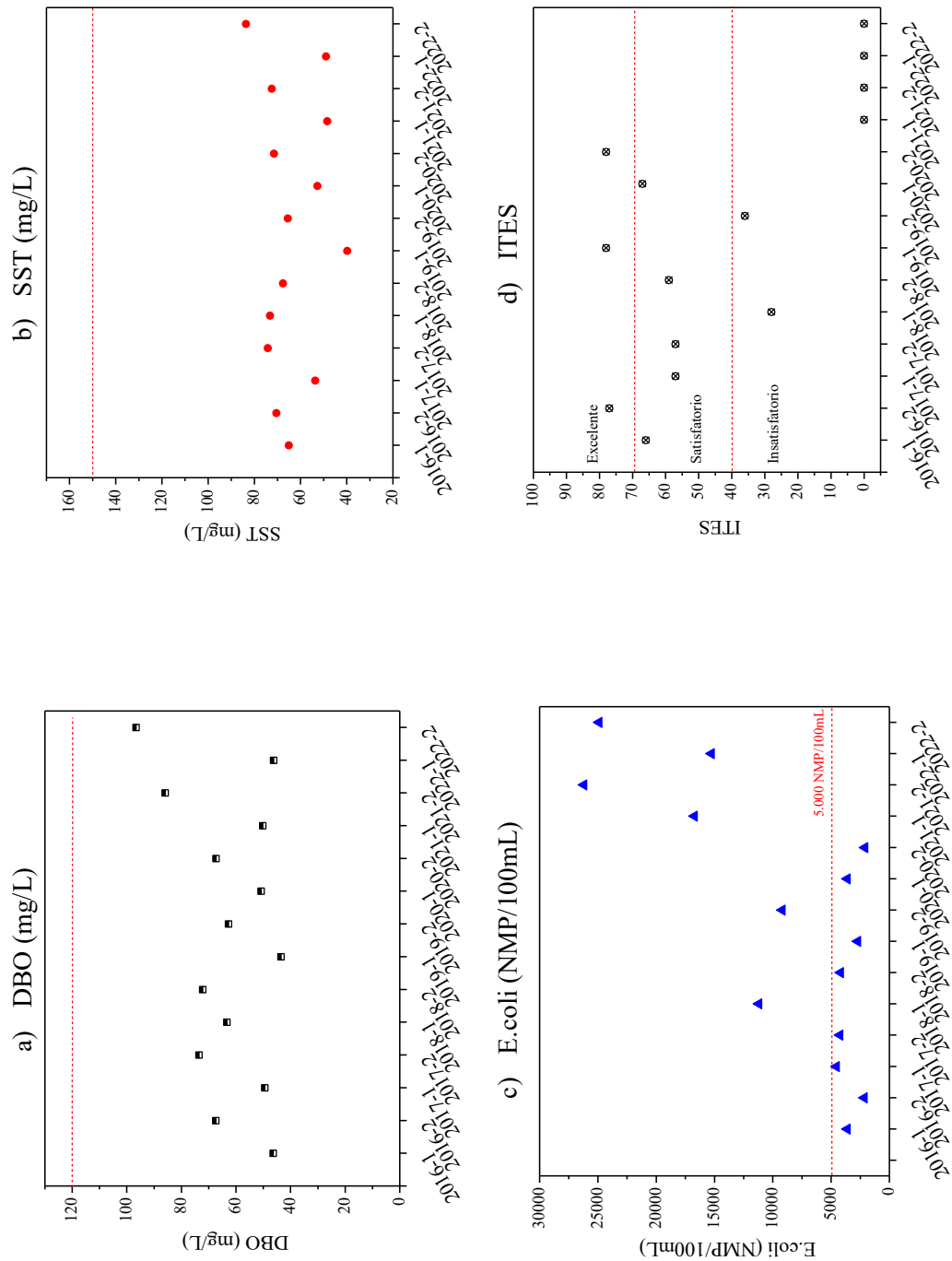
As estações João Paulo II, São Cristóvão e José Walter foram os destaques negativos possuindo as suas particularidades. A Estação João Paulo II apresentou bons resultados de DBO e SST para a maioria de suas análises, que atenderam aos limites para o lançamento, porém para a E.coli os valores estiveram acima dos limites, contribuindo para a construções de índices insatisfatórios (Figura 19). De acordo com a Supervisora da UNMTE, em informação verbal prestada, se trata de uma estação de fim de plano, recebendo vazão superior à que foi projetada, além de haver falhas no tratamento e receber contribuições de ligações clandestinas de esgoto (COMUNICAÇÃO PESSOAL, 2022). A CAGECE também informou que essa estação possui ocupações indevidas no entorno da LE que comprometem a sua manutenção e operação, além de enfrentarem dificuldades de remoção das vegetações, através da realização de ações sistemáticas (CEARÁ, 2023).

Figura 17 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Conjunto Palmeiras.



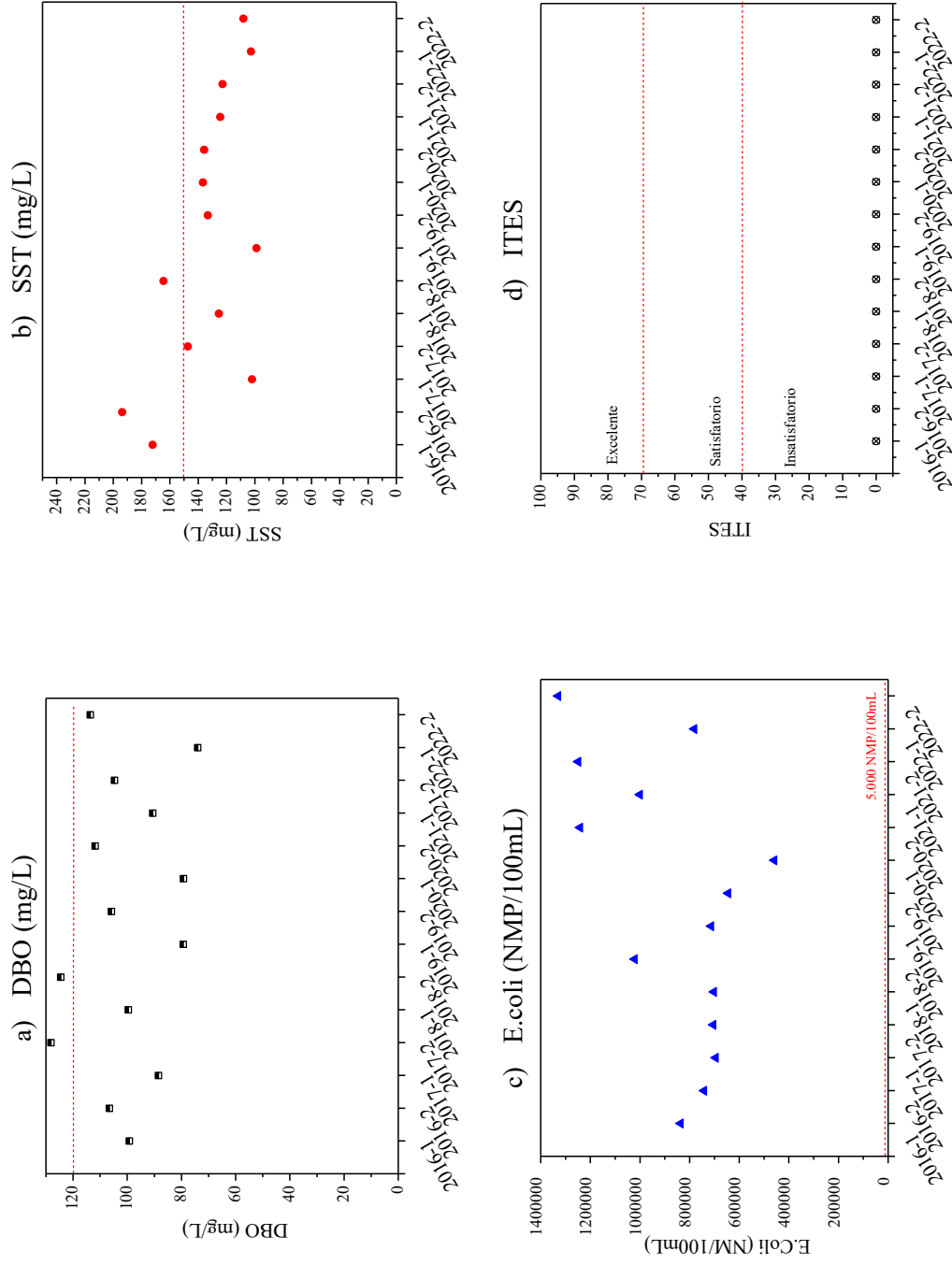
Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE Tupã Mirim.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 19 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE João Paulo II.



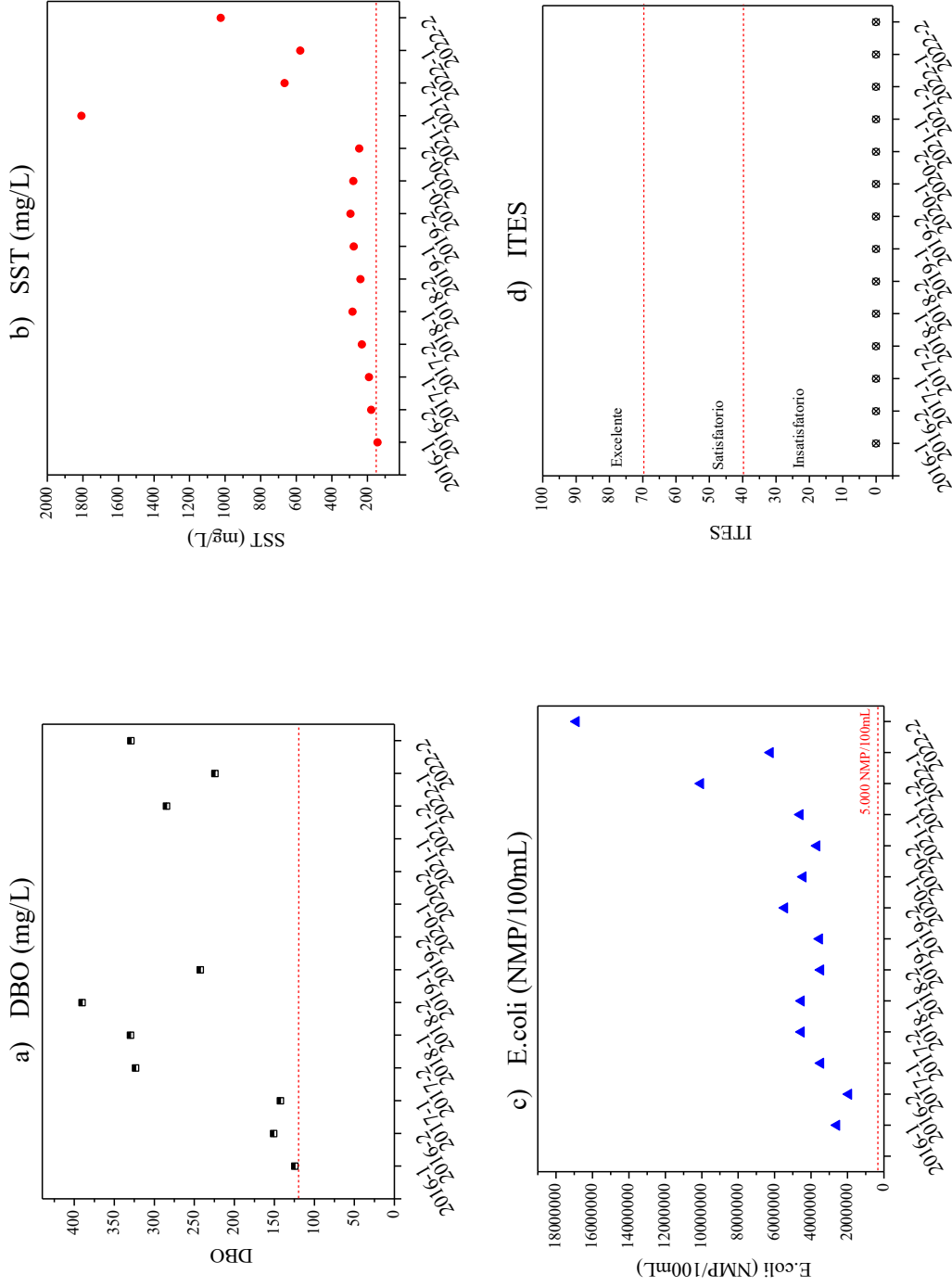
Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A estação São Cristóvão apresentou, para a maioria das análises, classificação insatisfatória, com o não atendimento dos limites para o lançamento (Figura 20); essa mesma realidade foi observada para a estação José Walter. Essas estações geraram índices iguais a zero sendo necessária a avaliação imediata da execução de seus processos, visando alcançar a eficiência esperada para o lançamento adequado de seus efluentes. Para a ETE São Cristóvão, estudos anteriores já registraram resultados de DQO acima do permitido legalmente (MAGALHÃES, 2017).

A partir de informação verbal da Supervisora da UNMTE (COMUNICAÇÃO PESSOAL, 2022), o despejo dos caminhões limpa fossa da cidade de Fortaleza é direcionado para a ETE São Cristóvão, a qual não foi projetada para recebê-los. Isso contribui para que ela exceda a sua capacidade de tratamento e gere efluentes de baixa qualidade. Além disso, há suspeitas de que os despejos sejam de origem industrial e foi informado que suas LEs se encontram bastante assoreadas necessitando de limpeza (CEARÁ, 2023).

Para a ETE José Walter também há o recebimento de vazões superiores à vazão de projeto. De acordo com a Supervisora, essa ETE está em reforma, visando uma ampliação do tratamento, para isso foram incluídos seis reatores que antecedem as lagoas, mas que ainda passam por melhorias, logo não estão em operação total. Dessa forma, a estação recebe mais do que foi projetada e gera efluentes de baixa qualidade (COMUNICAÇÃO PESSOAL, 2022). A CAGECE também destacou que essa estação está com falta de operadores, passando por processos de desassoreamento das lagoas, remoção contínua de vegetação e conserto dos reatores (CEARÁ, 2023).

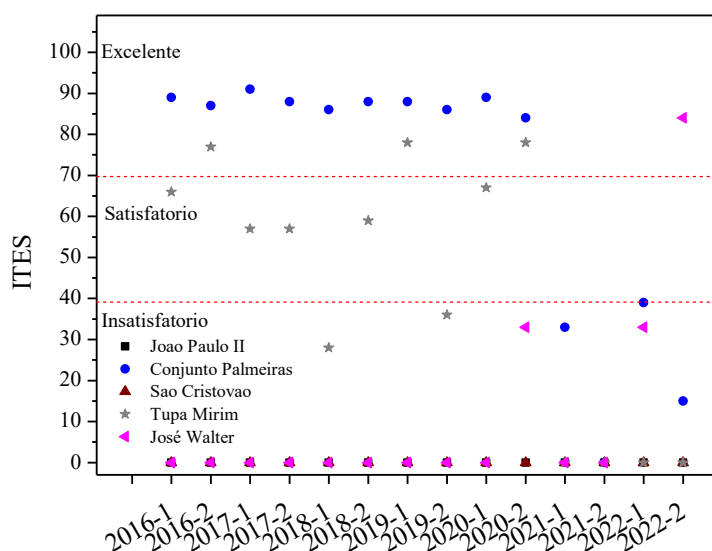
Figura 20 - Concentrações médias para os parâmetros DBO (a), SST (b) e E.coli (c) e ITES (d) para a ETE São Cristóvão.



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De maneira geral, dentre as estações com a tecnologia lagoa de estabilização, a ETE Conjunto Palmeiras se destacou com ITESs na faixa excelente de atendimento. A estação Tupã Mirim, que oscilou entre as faixas, também se destacou com a maioria de suas análises gerando índices com atendimento satisfatório. Os destaques negativos foram as ETEs João Paulo II, São Cristóvão e José Walter, com índices na faixa insatisfatório. Para essas estações, houve um padrão negativo de atendimento a legislação ambiental, indicando problemas nos processos envolvidos no tratamento, exigindo a busca de soluções para o descarte adequado do efluente tratado (Figura 21).

Figura 21 - ITESs das estações com tecnologia LE + CLOR.



Linha vermelha tracejada representa o limite entre as faixas de classificação. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

d) Visão geral

Apresentando de forma geral todas as tecnologias e suas respectivas estações (Tabela 11), tem-se que apenas 19% das estações foram classificadas na faixa excelente de atendimento, com todos os índices semestrais gerados nessa faixa. Todas essas estações são pertencentes a tecnologia UASB + BF + CLOR.

Para o restante das estações, 31% geraram índices na faixa satisfatório, com a maioria dos seus índices semestrais gerados nessa faixa. Nessa categoria, as estações estiveram distribuídas entre as tecnologias LE (2) e UASB + CLOR (3). Por fim, 50% das estações estudadas foram classificadas na faixa insatisfatório. Em alguns casos, com concentrações muito superiores aos limites para o lançamento, acarretando qualidade das variáveis iguais a

zero com conseqüente geração de ITES iguais a zero. Essas estações foram categorizadas de acordo com a Tabela 4 (item 4.2.1.2), como pode ser observado na Figura 22.

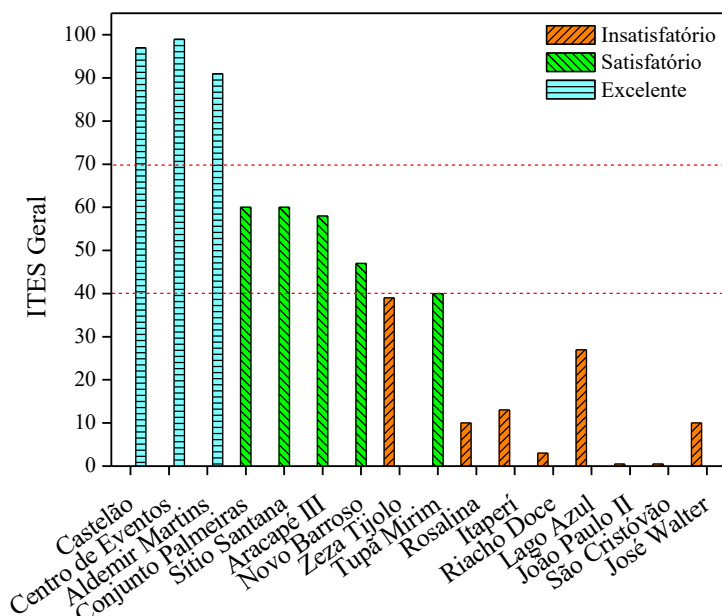
Tabela 11 - Percentuais de atendimento aos limites de lançamento e classificação de acordo com o ITES das estações.

Faixas	Percentuais	Estações	Tecnologia
Excelente	19%	Castelão	UASB + BF + CLOR
		Centro de Eventos Aldemir Martins	
Satisfatório	31%	Conjunto Palmeiras	LE + CLOR
		Tupã Mirim	UASB + CLOR
		Sítio Santana	
		Aracapé III	
Insatisfatório	50%	Novo Barroso	UASB + BF + CLOR
		Rosalina	UASB + CLOR
		Itaperí	
		Zeza Tijolo	
		Riacho Doce	LE
		Lago Azul	
		João Paulo II	
São Cristóvão			
		José Walter	
Total	100%	16	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza, parte considerável do efluente gerado nos sistemas isolados está fora dos padrões exigidos no enquadramento dos corpos hídricos receptores, em que sua maioria opera sem a devida licença ambiental (FORTALEZA, 2014). Além disso, outros estudos atestaram os resultados encontrados para as estações de baixa qualidade de atendimento. Logo essas estações necessitam de melhorias, além de acompanhamento e monitoramento dos seus processos, a fim de possíveis intervenções voltadas aos seus aperfeiçoamentos.

Figura 22 - ITESs categorizados por estações estudadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5.3 Avaliação das ETEs não enquadradas no método do ITES

Esta etapa consistiu na avaliação dos dados de monitoramento das 34 ETEs que não possuíram quantidades de dados suficientes para aplicação da metodologia do ITES. Essa avaliação também ocorreu com base nos parâmetros DQO, SST e E.coli e suas conformidades com a legislação ambiental de lançamento (Quadro 8, item 4.1.2.1) para o período de 2016 a 2022.

Para a avaliação, foi levantada a quantidade de análises realizadas, no total e por parâmetros, durante o período estudado, a fim de verificação de como foi o monitoramento dessas estações. As concentrações dos parâmetros foram também avaliadas, através das médias semestrais realizadas, que foram comparadas com os limites legalmente estabelecidos. Esta comparação permitiu a classificação das análises em conformes ou não conformes com a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.).

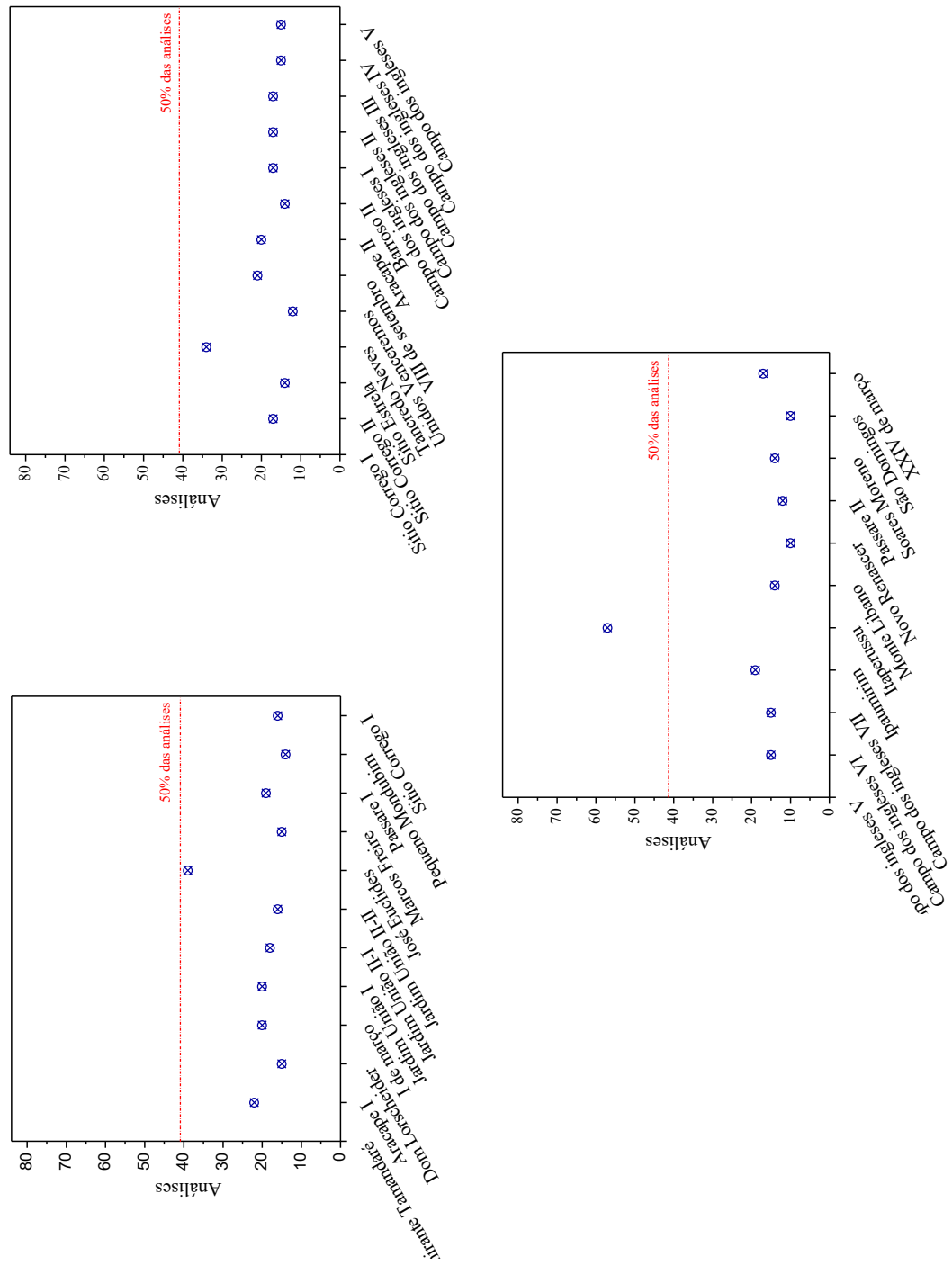
O valor utilizado para a conversão de DQO em DBO foi o de 2,3, sendo definido com base em algumas análises de DBO que foram disponibilizadas pela CAGECE para essas estações. Como já discutido no item 4.1.2.1. e de acordo com Von Sperling (2014) o efluente oriundo de tratamento biológico apresenta uma relação DQO/DBO com valores usualmente superiores a 2,5, porém essa relação foi aproximada para as informações dos efluentes das estações monitoradas, logo sendo utilizado a média obtida de 2,3.

As ETEs não possuíram o número suficiente de análises realizadas (superiores a 50%

do esperado) para a condução da PCA e conseqüentemente geração de seus índices como já explicado acima. Para a análise dos sete anos de dados (2016 – 2022), esperava-se que o Órgão realiza-se 12 análises por ano, totalizando 84 análises para o período estudado e para cada parâmetro avaliado (DQO, SST e E.coli). Para a análise das concentrações com base na legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1.) os dados do parâmetro DQO foram convertidos para DBO.

Infelizmente, só uma estação (ETE Itaperussu – 57 análises – UASB) se encontrou com mais de 50% dessas análises realizadas para todas as três variáveis do estudo. Todas as demais estações não apresentaram valores consideráveis de monitoramento, logo inviabilizando assim a construção dos seus índices. Apesar da ETE Itaperussu realizar mais de 50% das análises, também não foi possível a aplicação da metodologia do ITES, pois o preenchimento de dados faltantes com valores plausíveis (ex.: média) seria grande, induzindo a resultados que não refletiriam a realidade da ETE. De maneira geral, 97% das estações apresentaram um total de análises, de todos os parâmetros, inferior a 40, logo com uma eficiência de monitoramento de 47% (Figura 23).

Figura 23 - Número de análises realizadas nas ETEs não enquadradas no método do ITES.



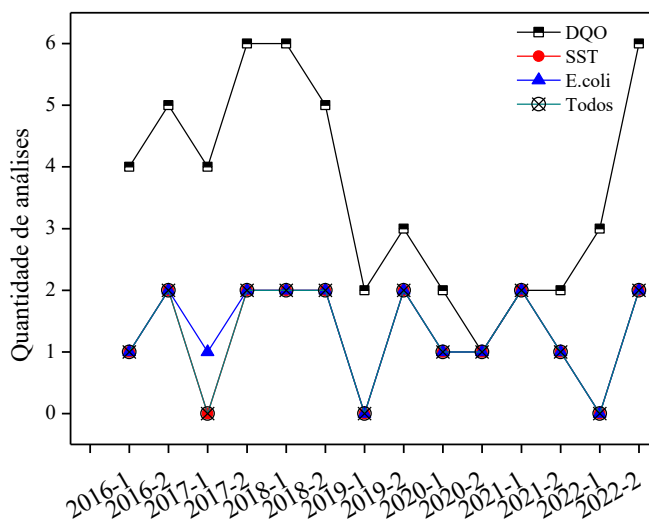
Linha tracejada vermelha representa 50% das análises. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise por ETE identificou que, de maneira geral, houve mais análises para o parâmetro DQO dentre os parâmetros estudados. Isso pode ser exemplificado pelas estações Almirante Tamandaré e Aracapé I, ambas operam com DD + FA + CLOR. Foram realizadas 51 análises, no total, do efluente da ETE Almirante Tamandaré (Figura 24 (a)), para o parâmetro DQO, enquanto foram 18 e 19 análises respectivamente para SST e E.coli. A maior frequência de análise de DQO ocorreu nos semestres 2017-2, 2018-1 e 2022-2, respectivamente, apresentando 6 análises por semestre. Para os SST e E.coli, durante todo o período, a quantidade de análises realizadas foi menor ou igual a duas análises por semestre. Em relação as questões operacionais essa estação opera com uma vazão acima da capacidade da estação, além de não possuir tubulação para a retirada de espuma (CEARÁ, 2023).

A ETE Aracapé I (Figura 24 (b)) demonstrou comportamento semelhante a ETE Almirante Tamandaré, com maior número de análises realizadas para o parâmetro DQO (56), sendo 22 análises realizadas para os demais parâmetros. Os dados de todas as 34 estações podem ser encontrados no Anexo C, com a frequência de análises por semestre.

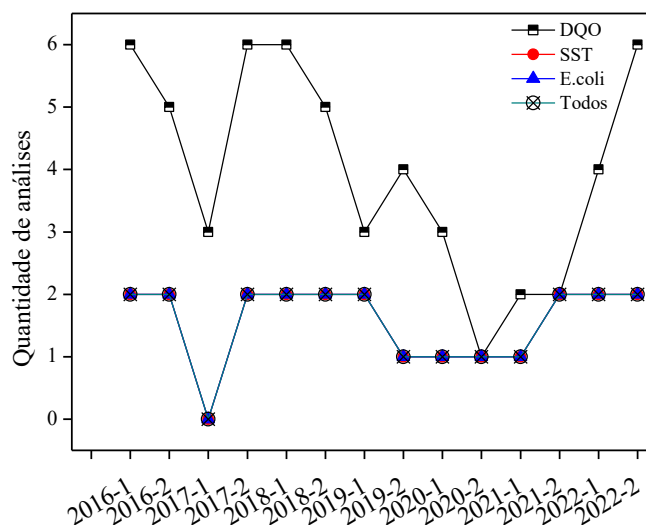
Figura 24 - Número de análises realizadas das ETEs Almirante Tamandaré (a) e Aracapé (b).

a)



Continua na próxima página

Continuação
b)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

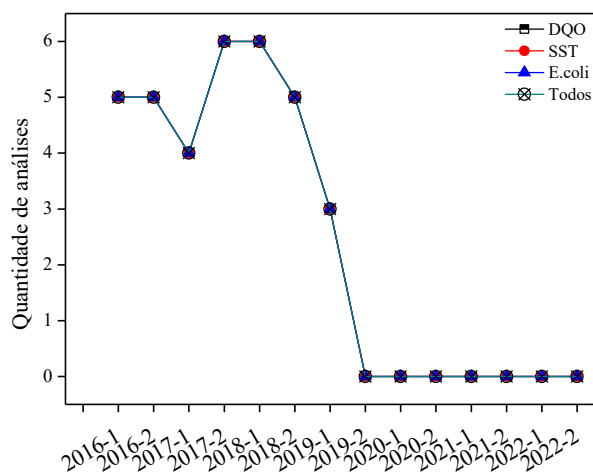
Dentre as estações, 91% (31 ETEs) apresentaram a maior quantidade de análises para a DQO, enquanto três estações (José Euclides – UASB + BF + CLOR, Tancredos Neves – LE e Itaperussu – UASB) monitoraram os três parâmetros (DQO, SST e E.coli) conjuntamente na maior parte do período estudado. A estação Tancredo Neves realizou 34 análises conjuntamente para os três parâmetros estudados, em sete anos de amostras de dados, ocorrendo o monitoramento no período de 2016 a 2019-1 (Figura 25).

De acordo com informações disponibilizadas pela CAGECE, atualmente, essa estação se encontra desativada e foi transformada em estação elevatória (EE) (CEARÁ, 2023). A ETE José Euclides monitorou o seu efluente durante maior parte do período (2017-2 a 2022-2), apresentando 39 análises realizadas para todos os três parâmetros concomitantemente. Já a ETE Itaperussu monitorou o seu efluente durante todo o período estudado, apresentando um total de 57 análises conjuntas dos parâmetros (Anexo C).

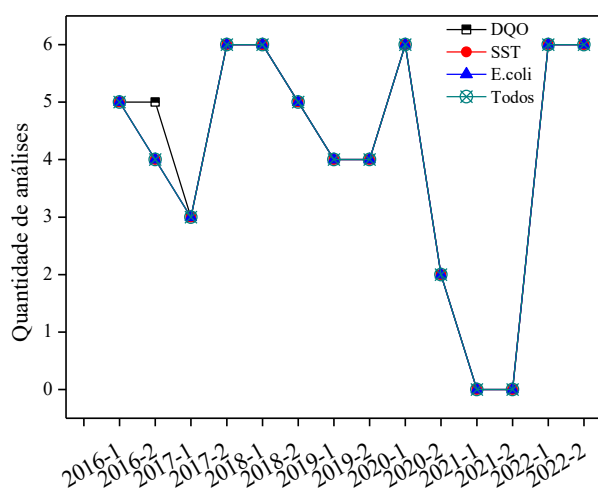
A ETE José Euclides, atualmente, se encontra em manutenção com substituição das tubulações internas, limpeza do BF e reparo dos seus componentes, manutenção nos sopradores e nos decantadores. Enquanto a ETE Itaperussu necessita de ajustes na operação (CEARÁ, 2023).

Figura 25 - Número de análises realizadas das ETEs *Tancredo Neves* (a) e *Itaperussu* (b).

a)



b)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise da concentração dos parâmetros identificou que a maioria das estações (31 ETEs) apresentaram concentrações médias de DBO superiores a 86,9 mg/L (DQO = 200 mg/L, relação DQO/DBO item 4.3). A ETE 01 de março (DD + FA + CLOR) (Figura 26 (a)) foi a estação com maiores concentrações médias de DBO durante o período analisado, alcançando o valor médio máximo anual de 1369,4 mg/L (2017-2), mais de onze vezes o limite estabelecido na legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1.).

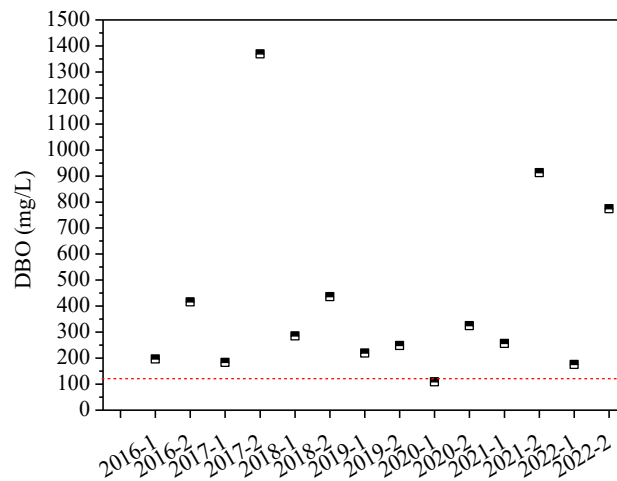
Monteiro (2009) identificou que as estações com tratamento decanto-digestores foram as com pior eficiência no aspecto “eficiência de remoção de constituintes”, apresentando valores de remoção de DQO e SST inferiores a faixa de 70-80% e 55-90%, respectivamente, citadas por Von Sperling (2014). De acordo com informações disponibilizadas pela CAGECE,

essa estação apresenta baixa eficiência da sua tecnologia de tratamento (CEARÁ, 2023). Dessa forma, os resultados alcançados nesta pesquisa são ratificados.

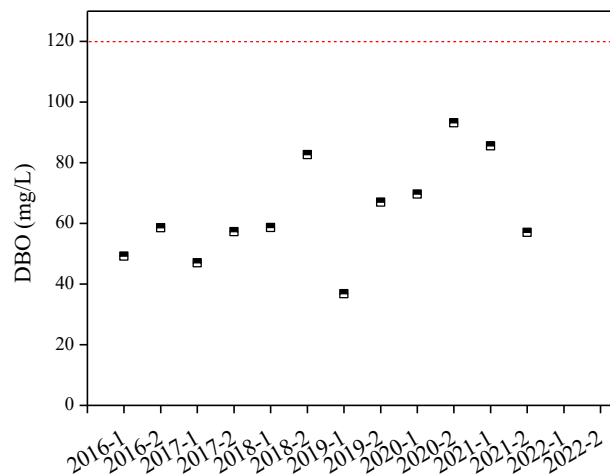
Já a estação Pequeno Mondubim (Figura 26 (b)) apresentou as menores concentrações, com valores médios inferiores a 120 mg/L, porém essa estação não realizou o monitoramento durante o ano de 2022 (Figura 26). De acordo com Monteiro (2009), essa estação apresentou percentuais de atendimento a legislação ambiental para DQO e SST acima de 56%. Com relação ao seu não monitoramento em 2022, a CAGECE informou que essa estação se encontra desativada e foi transformada em EE.

Figura 26 - Concentrações médias de DBO das ETEs 01 de março (a) e Pequeno Mondubim (b).

a)



b)



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação ambiental. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

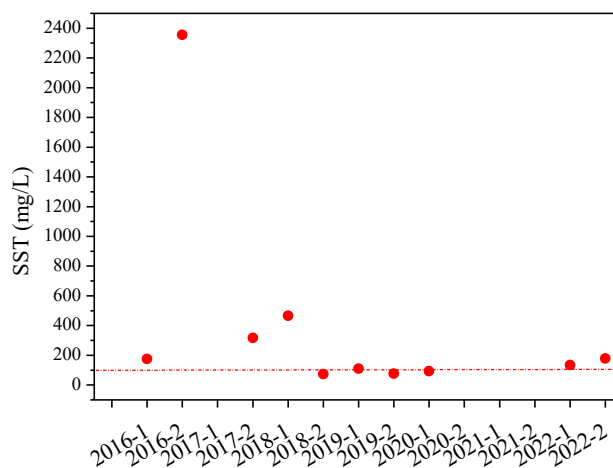
Para o parâmetro SST, a maioria das estações analisadas (73%) apresentaram o maior número de suas médias semestrais superiores ao limite estabelecido pela legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1.). Dentre essas estações, três (ETEs 01 de março, Unidos Venceremos e Campo dos ingleses 07) tiveram, para todas as suas análises realizadas, concentrações acima de 100 mg/L (Anexo C). Como informado pela CAGECE (CEARÁ, 2023), a ETE 01 de março apresenta baixa eficiência da sua tecnologia de tratamento, sendo o mesmo estado identificado também para as estações Unidos Venceremos e Campos dos Ingleses (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07).

As maiores concentrações medias de SST foram registradas para a ETE São Domingos, porém essa estação apresentou somente sete médias semestrais durante o período estudado (Anexo C). Dessa forma, com maior número de médias semestrais (10), a ETE Monte Líbano (Figura 27 (a)) se destacou negativamente com a maioria de suas concentrações médias superiores a 100 mg/L, apresentando um valor máximo de 2.355 mg/L (2016-2) superior a mais de 20 vezes o limite da legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). Essa estação apresenta baixa eficiência da sua tecnologia de tratamento e encontra-se sem operador (CEARÁ, 2023).

Ainda em relação ao parâmetro SST, duas estações (Pequeno Mondubim e Novo Renascer) apresentaram todas as médias semestrais em conformidade com a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). A ETE Pequeno Mondubim (Figura 27 (b)) realizou o maior número de análises (10) dentre essas, não monitorando durante 2017-1, 2021-2 e 2022. As suas concentrações foram significativamente inferiores a 100 mg/L, com valor máximo das médias semestrais igual a 91 mg/L.

Figura 27 - Concentrações médias de SST das *ETEs Monte Líbano* (a) e *Pequeno Mondubim* (b).

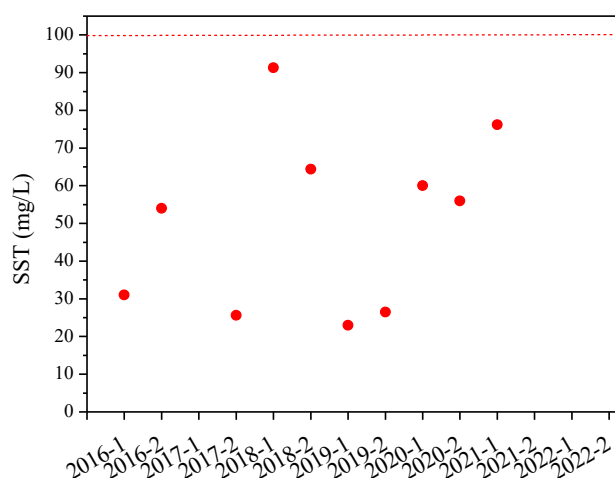
a)



Continua na próxima página

Continuação

b)



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação ambiental. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

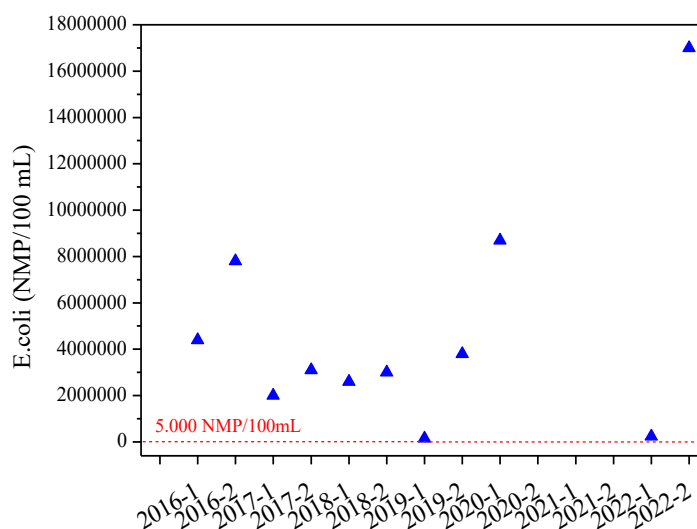
Para o parâmetro E.coli, 19 ETES apresentaram, para maior parte das médias semestrais, concentrações inferiores ao limite da legislação ambiental (5.000 NMP/100mL - Quadro 8, item 4.1.2.1), dentre essas, 18 ETES operam com a tecnologia DD + FA + CLOR. Monteiro (2009) também identificou, para as ETES com decanto-digestores, boas eficiências para o parâmetro E.coli, com resultados que apresentaram valores de remoção de coliformes termotolerantes na faixa de 99,7 a 99,9%,. As estações Aracapé I e Marcos Freire (DD + FA + CLOR) obtiveram todas as médias semestrais com valores inferiores ao limite. A ETE Aracapé I (treze médias semestrais) obteve, dentre as estações, as menores concentrações, com valor mínimo igual a 1 NMP/100 mL (Figura 28 (b)).

Por outro lado, 11 estações apresentaram concentrações de E.coli superiores ao limite estabelecido para a maioria de suas análises. Dentre essas, três ETES (Tancredo Neves - LE, São Domingos e Monte Líbano, ambas – DD + FA + CLOR) possuíram todas as suas análises não conformes com a legislação ambiental (Tabela 12 e Anexo C). A ETE Monte Líbano (Figura 28 (a)) com onze médias semestrais, apresentou as maiores concentrações para esse parâmetro, liberando o efluente com valor médio máximo de $1,7E+07$ NMP/100mL.

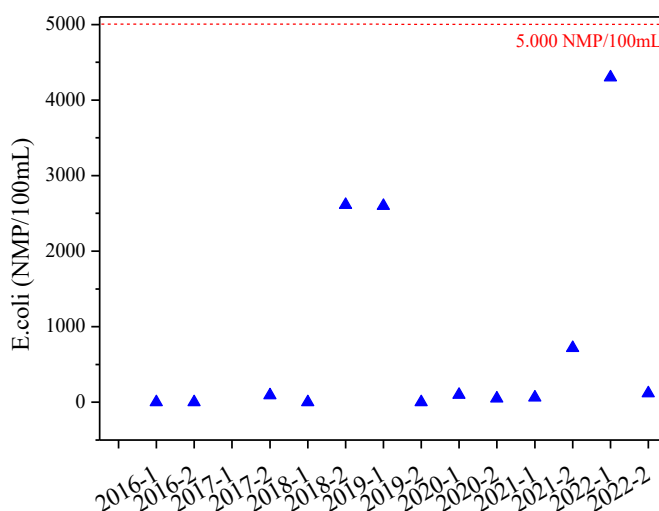
De acordo com a CAGECE as ETES São Domingos e Monte Líbano possuem baixa eficiência das suas tecnologias de tratamento e se encontram com a falta de operadores, e como já informado a ETE Tancredo Neves se encontra desativada (CEARÁ, 2023). As demais estações apresentaram quantidades semelhantes de análises entre conformes e não conformes com a legislação Ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1; Tabela 12)

Figura 28 - Concentrações médias de E.coli das ETEs Monte Líbano (a) e Aracapé I (b).

a)



b)



Linha vermelha tracejada representa o limite da legislação ambiental. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A classificação geral para as estações não foi possível devido a diferentes frequências de análises entre parâmetros e entre estações. Essa diferença resultou em dados a serem analisados distintos para cada estação. Além disso, foi verificado que algumas estações apresentavam análises com conformidade para alguns parâmetros e outros não, além de oscilarem na quantidade de análise conformes entre os parâmetros, logo não permitindo a classificação geral. As estações foram então classificadas de acordo com a quantidade de análises medias semestrais conformes e não conformes com relação a legislação ambiental (Tabela 12) para cada parâmetro estudado.

Tabela 12 - Quantidades de análises por parâmetro, conformes e não conformes com a legislação ambiental das ETES não enquadradas no método do ITES.

ETE	Análise	Parâmetros		
		DBO	SST	E.coli
Aracapé I	C	6	4	13
	NC	8	9	0
	T	14	13	13
Passaré I	C	10	5	8
	NC	3	3	3
	T	13	8	11
Sítio Córrego	C	9	4	10
	NC	5	9	2
	T	14	13	12
Sítio Córrego II	C	8	3	7
	NC	6	8	5
	T	14	11	12
01 de março	C	3	0	10
	NC	11	14	4
	T	14	14	14
08 de setembro	C	4	3	9
	NC	10	10	4
	T	14	13	13
Almirante Tamandaré I	C	14	10	1
	NC	0	1	11
	T	14	11	12
Jardim União I	C	10	6	7
	NC	4	7	6
	T	14	13	13
Jardim União II-01	C	4	7	2
	NC	10	5	10
	T	14	12	12
Jardim União II-02	C	8	8	5
	NC	6	4	7
	T	14	12	12
Marcos Freire	C	0	2	10
	NC	14	7	0
	T	14	9	10
Pequeno Mondubim	C	12	10	8
	NC	0	0	3
	T	12	10	11
Unidos Venceremos	C	1	0	2
	NC	12	8	6
	T	13	8	8
Sítio Estrela	C	1	1	6
	NC	11	8	4
	T	12	9	10
Tancredo Neves	C	1	1	0
	NC	6	6	7
	T	7	7	7
Dom Lorscheider	C	0	1	5
	NC	10	8	4
	T	10	9	9

Continua na próxima página

Continuação					
José Euclides	C	7	4	7	
	NC	2	5	2	
	T	9	9	9	
São Domingos	C	1	1	0	
	NC	7	6	7	
	T	8	7	7	
24 de março	C	0	1	6	
	NC	12	10	5	
	T	12	11	11	
Barroso II	C	6	6	5	
	NC	5	3	5	
	T	11	9	10	
Itaperussu	C	5	2	5	
	NC	7	10	7	
	T	12	12	12	
Passaré II	C	5	5	7	
	NC	5	3	2	
	T	10	8	9	
Saores Moreno	C	1	2	8	
	NC	11	8	2	
	T	12	10	10	
Campos dos Ingleses 01	C	0	4	8	
	NC	12	8	3	
	T	12	12	11	
Campos dos Ingleses 02	C	2	4	9	
	NC	10	7	2	
	T	12	11	11	
Campos dos Ingleses 03	C	0	2	7	
	NC	12	10	4	
	T	12	12	11	
Campos dos Ingleses 04	C	0	4	6	
	NC	12	7	5	
	T	12	11	11	
Campos dos Ingleses 05	C	0	3	8	
	NC	12	9	3	
	T	12	12	11	
Campos dos Ingleses 06	C	0	2	5	
	NC	12	10	6	
	T	12	12	11	
Campos dos Ingleses 07	C	0	0	5	
	NC	12	12	6	
	T	12	12	11	
Aracapé II	C	6	9	11	
	NC	8	3	1	
	T	14	12	12	
Monte Líbano	C	0	3	0	
	NC	12	7	11	
	T	12	10	11	
Ipaumirim	C	0	2	8	
	NC	12	9	3	
	T	12	11	11	

Continua na próxima página

Continuação				
Novo Renascer	C	10	7	6
	NC	2	0	2
	T	12	7	8

C: conformes com a legislação ambiental. NC: não conformes com a legislação ambiental. T: total de análises realizadas. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

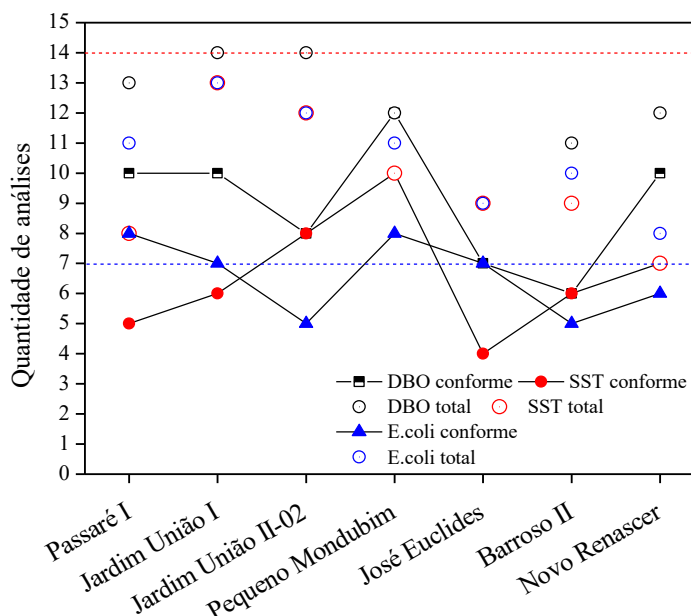
As ETEs que apresentaram mais da metade das suas análises realizadas em conformidade, foram destacadas, como destaques positivos. Todas essas estações tiveram no mínimo um total de nove médias semestrais, valor superior a metade dos 14 semestres esperados para o período estudado. Além dessas, as estações que apresentaram menos da metade conformes com a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1) também foram destacadas, como destaques negativos. Essas estações oscilaram entre o total de médias semestrais realizadas, porém tiveram o padrão de apresentarem poucas médias conformes em relação as médias totais realizadas.

A ETE Pequeno Mondubim foi o destaque positivo dentre as 34 ETEs estudadas nessa etapa. Como pode ser visualizada na Figura 29, essa ETE apresentou para os parâmetros DBO, SST e E.coli; 12, 10 e 11 médias semestrais, respectivamente, com conformidade de todas as suas médias de DBO e SST em relação a legislação ambiental e de 72% das médias de E.coli. Pinheiro (2018) identificou eficiência média da ETE Pequeno Mondubim igual a 67,66% nos valores de DQO, indicando a boa eficiência dessa estação e corroborando os resultados desta pesquisa.

Além dessa estação, Passaré I, Barroso II e Novo Renascer, apresentaram para a maioria de suas médias conformidades com a legislação ambiental (Quadro 8, item 4.1.2.1). As ETEs Jardim União I, Jardim União II e José Euclides, para alguns de seus parâmetros não atingiram conformidade (SST, E.coli e SST, respectivamente), porém foram destacadas positivamente pois para os demais parâmetros identificou-se o atendimento da legislação ambiental de maioria das suas médias semestrais.

De acordo com a CAGECE, as ETEs Passaré I, Jardim União I e II, Barroso II e Novo Renascer, todas com DD + FA CLOR, operam com uma baixa eficiência das suas tecnologias de tratamento (CEARÁ, 2023). Para essa informação não foi possível a ratificação com os resultados dessa pesquisa, pois poucas análises foram realizadas (Figura 23). Logo, a classificação conforme ou não conforme não reflete de forma concreta o estado dessas estações, sinalizando a necessidade de um direcionamento maior para os seus monitoramentos.

Figura 29 - Destaques positivos dentre as ETEs não enquadradas no método do ITES.



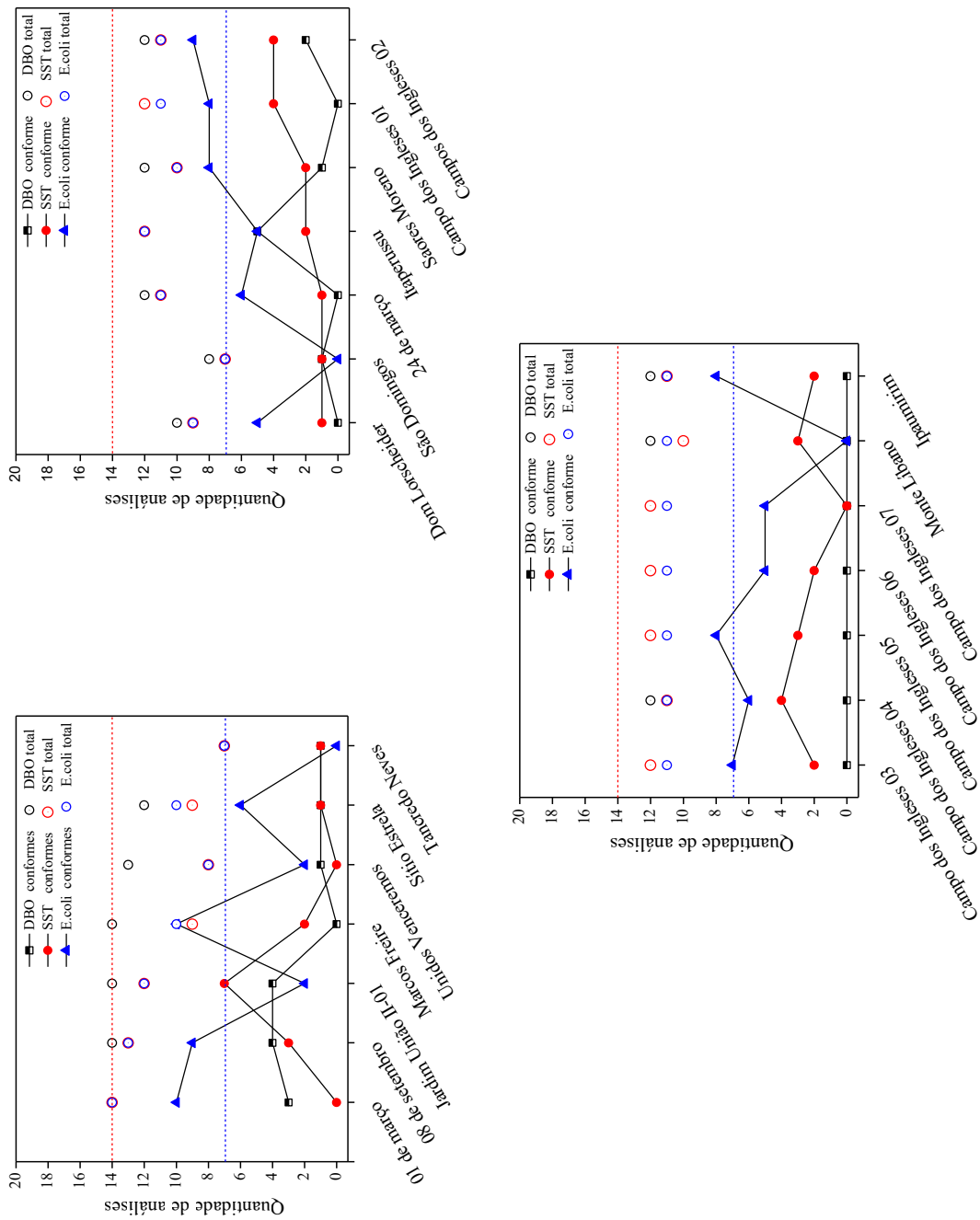
Linha vermelha tracejada representa o número de médias esperadas. Linha azul tracejada sinaliza 50% das médias calculadas. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os destaques negativos foram a maioria, totalizando 21 estações: 01 de março, 08 de setembro, Jardim União II-01, Marcos Freire, Unidos Venceremos, Sítio Estrela, Tancredo Neves, Dom Lorscheider, São Domingos, 24 de março, Itaperussu, Soares Moreno, Campos dos Ingleses (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07), Monte Líbano e Ipaumirim. Essas estações foram divididas em três grupos para melhor visualização dos resultados nos gráficos (Figura 30).

Como pode ser visualizado na Figura 30, as médias conformes são, em maioria inferiores, a metade das médias realizadas, havendo ETEs que apresentaram zero médias conformes dentro do período estudado tais como: 01 de março (SST), Marcos Freire (DBO), Unidos Venceremos (SST), Tancredo Neves (E.coli), Dom lorscheider (DBO), São Domingos (E.coli), 24 de março (DBO), Campo dos Ingleses (01, 03, 04, 05e 06 -DBO), Campos dos Ingleses 07 (DBO e SST), Monte Líbano (DBO e E.coli) e Ipaumirim (DBO).

As estações Campo dos Ingleses 07 e Monte Líbano, com o mínimo de onze médias apresentaram uma qualidade crítica dos seus efluentes, devido a não conformidade de dois dos parâmetros em relação a todas as médias semestrais analisadas, não atendendo a legislação para nenhuma de suas análises. De acordo com informações disponibilizadas pela CAGECE, as ETEs Marcos Freire, Sítio Estrela, Dom Lorscheider, 24 de março, Soares Moreno e Ipaumirim se encontram com baixa eficiência das suas tecnologias de tratamento.

Figura 30 - Destaques negativos dentre as ETEs não enquadradas no método do ITES.



Linha vermelha tracejada representa o número de médias esperadas. Linha azul tracejada sinaliza 50% das médias calculadas. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

6 CONCLUSÕES

A avaliação dos dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), através do portal Ceará Transparente, das 50 estações estudadas identificou que, em sete anos de estudo (2016 – 2022), poucas estações (16) apresentaram quantidades suficientes de dados para realização de análise estatística e consequente construção de suas classificações através dos índices gerados. O restante das estações (34), por não possuírem dados suficientes, tiveram a qualidade de seus efluentes avaliados de acordo com a conformidade das suas concentrações médias semestrais aos valores limites estabelecidos nas legislações ambientais. Também foi avaliada a quantidade de análises realizadas dentro do período estudado.

Os ITESs gerados, para as 16 ETEs, avaliaram as tecnologias: UASB + BF + CLOR (4 ETEs), UASB + CLOR (7 ETEs) e LE (5 ETEs). Os resultados apresentaram boa eficiência de tratamento para a maioria das estações que operam com UASB associado a BFA (ETEs Castelão, Centro de Eventos e Aldemir Martins), na qual geraram índices na faixa excelente de atendimento (ITES: 70 – 100). As estações com atendimento insatisfatório (ITES: 0 – 39,9) totalizaram 50% do total de ETEs utilizadas para a geração do índice e estiveram distribuídas entre as três tecnologias analisadas nessa etapa. Foram solicitadas informações à CAGECE a respeito do estado operacional dessas estações com atendimentos insatisfatórios. Através de relatórios disponibilizados e comunicação verbal prestada foi esclarecido que todas essas estações apresentaram baixa eficiência das suas tecnologias de tratamento, além de problemas relacionados a sua manutenção e operacionalidade. Dessa forma, os ITESs gerados conseguiram, de forma satisfatória, refletir a qualidade real dessas estações, demonstrando a suas não conformidades com os padrões presentes nas legislações ambientais.

As outras 34 estações estudadas operam todas as tecnologias analisadas, sendo DD + FA + CLOR (31 ETEs), UASB + BF + CLOR (1 ETE), UASB + CLOR (1 ETE) e LE (1 ETE). Cada estação teve o seu número de análises avaliado e as concentrações médias semestrais analisadas quanto as legislações ambientais de lançamento. A análise geral identificou que 97% dessas estações monitoraram os seus efluentes com eficiência de 47% (relação entre a quantidade de análises realizadas e o total esperado). Dentre os parâmetros avaliados (demanda química de oxigênio – DQO, demanda bioquímica de oxigênio – DBO, sólidos suspensos totais – SST e *Escherichia coli* – E.coli), a DQO apresentou o maior número de análises realizadas. Houve os destaques positivos (ETEs Pequeno Mondubim, Passaré I, Barroso II e Novo

Renascer) que apresentaram a maioria de suas médias conformes e os destaques negativos, que foram a maioria das estações analisadas nessa etapa (21 ETEs), com grande parte das suas médias não conformes.

Os resultados alcançados a partir da análise das 34 ETEs não são conclusivos, pois como apresentado foram realizadas poucas análises, não sendo possível uma reflexão concreta do estado de qualidade dessas estações. Porém, esses resultados sinalizam para a melhora no acompanhamento da qualidade dessas ETEs, além de destacarem algumas estações (ex.: ETEs Campo dos Ingleses 07 e Monte Líbano) cuja atenção deve ser imediata por apresentarem não conformidade de seus parâmetros para todas as médias semestrais analisadas.

Por fim, a metodologia do ITES se mostrou inovadora, baseando-se na análise direta e objetiva dos parâmetros estudados quanto as legislações ambientais de lançamento: Resoluções CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) e COEMA nº02 (CEARÁ, 2017). O índice aperfeiçoa o tratamento e a análise de grandes quantidades de dados, auxiliando a tomada de decisão. Além disso, se trata de uma ferramenta útil para as concessionárias, proporcionando uma linguagem mais acessível para o público em geral sobre a qualidade do efluente. Com relação aos resultados obtidos para as demais estações, os seus perfis de qualidade foram apresentados, relacionados as suas frequências de monitoramento e atendimento de seus parâmetros as legislações ambientais. A partir disso, a CAGECE pode direcionar uma maior atenção as estações destacadas negativamente dentro dessa análise.

REFERÊNCIAS

- BAYO, J.; OLMOS, S.; LÓPEZ-CASTELLANOS, J. Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors. **Chemosphere**, v. 238, 2020.
- BATEGANYA, N.I., NAKALANZI, S., BABU, M., HEIN, T. Buffering municipal wastewater pollution using urban wetlands in sub-Saharan Africa: a case of Masaka municipality, Uganda. **Environmental Technology**, v. 36, p. 2149 – 2160, 2015.
- BEDBABIS, S., BEM ROUINA, B.; BOUKHRIS, M.; FERRAR, G. Effects of irrigation with treated wastewater on root and fruit mineral elements of Chemlali olive cultivar. **The Scientific World Journal**, v 133, 45-50, 2014.
- BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A.R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E.F.; MANAIA, C.M.; NUNES, O.C. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, 117-135, 2015.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 de março de 2005.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, 16 de maio de 2011.
- BLUMETTO, O. et al. Ecosystem Integrity Index, an innovative environmental evaluation tool for agricultural production systems. **Ecological Indicators**, v. 101, n. January, p. 725–733, 2019.
- BRAMBILA, A.; FLOMBAUM, P. Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. **Ecological Indicators**, v. 83, n. June, p. 96–102, 2017.
- BUTCHART-KUHLMANN, D. et al. Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision support using environmental flow components. **Ecological Indicators**, v. 93, n. May, p. 470–480, 2018.
- CABRAL, P. Erros e Incertezas nas Medições. 2004. Disponível em:<<http://www.peb.ufrj.br/cursos/ErrosIncertezas.pdf>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.
- CEARÁ, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE). **Portal Eletrônico**. Esgoto. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/produtos-e-servicos/esgoto/>. Acesso em: 12 de março de 2021a.

CEARÁ, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE). Informações solicitadas pelo Ceará Transparente sobre as Estações de Tratamento de Efluentes em operação na bacia de esgotamento sanitário do rio Cocó. **Documento Eletrônico**, Fortaleza, 2021b.

CEARÁ, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE). Informações solicitadas pelo Ceará Transparente sobre as condições operacionais das Estações de Tratamento de Efluentes em operação na bacia de esgotamento sanitário do rio Cocó. **Documento Eletrônico**, Fortaleza, 2023.

CEARÁ, Companhia de Gestão do Recursos Hídricos (COGERH) do Estado do Ceará. Informações solicitadas pelo Ceará Transparente sobre a bacia hidrográfica do rio Cocó. **Documento Eletrônico**, Fortaleza, 2021c.

CEARÁ, Superintendência Estadual do Meio Ambiental (SEMACE). Portaria 154 de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para o lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, 1 de outubro de 2002.

CEARÁ, Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA). Resolução 02 de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, 21 de fevereiro de 2017.

COMUNICAÇÃO PESSOAL. Informação verbal prestada pela Supervisora da Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto (UNMTE) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará –CAGECE. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L.. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG. 2. ed.. 2007. 379p.

COROMINAS, L.; FOLEY, J.; GUEST, J.S.; HOSPIDO, A. LARSEN, H.F.; MORERA, S.; SHAW, A. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: state of the art, **Water Research**, v. 47, p. 5480-5492, 2013.

ÇELEKLI, A.; ŞAHIN, G. Bio-assessment of wastewater effluent conditions with algal pollution and multivariate approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 310, 127386, 2021.

DEEPNARAIN, N.; NASR, M.; KUMARI, S.; STENSTRÖM, T. A. Decision tree for identification and prediction of filamentous bulking at full-scale activated sludge wastewater treatment plant. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 126, p. 25–34, 2019.

DELRE, A.; MØNSTER, J.; SCHEUTZ, C. Greenhouse gas emission quantification from wastewater treatment plants, using a tracer gas dispersion method. **Science of the Total Environment**, v. 605–606, p. 258–268, 2017.

DOS SANTOS, A. B.. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste, v. 1. 145p, 2008.

DROSE, A.; VALENTINI, M. H. K.; DUARTE, V. H. DOS SANTOS, G. B.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento de Qualidade da Água da Lagoa Mirim. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 4, p. 58–67, 2020.

DUAVÍ, W. C.; GAMA, A. F.; MORAIS, P. C. V.; DE OLIVEIRA, A. H. B.; DO NASCIMENTO, R. F.; CAVALCANTE, R. M. Contaminação de ambientes aquáticos por “Agrotóxicos urbanos”: O caso dos rios Cocó e Ceará, Fortaleza - Ceará, Brasil. **Quimica Nova**, v. 38, n. 5, p. 622–630, 2015.

EBRAHIMI, M.; GERBER, E. L.; ROCKAWAY, T. D. Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 193, p. 234–246, 2017.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; DA SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: Uma introdução à análise fatorial. **Opinio Publica**, v. 16, n. 1, p. 160–185, 2010.

FORTALEZA. Plano municipal de saneamento básico de fortaleza convênio de cooperação técnica entre Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE e agência reguladora de fortaleza – ACFOR. **Documento eletrônico**. Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário Revisado. 2014.

FREIRES, E. V.; GOMES, D. D. M.; SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. Análise da evolução urbana no entorno do estuário do Rio Cocó – Fortaleza / Ceará nos anos de 1985, 1996 e 2007. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 3, p. 153–174, 2014.

GARCÍA-SÁNCHEZ, I – M.; ALMEIDA, T. A. N.; CAMARA, R. P. B. A proposal for a Composite Index of Environmental Performance (CIEP) for countries. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 171–188, 2015.

GEBICKI, J.; BYLIŃSKI, H.; NAMIEŚNIK, J. Measurement techniques for assessing the olfactory impact of municipal sewage treatment plants. **Environ. Monit. Assess.** 188, 1-15, 2016.

GÉMAR, G.; GÓMEZ, T.; MOLINOS-SENANTE, M.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. Assessing changes in eco-productivity of wastewater treatment plants: The role of costs, pollutant removal efficiency, and greenhouse gas emissions. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 69, p. 24–31, 2018.

GOSSET, A.; WIEST, L.; FILDIER, A.; LIBERT, C.; GIROUD, B.; HAMMADA, M.; HERVÉ, M.; SIBEUD, E.; VULLIET, E.; POLOMÉ, P.; PERRODIN, Y. Ecotoxicological risk assessment of contaminants of emerging concern identified by “suspect screening” from urban wastewater treatment plant effluents at a territorial scale. **Science of The Total Environment**, p. 146275, mar. 2021.

HAIR, J.F.; TATHAM, R.L; ANDERSON, R.E.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Editora: Bookman, 5ª ed., 593 p. Porto Alegre, 2005.

HELLWEG, S.; MILÀ I CANALS, L. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science* 344 (6188), 1109-1113, 2014.

HO, H. C.; WONG, M. S.; MAN, H. Y.; SHI, Y.; ABBAS, S. Neighborhood-based subjective environmental vulnerability index for community health assessment: Development, validation and evaluation. **Science of the Total Environment**, v. 654, p. 1082–1090, 2019.

HOSSEINI, S. M.; PARIZI, E.; ATAIE-ASHTIANI, B.; SIMMONS, C. T. Assessment of sustainable groundwater resources management using integrated environmental index: Case studies across Iran. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 792–810, 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Principais Estatística: no Brasil e no Mundo. 2021. **Plataforma virtual**. Disponível em: <<http://tratabrasil.com.br/saneamento/principais-estatisticas>>. Acessado em: Maio, 2021.

JAMOVI. The jamovi Project. Version 1.6. [Computer Software]. <https://www.jamovi.org>>.

JIANG, Y., DINAR, A., HELLEGERS, P. Economics of social trade-off: balancing wastewater treatment cost and ecosystem damage. **Journal of Environmental Management**, v. 211, p. 42 – 52, 2018.

JORDÃO, E. P., PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4º Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LEAL, J. R. L. V. Mudança de curso do Rio Cocó no paleolítico superior. **Revista do Instituto do Ceará**, p. 183–217, 2014.

LIMA, G. S.; NUNES, A. B. A; MAGALHÃES, A. M. C.; CAMPOS, V. R. Aplicação de metodologia de análise hierárquica (AHP) para priorização de intervenção em estações de tratamento de esgotos - Estudo de caso na Bacia do Siqueira, Fortaleza/CE. **Revista DAE**, v. 68, p. 34-50, 2020.

LIU, H.; WANG, H.; ZHOU, X.; FAN, J.; LIU, Y.; YANG, Y. A comprehensive index for evaluating and enhancing effective wastewater treatment in two industrial parks in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 854–861, 2019.

LIU, J.; WILLIAMS, P. C.; GEISLER-LEE, J.; GOODSON, B. M.; FAKHARIFAR, M.; PEIRAVI, M.; DA CHEN; LIGHTFOOT, D. A.; GEMEINHARDT, M. E. Impact of wastewater effluent containing aged nanoparticles and other components on biological activities of the soil microbiome, Arabidopsis plants, and earthworms. **Environmental Research**, v. 164, p. 197–203, 2018.

LOPES, F. T. M. T. **A importância do parque ecológico do rio cocó como potencial atrativo turístico**. 146p. Mestrado (Dissertação – Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

LUO, L.; DZAKPASU, M.; YANG, B.; ZHANG, W.; YANG, Y.; WANG, X. C.. A novel index of total oxygen demand for the comprehensive evaluation of energy consumption for urban wastewater treatment. **Applied Energy**, v. 236, n. 13, p. 253–261, 2019.

MAGALHÃES, A. M. C. **Proposta de metodologia multicriterial para priorização de intervenção em ETEs segundo análise da vulnerabilidade socioambiental - Estudo de caso em Fortaleza/CE**. 189p. Mestrado (Dissertação - Pós-Graduação em Civil – Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

MANNINA, G.; CAPODICI, M.; COSENZA, A.; DI TRAPANI, D. Nitrous oxide from integrated fixed-film activated sludge membrane bioreactor: assessing the influence of operational variables. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1221-1227, 2018.

MANNINA, G.; REBOUÇAS, T. F.; COSENZA, A.; SÀNCHEZ-MARRÈ, M.; GIBERT, K. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. **Bioresource Technology**, v. 290, 121814, 2019.

MARQUES, L. C.; NUNES, A. B. A. Análise da eficiência do tratamento de efluentes em reatores UASB em Fortaleza/CE. **Revista DAE**, v. 66, n. 212, p. 95–104, 2018.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise fatorial**. Brasília: Enap, 74 p., 2019. Disponível em: Livro Análise Fatorial.pdf (enap.gov.br). Acesso em: 11 de agosto de 2022.

MCCONVILLE, J. R.; KVARNSTRÖM, E.; JÖNSSON, H.; KÄRRMAN, E.; JOHANSSON, M. Source separation: Challenges & opportunities for transition in the swedish wastewater sector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 144–156, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores ambientais Nacionais. 2023. **Plataforma virtual**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais>>. Acessado em: Abril, 2023.

MONTEIRO, C. R. L. **Análise da eficiência e confiabilidade em 56 estações de tratamento de esgotos localizadas na região metropolitana de Fortaleza**. 79p. Mestrado (Dissertação – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

MORAIS, N. W. S.; DOS SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, v.67, 2019.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2012. 5. ed. 524p.

MÜLLER, A. B.; AVELLÁN, T.; SCHANZE, J. Risk and sustainability assessment framework for decision support in “water scarcity – water reuse” situations. **Journal of Hydrology**, v. 591, n. August, p. 125424, 2020.

MUSTAPHA, M. A.; MANAN, Z. A.; WAN ALWI, S. R. A new quantitative overall environmental performance indicator for a wastewater treatment plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 815–823, 2017.

NARDO, M., SAISANA, M., SALTELLI, A., TARANTOLA, S., HOFFMAN, A. GIOVANNINI, E. Handbook on constructing composite indicators. **OECD Statistics Working Papers**, OECD Publishing, 109 p., 2005.

NEWHART, K. B. HOLLOWAY, R. W.; HERING, A. S.; CATH, T. Y. Data-driven performance analyses of wastewater treatment plants: A review. **Water Research**, v. 157, p. 498–513, 2019.

NUNES, A. B. DE A. **Avaliação ex-post da sustentabilidade hídrica e da conservação ambiental de perímetros irrigados implantados - o caso do perímetro irrigado Jaguaribe - APODI (DIJA)**. 177p. Doutorado (Tese – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

OȚOIU, A.; GRĂDINARU, G. Proposing a composite environmental index to account for the actual state and changes in environmental dimensions, as a critique to EPI. **Ecological Indicators**, v. 93, n. October 2017, p. 1209–1221, 2018.

PALÁCIO, H.A. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 96f. Mestrado (Dissertação). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PASCUAL-BENITO, M.; NADAL-SALA, D.; TOBELLA, M.; BALLESTÉ, E.; GARCÍA-ALJARO, C.; SABATÉ, S.; SABATER, F.; MARTÍ, E.; GRACIA, C. A.; BLANCH, A. R.; LUCENA, F. Modelling the seasonal impacts of a wastewater treatment plant on water quality in a Mediterranean stream using microbial indicators. **Journal of Environmental Management**, v. 261, 2020.

PEÑA, A.; DELGADO-MORENO, L.; RODRÍGUEZ-LIÉBANA, J. A. A review of the impact of wastewater on the fate of pesticides in soils: Effect of some soil and solution properties. **Science of the Total Environment**, v. 718, 2019.

TREVISAN, P. D.; BISPO, P. C.; ALMEIDA, D.; IMANI, M.; BALZTER, H.; MOSCHINI, L. E. Environmental vulnerability index: An evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna and Seasonal Forest biome. **Ecological Indicators**, v. 112, 2020.

PINHEIRO, J. R. **Qualidade de efluente em algumas estações de tratamento de esgotos em Fortaleza, Ceará**. 46f. Graduação (TCC). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

PRASSE, C.; STALTER, D.; SCHULTE-OEHLMANN, U.; OEHLMANN, J.; TERNES, T. A. Spoilt for choice: A critical review on the chemical and biological assessment of current wastewater treatment technologies. **Water Research**, v. 87, p. 237–270, 2015.

PRATEEP NA TALANG, R.; SIRIVITHAYAPAKORN, S.; POLRUANG, S. Environmental impacts and cost-effectiveness of Thailand's centralized municipal wastewater treatment plants with different nutrient removal processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120433, 2020.

QURESHI, A.S.; HUSSAIN, M.I.; ISMAIL, S.; KHAN, Q.M. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. **Chemosphere**, v. 163, p. 54-61, 2016.

ROLIM, H. DE O. **Proposta de índice de estado trófico em reservatórios do semiárido a partir de dados da bacia do Banabuiú, estado do Ceará**. 129 p. Doutorado (Tese – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

ROLLEMBERG, S. L. S. **Avaliação do potencial de reúso dos efluentes gerados nas ETEs operadas pela CAGECE em Fortaleza-CE.** 95 p. Mestrado (Dissertação – Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ROSSI, R. G. **Análise de Componentes Principais em Data Warehouses.** 81p. Mestrado (Dissertação – Programa Ciência da Computação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SÃO PAULO. Decreto 8.468 de 08 de setembro de 1976. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Atualizado pelo Decreto 54.487, de 26 de junho de 2009. **Publicado na Casa Civil**, 6 de setembro de 1976.

SCHAUBROECK, T.; DE CLIPPELEIR, H.; WEISSENBACHER, N.; DEWULF, J., BOECKX, P.; VLAEMINCK, S.E.; WETT, B. Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: improvements through DEMON and co-digestion. **Water Research**. v. 74, p. 166-179, 2015.

SHAH, S. A. A.; ZHOU, P.; WALASAI, G. D.; MOHSIN, M. Energy security and environmental sustainability index of South Asian countries: A composite index approach. **Ecological Indicators**, v. 106, 2019.

SILVA, S. A.; AZEVEDO, L. E. C.; LIMA, G. V. B. A.; PEREIRA, M. M.; ARAÚJO, I. R. S. Statistical optimization of surface water quality parameters in environmental monitoring in mining activities in the Amazon. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, 2020.

SOUZA VIEIRA, P. M. **Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (Estudo de Caso: APA de Baturité, Ceará).** p. 264. Doutorado (Tese – Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SWEETAPPLE, C.; FU, G.; BUTLER, D. Multi-objective optimisation of wastewater treatment plant control to reduce greenhouse gas emissions. **Water Research**, v. 55, p. 52-62, 2014.

TARDIVO, M.T. **Consideração sobre o monitoramento e controle dos parâmetros físicos, químicos e biológico de estações de tratamento de esgotos e propostas para sistema integrado de gestão com enfoque ambiental, controle de qualidade, segurança e saúde.** Doutorado (Tese), Universidade de São Carlos. São Paulo, 2009.

VALENTE, M. D. R.; QUEIROZ, W. T.; PINHEIRO, J. G.; MONTEIRO, L. A. S. Modelo de predição para o volume total de quaruba (*vochysia inundata ducke*) via análise de fatores e regressão. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 307–317, 2011.

VON SPELING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 4. ed.. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 470p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.3: Lagoas de estabilização.** 134 p. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

WARNER, W.; LICHA, T.; NÖDLER, K. Qualitative and quantitative use of micropollutants as source and process indicators. A review. **Science of the Total Environment**, v. 686, p. 75–89, 2019.

WWAP. **Wastewater: the Untapped Resource, the United Nations World Water Development Report 2017**. UNESCO, Paris, France, 2017.

WOLF, J.; JOHNSTON, R.; HUNTER, P. R.; GORDON, B.; MEDLICOTT, K.; PRÜSS-USTÜN, A. A Faecal Contamination Index for interpreting heterogeneous diarrhoea impacts of water, sanitation and hygiene interventions and overall, regional and country estimates of community sanitation coverage with a focus on low- and middle-income countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 222, n. 2, p. 270–282, 2019.

ZENG, S.; CHEN, X.; DONG, X.; LIU, Y. Efficiency assessment of urban wastewater treatment plants in China: Considering greenhouse gas emissions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 157–165, 2017.

ZENG, S., CHEN, X., DONG, X., LIU, Y. Efficiency assessment of urban wastewater treatment plants in China: considering greenhouse gas emissions. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 120, p. 157 – 165, 2017.

ZUTHI, M.F.R., NGO, H.H., GUO, W.S. Modeling bioprocesses and membrane fouling in membrane bioreactor (MBR): a review towards finding na integrated model framework. **Bioresource Technology**, v. 122, p. 119 – 129, 2012.

**ANEXO A – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM OPERAÇÃO NA
ÁREA DE ESTUDO COM SUAS RESPECTIVAS TECNOLOGIAS DE
TRATAMENTO**

Número	ETE	Tecnologia de tratamento	Unidade de Negócio	Localização/Bairro
Sub-bacia CD-2				
1	Centro de eventos	UASB + BF + Cloração	UN-MTE	Edson Queiroz
Sub-bacia CD-3				
2	01 de março	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Barroso
3	João Paulo II	Lagoa de estabilização (LF)	UN-MTE	João Paulo II - Jangurussú
4	Lago Azul	UASB + Cloração	UN-MTE	Barroso
5	Sítio Estrela	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Barroso
6	Sítio Santana	UASB + Cloração	UN-MTE	Barroso
7	Tancredo Neves - Lagamar	Lagoa de estabilização	-	Jardim das Oliveiras
8	Zeza Tijolo	UASB + Cloração	UN-MTE	Cajazeiras
Sub-bacia CD-4				
9	Aldemir Martins	UASB + BF + Cloração	UN-MTE	Ancuri
10	Almirante Tamandaré I	DD + FA + Cloração	UN-MTE	Jangurussu
11	Conjunto Palmeiras	Lagoa de estabilização (LAn + LF + LM)	UN-MTE	Conjunto Palmeiras II
12	Dom Lorscheider	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Jangurussu
13	José Euclides	UASB + BF + Cloração	UN-MTE	Jangurussu
14	São Cristovão	Lagoa de estabilização (LAn + LF + LM)	UN-MTE	Jangurussu
15	São Domingos	DD + FA + Cloração	UN-MTE	Messejana
Sub-bacia CE-4				
16	8 de setembro	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Castelão
Sub-bacia CE-6				
17	24 de março	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Barroso II
18	Barroso II	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
19	Castelão	UASB + BF + Cloração	UN-MTE	Boa Vista
20	Jangurussú	Lagoa de estabilização (LAn + LF)	UN-MTE	Jangurussu
21	Novo Barroso	UASB + Cloração	UN-MTE	Messejana
22	Unidos Venceremos	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Barroso
Sub-bacia CE-7				

23	Itaperussu	UASB	UN-MTE	Parque Dois Irmãos
24	Passaré I	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
25	Passaré II	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
26	Soares Moreno	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Av. Mar. Bittencourt com Av. Dedé Brasil
Sub-bacia CE-8				
27	Jardim União I	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
28	Jardim União II – 01	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
29	Jardim União II – 02	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Passaré
30	Nova Descoberta – Favela vertical	DD + FA	UN-MTS	Passaré
31	Riacho Doce	UASB + Cloração	UN-MTE	Passaré
32	Rosalina	UASB + BF + Cloração	UN-MTE	Jardim União
Sub-bacia CE-9				
33	Campos dos Ingleses 1	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
34	Campos dos Ingleses 2	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
35	Campos dos Ingleses 3	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
36	Campos dos Ingleses 4	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
37	Campos dos Ingleses 5	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
38	Campos dos Ingleses 6	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
39	Campos dos Ingleses 7	DD + FA + Cloração	UN-MTO	Jardim Cearense
40	Itaperi	UASB + Cloração	UN-MTE	Itaperi
41	Tupã Mirim	Lagoa de estabilização (LFA + LFs + LM)	UN-MTE	Parque Dois Irmãos
42	Santa Maria Gorete	DD + FA	UN-MTO	Itaperi
Sub-bacia CE-10				
43	Aracapé I	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Mondubim
44	Aracapé II	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Mondubim
45	Aracapé III	UASB + Cloração	UN-MTE	Mondubim
46	Monte Líbano	DD + FA + Cloração	UN-MTE	Planalto Ayrton Senna
47	Conj. PM II - Aracapé	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Acarape
48	Ipaumirim	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Lot. Arvoredo
49	Marcos Freire	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Prefeito José Walter
50	Novo Renascer	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Mondubim

51	Pequeno Mondubim	DD + FA + Cloração	UN-MTE	Prefeito José Walter
52	Sítio Córrego I	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Mondubim
53	Sítio Córrego II	DD + FA + Cloração	UN-MTS	Mondubim
Sub-bacia CE-11				
54	DIF III	UASB + Lagoa de estabilização (LF + LM)	UN-MTE	José Walter
55	José Walter	Lagoa de estabilização (LF + LM)	UN-MTE	Prefeito José Walter

DD: decanto digestor, FA: filtro anaeróbio, LAn: lagoa anaeróbia; LF: lagoa facultativa; LM: lagoa de maturação; LFA: lagoa facultativa aerada; LFs: lagoa facultativa secundária; BF: Biofiltro Aerado Submerso; UASB: reator anaeróbio de fluxo ascendente; LA: reatores de lodo de aeração prolongada; DS: decantador secundário; FA: filtro anaeróbio. Fonte: CEARÁ, 2021.

**ANEXO B – VALORES DAS MÉDIAS SEMESTRAIS, QUALIDADES CALCULADAS
POR PARÂMETROS E ITES DAS ESTAÇÕES NOS PERÍODOS ANALISADOS**

Tecnologia	Estações	Período	(¹)DBO	q_i	(¹)SST	q_i	(²)E.Coli	q_i	ITES
UASB + BF + CLOR	Centro de eventos	2016.1	29,8	96,4	23,7	97,2	8,5	100,0	98,0
		2016.2	40,6	89,7	14,5	100,0	7,0	100,0	99,0
		2017.1	47,2	85,5	14,8	100,0	8,5	100,0	99,0
		2017.2	41,8	88,9	10,7	100,0	1,0	100,0	99,0
		2018.1	40,9	89,5	13,7	100,0	5,5	100,0	99,0
		2018.2	48,8	84,5	18,7	100,0	3,9	100,0	99,0
		2019.1	42,3	88,6	15,0	100,0	8,5	100,0	99,0
		2019.2	44,6	87,1	16,0	100,0	7,0	100,0	99,0
		2020.1	22,8	100,0	4,9	100,0	9,6	100,0	100,0
		2020.2	23,5	100,0	6,4	100,0	11,7	100,0	100,0
		2021.1	13,9	100,0	30,9	96,0	403,6	100,0	100,0
		2021.2	11,7	100,0	26,4	99,0	193,1	100,0	100,0
		2022.1	12,4	99,9	24,6	100,0	88,6	89,7	93,6
		2022.2	24,4	94,0	31,0	96,0	66,7	100,0	96,5
	Aldemir Martins	2016.1	59,2	78,0	43,5	82,4	11,5	100,0	89,0
		2016.2	66,8	73,2	29,9	94,8	9,7	100,0	96,0
		2017.1	63,6	75,3	53,0	72,3	1,0	100,0	84,0
		2017.2	73,6	68,9	49,3	78,0	11,5	100,0	86,0
		2018.1	64,2	74,9	52,3	75,8	11,5	100,0	85,0
		2018.2	57,2	79,2	47,5	79,4	11,5	100,0	87,0
		2019.1	51,6	82,8	42,1	83,4	11,5	100,0	90,0
		2019.2	56,4	79,7	46,7	80,0	9,5	100,0	87,0
		2020.1	52,1	82,5	31,4	91,4	11,5	100,0	94,0
		2020.2	28,0	97,5	27,1	94,7	11,5	100,0	97,0
		2021.1	100,1	100,0	53,8	81,0	115,2	100,0	99,0
		2021.2	29,5	100,0	34,2	94,0	88,7	100,0	100,0
		2022.1	31,3	91,5	51,5	83,0	39,2	100,0	94,5
		2022.2	39,6	86,8	29,0	97,0	27,7	100,0	91,4
	Castelão	2016.1	20,9	100,0	12,1	100,0	174,8	100,0	100,0
		2016.2	22,5	100,0	13,8	100,0	543,5	100,0	100,0
		2017.1	17,4	100,0	8,4	100,0	466,7	100,0	100,0
		2017.2	33,3	94,2	14,1	100,0	483,3	100,0	100,0
		2018.1	19,1	100,0	15,5	100,0	785,0	100,0	100,0
		2018.2	25,3	99,2	10,9	100,0	588,0	100,0	100,0
		2019.1	20,0	100,0	9,0	100,0	318,0	100,0	100,0
		2019.2	20,5	100,0	9,0	100,0	403,0	100,0	100,0
		2020.1	13,4	100,0	2,8	100,0	547,0	100,0	100,0
		2020.2	11,7	100,0	6,8	100,0	100,0	100,0	100,0
		2021.1	37,1	100,0	18,9	100,0	41,7	100,0	100,0
		2021.2	41,2	100,0	30,2	96,0	33,7	100,0	100,0
		2022.1	28,5	88,9	24,4	100,0	18,9	100,0	93,3
		2022.2	42,7	96,5	24,9	99,0	2841,7	83,3	65,0
Rosalina	2016.1	117,2	41,7	118,0	36,5	8166667,0	0,0	0,0	
	2016.2	150,2	35,1	156,0	28,7	5560000,0	0,0	0,0	
	2017.1	116,6	42,1	133,0	33,3	7500000,0	0,0	0,0	
	2017.2	129,7	38,5	146,0	30,7	7683333,0	0,0	0,0	
	2018.1	149,1	35,3	141,0	31,9	7766667,0	0,0	0,0	
	2018.2	165,3	32,6	118,0	36,3	7240000,0	0,0	0,0	
	2019.1	119,6	40,2	140,0	32,0	3107067,0	0,0	0,0	
	2019.2	115,1	43,1	142,0	31,5	3106833,0	0,0	0,0	

UASB + CLOR		2020.1	93,8	56,3	96,0	42,9	3146667,0	0,0	0,0
		2020.2	104,6	49,6	105,0	39,0	1547500,0	0,0	0,0
		2021.1	258,5	8,0	144,8	36,0	7599,8	29,5	15,0
		2021.2	185,6	23,0	105,8	49,0	9695,0	21,2	23,0
		2022.1	193,4	35,4	115,4	43,0	8277,4	64,0	34,8
		2022.2	157,6	28,5	142,2	36,0	43,8	100,0	47,9
	Lago Azul	2016.1	102,3	51,1	89,0	47,9	894,0	100,0	48,8
		2016.2	91,0	58,0	98,0	40,0	100,0	100,0	41,2
		2017.1	82,0	64,0	95,0	43,0	120100,0	0,0	0,0
		2017.2	89,0	59,0	76,0	58,0	40333,0	0,0	0,0
		2018.1	91,0	58,0	108,0	39,0	80394,0	0,0	0,0
		2018.2	89,0	60,0	115,0	37,0	81005,0	0,0	0,0
		2019.1	101,0	52,0	98,0	41,0	55450,0	0,0	0,0
		2019.2	119,0	40,6	100,0	40,0	74,0	100,0	40,7
		2020.1	89,0	59,0	67,0	65,0	40621,0	0,0	0,0
		2020.2	89,0	59,0	84,0	52,0	83,0	100,0	52,5
		2021.1	98,7	41,0	121,2	40,0	25,3	100,0	42,0
		2021.2	94,2	44,0	125,0	40,0	15,2	100,0	45,0
	Sítio Santana	2022.1	73,5	60,0	74,2	69,0	11,7	100,0	61,0
		2022.2	100,5	40,0	114,1	44,0	11,7	100,0	41,0
		2016.1	65,9	74,0	76,1	58,0	452,3	100,0	59,3
		2016.2	93,5	56,5	78,9	56,0	68,0	100,0	56,5
		2017.1	78,4	66,0	81,0	54,0	31,7	100,0	55,4
		2017.2	113,4	44,1	78,2	56,0	22,0	100,0	56,3
		2018.1	120,0	40,1	76,8	57,0	223,0	100,0	57,0
		2018.2	76,3	67,3	75,6	58,0	31,4	100,0	59,3
		2019.1	47,5	85,0	61,9	69,0	179,7	100,0	69,8
2019.2		76,0	67,4	78,8	56,0	44,0	100,0	57,1	
2020.1		58,2	79,0	65,3	66,0	138,0	100,0	67,2	
2020.2		65,5	74,0	70,3	62,0	57,0	100,0	63,4	
Zeza Tijolo	2021.1	131,8	34,0	77,1	67,0	33,1	100,0	36,0	
	2021.2	73,3	60,0	57,5	79,0	13,5	100,0	61,0	
	2022.1	65,3	66,0	51,4	83,0	38,5	100,0	67,0	
	2022.2	43,3	83,0	41,0	89,0	497,0	97,7	83,0	
	2016.1	114,5	43,4	85,9	51,0	575,3	100,0	50,9	
	2016.2	118,9	40,7	120,2	36,0	570,2	100,0	37,0	
	2017.1	112,0	45,0	95,6	43,0	308,3	100,0	44,1	
	2017.2	102,0	43,0	101,0	40,0	435,0	100,0	40,9	
	2018.1	133,9	37,8	109,4	38,0	566,6	100,0	38,9	
	2018.2	103,5	50,3	92,0	42,0	1071,7	98,9	42,8	
	2019.1	93,9	56,3	113,0	37,0	791,6	100,0	39,0	
	2019.2	131,0	38,3	113,6	37,0	841,8	100,0	38,2	
Novo Barroso	2020.1	102,1	51,2	95,5	43,0	280,2	100,0	44,4	
	2020.2	120,0	40,1	94,2	44,0	1028,5	99,6	44,8	
	2021.1	118,6	36,0	104,9	49,0	602,7	100,0	38,0	
	2021.2	137,5	33,0	103,6	50,0	395,0	100,0	34,0	
	2022.1	96,3	43,0	85,2	62,0	666,3	94,0	44,0	
	2022.2	162,5	28,0	88,6	60,0	1060,2	91,5	29,0	
	2016.1	73,5	69,0	89,5	48,0	189,8	100,0	49,5	
	2016.2	101,3	51,7	143,0	31,0	66,8	100,0	33,0	
	2017.1	88,2	59,9	95,0	41,0	43,4	100,0	42,6	
	2017.2	97,9	53,8	94,6	44,0	2955,7	71,0	44,9	
	2018.1	92,2	57,3	84,6	51,0	341,0	100,0	52,5	

Lagoa de Estabilização	Riacho Doce	2018.2	105,6	49,0	100,0	40,0	412,7	100,0	41,2
		2019.1	87,8	60,1	97,3	42,0	83,0	100,0	43,5
		2019.2	104,5	49,7	95,0	41,0	482,8	100,0	42,2
		2020.1	83,9	62,5	88,9	48,0	482,7	100,0	49,6
		2020.2	106,7	48,3	81,4	54,0	499,3	100,0	54,3
		2021.1	83,2	53,0	101,0	52,0	40,6	100,0	53,0
		2021.2	100,1	40,0	108,8	47,0	30,0	100,0	41,0
		2022.1	86,3	50,0	79,9	65,0	40044,1	83,3	51,0
		2022.2	78,7	56,0	88,2	60,0	5148012,0	40,0	56,0
	Riacho Doce	2016.1	108,8	47,0	148,5	30,0	18540,0	0,0	0,0
		2016.2	142,6	36,4	220,6	20,0	33968,7	0,0	0,0
		2017.1	130,3	38,4	142,5	32,0	101700,0	0,0	0,0
		2017.2	136,1	37,4	199,9	20,0	44705,0	0,0	0,0
		2018.1	138,4	37,0	156,4	29,0	50733,0	0,0	0,0
		2018.2	145,9	35,8	163,0	27,0	67983,3	0,0	0,0
		2019.1	96,5	54,7	120,5	36,0	8388,3	26,0	36,5
		2019.2	100,9	51,9	116,1	37,0	43673,5	0,0	0,0
		2020.1	53,1	82,0	101,5	39,7	45833,3	0,0	0,0
		2020.2	84,2	62,4	143,3	31,0	78278,3	0,0	0,0
		2021.1	115,0	37,0	67,9	73,0	157106,0	0,0	0,0
		2021.2	92,4	46,0	91,6	58,0	159490,0	0,0	0,0
		2022.1	127,5	35,0	87,9	60,0	2511546,0	0,0	0,0
	2022.2	124,1	35,0	89,0	59,0	1024372,0	0,0	0,0	
	Itaperí	2016.1	207,5	25,7	221,8	15,7	451,0	100,0	16,7
		2016.2	244,8	19,6	174,2	25,0	175,6	100,0	25,6
		2017.1	192,6	28,1	220,3	15,9	32,6	100,0	17,0
		2017.2	256,7	17,6	221,2	15,8	13,7	100,0	16,5
		2018.1	182,9	29,7	172,3	25,6	3,8	100,0	26,5
		2018.2	213,2	24,8	264,8	7,1	32,1	100,0	7,9
		2019.1	214,1	24,6	226,2	14,8	216,4	100,0	15,8
		2019.2	263,9	16,4	351,3	0,0	843,3	100,0	0,0
		2020.1	214,6	24,5	193,1	21,4	181,0	100,0	22,3
		2020.2	234,3	21,3	242,5	11,5	16,5	100,0	12,4
		2021.1	419,2	0,0	368,7	0,0	36,4	100,0	0,0
		2021.2	222,1	16,0	300,0	11,0	55,9	100,0	16,0
		2022.1	143,1	31,0	209,9	25,0	1366715,0	0,0	0,0
	2022.2	267,6	7,0	227,9	22,0	4200,0	83,3	7,0	
	Aracapé III	2016.1	77,5	66,5	87,0	49,7	2,0	100,0	51,2
		2016.2	87,4	60,3	91,2	46,6	14,5	100,0	48,0
		2017.1	79,4	65,4	83,3	52,5	3,8	100,0	53,8
		2017.2	80,8	64,5	91,9	46,1	2,0	100,0	47,6
		2018.1	77,0	66,9	76,7	57,5	3,0	100,0	58,6
2018.2		77,4	66,6	88,3	48,8	2,7	100,0	50,3	
2019.1		60,1	77,0	66,5	65,1	3,5	100,0	66,2	
2019.2		68,8	72,0	89,1	48,2	8,9	100,0	49,9	
2020.1		50,5	83,0	84,9	51,3	14,7	100,0	53,3	
2020.2		49,6	84,0	61,4	68,9	7,3	100,0	70,1	
2021.1		45,4	81,0	46,7	86,0	8,5	100,0	82,0	
2021.2		100,0	40,0	71,5	70,0	8,5	100,0	42,0	
2022.1		53,0	75,0	50,7	83,0	16,8	100,0	76,0	
2022.2	70,3	62,0	51,7	83,0	10,0	100,0	64,0		
João Paulo II	2016.1	99,2	53,0	172,1	34,0	83666,7	0,0	0,0	
	2016.2	106,6	48,4	193,7	28,3	741666,7	0,0	0,0	

		2017.1	88,5	59,6	101,9	63,9	695000,0	0,0	0,0
		2017.2	128,1	38,7	147,3	41,3	704500,0	0,0	0,0
		2018.1	99,6	52,7	125,4	52,3	701666,7	0,0	0,0
		2018.2	124,5	39,3	164,5	30,1	1021667,0	0,0	0,0
		2019.1	79,3	65,4	98,8	65,5	713000,0	0,0	0,0
		2019.2	105,8	48,9	133,2	48,4	645000,0	0,0	0,0
		2020.1	79,3	65,4	136,6	46,7	458333,3	0,0	0,0
		2020.2	111,8	45,1	135,7	47,2	1241667,0	0,0	0,0
		2021.1	124,4	52,8	90,6	58,0	1000513,0	0,0	0,0
		2021.2	122,8	53,6	104,7	50,0	1248846,0	0,0	0,0
		2022.1	102,7	63,6	74,0	69,0	781026,0	0,0	0,0
		2022.2	108,1	60,9	113,6	44,0	1330000,0	0,0	0,0
	Conjunto Palmeiras	2016.1	48,4	85,0	66,4	81,8	358,3	100,0	89,0
		2016.2	57,6	79,0	75,6	77,2	198,3	100,0	87,0
		2017.1	42,3	89,0	55,2	87,4	650,2	100,0	91,0
		2017.2	52,1	82,0	67,1	81,4	145,2	100,0	88,0
		2018.1	54,0	81,0	77,4	76,3	520,2	100,0	86,0
		2018.2	53,8	81,0	70,2	79,9	608,4	100,0	88,0
		2019.1	50,5	83,0	66,5	81,8	171,9	100,0	88,0
		2019.2	53,3	82,0	78,4	75,8	174,7	100,0	86,0
		2020.1	46,4	86,0	63,6	83,2	376,7	100,0	89,0
		2020.2	60,0	78,0	89,9	70,0	437,5	100,0	84,0
		2021.1	65,5	82,2	45,4	87,0	10653,9	17,3	33,0
		2021.2	88,3	70,9	61,6	76,0	16817,2	0,0	0,0
		2022.1	59,1	85,4	39,1	91,0	9311,7	22,7	39,0
	2022.2	82,6	73,7	46,3	86,0	13750,0	5,0	15,0	
	São Cristóvão	2016.1	124,3	39,4	142,5	43,7	2590017,0	0,0	0,0
		2016.2	150,7	35,0	178,1	32,4	1935000,0	0,0	0,0
		2017.1	142,4	36,4	190,3	29,2	3466667,0	0,0	0,0
		2017.2	323,4	6,7	230,0	18,6	4533333,0	0,0	0,0
		2018.1	329,8	5,6	283,3	4,4	4533333,0	0,0	0,0
		2018.2	390,1	0,0	238,8	16,3	3473833,0	0,0	0,0
		2019.1	242,5	19,9	276,7	6,2	3533333,0	0,0	0,0
		2019.2	538,6	0,0	295,0	1,3	5450000,0	0,0	0,0
		2020.1	507,3	0,0	278,3	5,8	4433333,0	0,0	0,0
		2020.2	532,9	0,0	245,0	14,6	3685000,0	0,0	0,0
		2021.1	1807,5	0,0	831,9	0,0	4603333,0	0,0	0,0
		2021.2	665,5	0,0	284,7	13,0	10000000,0	0,0	0,0
		2022.1	577,3	0,0	224,1	23,0	6231667,0	0,0	0,0
	2022.2	1024,2	0,0	329,3	5,7	17000000,0	0,0	0,0	
	Tupã Mirim	2016.1	46,4	86,0	65,1	82,5	3616,7	60,7	66,0
		2016.2	67,4	73,0	70,4	79,8	2151,7	82,7	77,0
		2017.1	49,4	84,0	53,6	88,2	4550,0	41,7	57,0
		2017.2	73,5	69,0	74,2	77,9	4250,0	42,9	57,0
		2018.1	63,3	75,0	73,2	78,4	11200,0	15,2	28,0
		2018.2	72,2	69,8	67,6	81,2	4200,0	43,1	59,0
		2019.1	43,5	88,0	39,8	95,1	2713,3	74,3	78,0
		2019.2	62,7	76,0	65,4	82,3	9200,0	23,1	36,0
		2020.1	50,8	83,0	52,7	88,6	3608,3	60,8	67,0
		2020.2	67,3	73,0	71,5	79,3	2100,0	51,5	78,0
		2021.1	48,4	90,8	50,2	84,0	16736,0	0,0	0,0
		2021.2	72,4	78,8	85,9	61,0	26200,0	0,0	0,0
		2022.1	48,9	89,0	46,2	86,0	15275,7	0,0	0,0

		2022.2	83,6	73,2	96,6	55,0	24916,7	0,0	0,0
	José Walter	2016.1	129,8	38,5	220,9	21,1	29333,3	0,0	0,0
		2016.2	141,9	36,5	191,1	28,9	30666,7	0,0	0,0
		2017.1	98,3	53,5	107,9	43,3	21455,0	0,0	0,0
		2017.2	128,6	38,7	176,4	32,9	21301,7	0,0	0,0
		2018.1	105,5	49,0	103,3	54,9	20616,7	0,0	0,0
		2018.2	149,6	35,2	183,5	31,0	27166,7	0,0	0,0
		2019.1	108,7	47,1	129,8	63,3	30500,0	0,0	0,0
		2019.2	134,1	37,8	161,5	36,9	31000,0	0,0	0,0
		2020.1	126,1	39,1	143,3	43,3	29000,0	0,0	0,0
		2020.2	56,6	80,0	50,1	89,9	10250,0	19,0	33,0
		2021.1	48,4	90,8	48,5	85,0	21242,4	0,0	0,0
		2021.2	87,3	71,4	68,7	72,0	21660,6	0,0	0,0
		2022.1	50,8	89,6	37,3	92,0	10668,2	17,3	33,0
		2022.2	48,0	91,0	41,8	89,0	2185,0	80,7	84,0

(1) Valores de DBO e SST expressos em mg/L. (2) Valores de E.Coli expressos em NMP/100mL. Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

**ANEXO C – QUANTIDADE DE ANÁLISES E MÉDIAS SEMESTRAIS DAS ETES
NÃO ENQUADRADAS NO MÉTODO DO ITES**

ETE	S	Parâmetros						
		DBO		SST		E.coli		T
		M	A	M	A	M	A	
Aracapé I	1	131,5	6	170,0	2	1,0	2	2
	2	97,1	5	138,0	2	1,0	2	2
	3	93,0	3	0,0	0	0,0	0	0
	4	148,1	6	100,0	2	92,0	2	2
	5	129,6	6	76,0	2	1,0	2	2
	6	141,4	5	302,0	2	2611,5	2	2
	7	107,7	3	145,0	2	2600,0	2	2
	8	137,7	4	126,0	1	1,0	1	1
	9	109,1	3	36,0	1	100,0	1	1
	10	60,0	1	90,0	1	52,0	1	1
	11	131,6	2	192,5	1	62,0	1	1
	12	161,7	2	178,0	2	720,0	2	2
	13	102,3	4	184,0	2	4300,0	2	2
	14	148,3	6	94,0	2	120,5	2	2
	Total	121,4	56	130,8	22	761,6	22	22
Passaré I	1	142,8	6	95,0	2	8,0	2	2
	2	377,9	5	340,0	2	170,5	2	2
	3	156,0	4		0	256,6	2	2
	4	118,2	5	90,0	1	5005,0	2	2
	5	136,4	6	95,4	2	152500,0	2	2
	6	147,3	5	88,5	2	1,5	2	2
	7	122,9	3	151,0	2	15,5	2	2
	8	325,7	4		0	2400,0	1	1
	9	104,1	2		0	240000,0	1	1
	10	328,5	1		0		0	0
	11	106,2	2	63,7	1	10,0	1	1
	12	182,3	2	185,0	2	205,0	2	2
	13	132,9	1		0		0	0
	14	142,8	0	95,0	0		0	0
	Total	183,2	46	138,6	14	36415,6	19	19
Sítio Córrego I	1	160,5	6	105,8	2	430,5	2	2
	2	237,8	5	195,0	1	12315,0	2	1
	3	162,6	4		0	12000,0	1	0
	4	158,0	6	115,0	2	1260,0	2	2
	5	116,8	6	79,3	2	1110,0	2	2
	6	267,7	4	340,0	1	1200,0	1	1
	7	89,9	3		0		0	0
	8	114,6	4	110,0	2	1200,5	2	2
	9	120,7	2	97,5	1	31,0	1	1
	10	265,4	1		0		0	0
	11	176,9	2	122,9	2	2155,0	2	2
	12	157,6	2	110,0	1	86,0	1	1
	13	110,9	3	65,8	2	15,0	2	2
	14	229,2	0	92,7	2	47,5	2	0

	Total	169,2	48	130,3	18	2654,2	20	16
Sítio Córrego II	1	228,9	6	147,5	2	23500,0	2	2
	2	278,9	5	187,5	2	3520,0	2	2
	3	152,8	4		0	910000,0	1	1
	4	248,0	6	166,0	2	7655,0	2	2
	5	203,1	6	123,8	2	122000,0	2	2
	6	242,9	4	193,5	2	490,0	2	2
	7	122,0	3	109,0	2	1850,5	2	2
	8	310,4	4	148,0	1	1100,0	1	1
	9	104,7	2	68,0	1	160,0	1	1
	10	202,8	1		0		0	0
	11	187,7	1		0		0	0
	12	161,2	1	87,5	1	31,0	1	1
	13	112,2	2	61,3	1	240000,0	1	0
	14	160,4	6	124,0	2	120,0	2	1
	Total	194	51	128,7	18	109202,2	19	17
01 de março	1	196,8	5	167,5	2	2500,0	2	2
	2	416,4	5	475,0	2	15400,0	2	2
	3	183,1	3	932,0	1	48000,0	1	1
	4	1369,4	6	525,3	3	841,0	3	3
	5	285,1	6	415,0	2	9100,0	2	2
	6	436,6	5	630,0	2	3300,0	2	2
	7	219,5	3	108,0	1	460,0	1	1
	8	248,0	3	290,0	2	121200,0	2	2
	9	108,9	3	132,0	1	4800,0	1	1
	10	324,8	1	390,0	1	10,0	1	1
	11	256,5	1	310,0	1	1700,0	1	1
	12	912,6	2	1600,0	1	10,0	1	0
	13	175,9	4	312,5	1	52,0	1	0
	14	774,2	6	391,7	2	10,0	2	2
	Total	263,9	53	477,1	22	14813,1	22	20
08 de setembro	1	366,5	4	503,5	2	1500,0	2	2
	2	324,3	5	297,5	2	120160,0	2	2
	3	182,3	3	224,0	1	140,0	1	1
	4	311,9	6	129,7	2	120001,5	2	2
	5	260,8	6	46,0	2	120000,5	2	2
	6	220,1	5	172,5	2	50,5	2	2
	7	202,7	3		0		0	0
	8	298,3	3	260,0	2	120600,0	2	2
	9	102,4	3	68,0	1	10,0	1	1
	10	204,9	1	3,5	1	52,0	1	1
	11	247,6	2	163,8	2	10,0	2	2
	12	498,1	2	1170,0	1	10,0	1	1
	13	115,9	4	116,0	1	10,0	1	1
	14	317,1	6	620,0	2	10,0	2	2
	Total	260,9	53	290,3	21	37119,6	21	21
Almirante Tamandaré	1	51,6	4	37,0	1	410000,0	1	1
	2	95,4	5	63,0	2	710000,0	2	2

I	3	33,9	4		0	1,0	1	0
	4	90,0	6	85,0	2	705000,0	2	2
	5	85,5	6	71,9	2	460000,0	2	2
	6	93,4	5	88,0	2	555000,0	2	2
	7	32,5	2		0		0	0
	8	87,9	3	71,0	2	96050,0	2	2
	9	48,5	2	46,7	1	180000,0	1	1
	10	121,8	1	114,3	1	190000,0	1	1
	11	68,5	2	71,8	2	17000000,0	2	2
	12	100,0	2	53,3	1	24000000,0	1	1
	13	26,0	3		0		0	0
	14	91,7	6	72,7	2	720000,0	2	2
	Total	73,4	51	70,4	18	3752171	19	18
Jardim União 01	1	201,8	6	146,8	3	216667,3	3	3
	2	206,3	5	263,8	2	435105,0	2	2
	3	170,5	4	94,0	1	240000,0	2	1
	4	223,9	6	347,5	2	70,5	2	2
	5	170,5	6	75,4	2	240000,0	2	2
	6	261,1	5	252,0	1	19000,0	1	1
	7	132,1	3	1,2	1	2,0	1	1
	8	14,7	4	1,0	1	1,0	1	1
	9	68,5	3	95,0	1	14000,0	1	1
	10	285,2	1	248,0	1	10,0	1	1
	11	44,9	1		0		0	0
	12	207,8	3	202,5	1	10,0	1	1
	13	20,4	4	8,3	2	2605,0	2	2
	14	268,5	6	483,0	2	1705,0	2	2
Total	162,6	57	170,6	20	89936,6	21	20	
Jardim União II-01	1	122,8	6	89,1	3	240000,0	3	3
	2	168,6	5	75,0	2	120000,5	2	2
	3	103,1	4	102,0	1	240000,0	2	1
	4	151,4	6	93,8	2	240000,0	1	1
	5	122,7	6	89,8	2	610000,0	2	2
	6	132,2	5	172,0	1	4,1	1	1
	7	2178,1	3	10,7	1	28000,0	1	1
	8	110,8	4	98,0	1	190000,0	1	1
	9	124,8	2		0		0	0
	10	151,8	1	215,0	1	10,0	1	1
	11	90,8	1		0		0	0
	12	126,6	3	145,0	1	240000,0	1	1
	13	86,7	4	86,0	2	12000005,0	2	2
	14	145,3	6	102,7	2	12115,0	2	2
Total	272,5	56	106,6	19	1160011	19	18	
Jardim União II-02	1	131,5	6	191,8	3	65333,3	3	3
	2	162,6	5	151,0	2	120290,0	2	2
	3	100,4	4	40,0	1	120850,0	2	1
	4	137,9	6	68,0	2	1,0	2	2
	5	106,7	6	53,0	2	6655,0	2	2

	6	173,4	4		0		0	0
	7	61,4	3	32,0	1	240000,0	1	1
	8	74,4	4	66,7	1	6500,0	1	1
	9	98,3	3	51,7	1	10,0	1	1
	10	78,8	1	104,0	1	1300,0	1	1
	11	92,6	2		0		0	0
	12	129,2	2	75,0	1	240000,0	1	1
	13	74,4	4	56,9	2	345,0	2	2
	14	152,7	6	267,0	2	3810,0	2	2
	Total	112,4	56	96,4	19	67091,2	20	19
Marcos Freire	1	270,7	5	243,8	2	2000,0	2	2
	2	346,3	5	317,5	2	2150,0	2	2
	3	272,3	4		0	8,5	1	0
	4	367,9	6	223,5	2	4800,0	2	2
	5	318,0	6	269,5	2	100,0	2	2
	6	253,6	5	212,5	2	75,5	2	2
	7	234,0	1		0		0	0
	8	291,4	3	325,0	1	1100,0	1	1
	9	230,6	2		0		0	0
	10	294,5	1		0		0	0
	11	288,8	1		0		0	0
	12	336,5	1	275,0	1	4300,0	1	1
	13	130,4	4	61,7	1	130,0	1	1
	14	151,1	6	70,1	2	10,0	2	2
	Total	270,4	50	222,1	15	1467,4	16	15
Pequeno Mondubiim	1	49,2	5	31,0	1	160,0	1	1
	2	58,6	5	54,0	1	520,0	2	1
	3	47,1	4		0	260,0	1	0
	4	57,3	6	25,6	2	650030,5	2	2
	5	58,6	6	91,3	2	120000,5	2	2
	6	82,7	5	64,4	2	1350015,5	2	2
	7	36,8	3	23,0	1	2,0	1	1
	8	67,1	4	26,5	2	87,5	2	2
	9	69,7	3	60,0	1	1,0	1	1
	10	93,2	1	56,0	1	10,0	1	1
	11	85,6	1	76,2	1	10,0	1	1
	12	57,0	2		0		0	0
	13		0		0		0	0
	14		0		0		0	0
	Total	63,6	45	50,8	14	192827	16	14
Unidos Venceremos	1	225,6	4	220,0	2	112000000,0	2	2
	2	329,9	5	500,0	1	24000000,0	1	1
	3	166,8	4	180,0	1	17000000,0	2	1
	4	330,3	5	160,0	1	24000000,0	1	1
	5	248,0	4	208,0	2	25000000,0	2	2
	6	392,3	3		0		0	0
	7	135,9	2	152,0	1	24000000,0	1	1
	8	278,1	3		0		0	0

	9	189,6	2		0		0	0
	10	208,0	1		0		0	0
	11	183,5	1		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	101,2	4	103,5	2	1275,0	2	2
	14	204,7	6	338,0	2	15,0	2	2
	Total	230,3	44	232,7	12	28250161	13	12
Sítio Estrela	1	192,9	5	295,0	1	2600,0	1	1
	2	403,8	5	865,0	2	77,5	2	2
	3	120,9	4		0	5900,0	1	0
	4	213,6	6	188,5	2	565,0	2	2
	5	234,1	6	378,0	2	42875,0	2	2
	6	166,9	5	545,0	2	120006,0	2	2
	7	146,7	2		0		0	0
	8	180,3	3	405,0	1	3500,0	1	1
	9	233,8	2	230,0	1	33,0	1	1
	10	244,5	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	98,5	4	46,2	1	1000000,0	1	1
	14	223,2	6	287,0	2	1055,0	2	2
Total	204,9	49	360	14	117661,2	15	14	
Tancredo Neves	1	152,2	5	173,9	5	1052000,0	5	5
	2	229,3	5	228,7	5	1234000,0	5	5
	3	100,4	4	99,3	4	1487500,0	4	4
	4	193,6	6	118,6	6	2683341,8	6	6
	5	171,0	6	173,7	6	2203333,3	6	6
	6	239,7	5	204,1	5	926000,0	5	5
	7	158,0	3	174,0	3	2033333,3	3	3
	8		0		0		0	0
	9		0		0		0	0
	10		0		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13		0		0		0	0
	14		0		0		0	0
Total	177,7	34	167,5	34	1659929,8	34	34	
Dom Lorscheider	1	344,5	5	548,8	2	120050,0	2	2
	2	903,1	5	2535,0	2	3450,0	2	2
	3	357,6	4	976,0	1	160000,0	1	1
	4	471,5	6	360,0	2	19,0	2	2
	5	337,8	6	552,0	2	10503,2	2	2
	6	578,5	5	538,6	2	24550,0	2	2
	7	178,5	3	176,0	2	3100,5	2	2
	8	256,6	4	176,0	1	2400,0	1	1
	9	144,4	3	61,0	1	800,0	1	1
	10	211,2	1		0		0	0
	11		0		0		0	0

	12		0		0		0	0
	13		0		0		0	0
	14		0		0		0	0
	Total	378,4	42	658,2	15	36097	15	15
José Euclides	1		0		0		0	0
	2		0		0		0	0
	3		0		0		0	0
	4	34,6	2	20,4	2	208000,0	2	2
	5	53,4	6	28,9	6	2166836,2	6	6
	6	146,5	5	188,1	5	147,6	5	5
	7	79,6	3	84,6	3	11,0	3	3
	8	111,2	4	95,2	4	3,3	4	4
	9	86,1	5	110,3	6	15,6	6	5
	10	94,3	2	100,0	2	15,0	2	2
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	82,8	6	143,8	6	10,0	6	6
	14	125,8362	6	131,15	6	193,8333333	6	6
	Total	90,47936	39	100,2609	40	263914,7	40	39
São Domingos	1		0		0		0	0
	2		0		0		0	0
	3		0		0		0	0
	4		0		0		0	0
	5	549,7	6	3810,0	2	1100000,0	2	2
	6	481,4	4	240,0	1	6100000,0	1	1
	7	141,1	2	160,0	1	8200000,0	1	1
	8	186,7	4	126,7	1	4100000,0	1	1
	9	176,2	3	150,0	1	14000000,0	1	1
	10	270,6	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	117,4	6	95,2	2	2420000,0	2	2
	14	248,5	5	135,7	2	240000,0	2	2
	Total	271,4371	31	673,9286	10	5165714	10	10
24 de março	1	229,7	5	170,8	2	1200,5	2	2
	2	360,6	5	380,0	2	6200000,0	2	2
	3	365,3	3	404,0	1	1,0	1	1
	4	337,5	6	204,5	2	1250,0	2	2
	5	355,2	6	335,0	2	12120000,0	2	2
	6	340,1	5	332,5	2	750,5	2	2
	7	200,5	3		0		0	0
	8	273,7	3	220,0	2	8501200,0	2	2
	9	166,4	3	104,0	1	190000,0	1	1
	10	252,9	1	192,0	1	24000,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	125,8	4	94,0	1	210,0	1	1
	14	203,0	5	157,5	1	10,0	1	1

	Total	267,6	49	235,8	17	2458057	17	17
Barroso II	1	80,3	6	30,0	2	1800,0	2	2
	2	141,9	5	56,0	1	240000,0	1	1
	3	134,8	4		0	4400,0	1	0
	4	156,4	6	248,5	2	1,0	2	2
	5	208,8	5	246,0	2	7002,1	2	2
	6	160,5	5	418,0	2	1335,0	2	2
	7	109,0	3		0		0	0
	8	51,2	4	34,4	1	120000,5	2	1
	9	46,4	3	90,0	1	740,0	1	1
	10		0		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	32,6	4	5,7	1	48000,0	1	1
	14	32,4	6	8,8	2	120049,0	2	2
	Total	104,9	51	126,4	14	54332,8	16	14
Itaperussu	1	78,4	5	117,2	5	322020,0	5	5
	2	131,2	5	143,0	4	2412,0	4	4
	3	83,4	3	97,9	3	290,7	3	3
	4	121,3	6	170,8	6	3194,8	6	6
	5	136,1	6	174,1	6	85766,7	6	6
	6	162,7	5	243,0	5	19820,6	5	5
	7	104,6	4	172,0	4	37548,3	4	4
	8	94,1	4	240,0	4	627,3	4	4
	9	125,0	6	221,6	6	6718,5	6	6
	10	90,1	2	78,7	2	132000,0	2	2
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	145,0	6	207,7	6	40769,8	6	6
	14	206,4	6	385,3	6	563,3	6	6
	Total	123,2	58	187,6	57	54311	57	57
Passaré II	1	73,7	6	47,5	2	9003,2	2	2
	2	74,0	5	20,8	2	14,0	2	2
	3	83,6	4		0	29,5	2	0
	4	106,2	5	90,0	1	4955,0	2	1
	5	114,1	6	46,0	2	15550,0	2	2
	6	258,7	4	37,0	1	4,1	1	1
	7	219,2	3	275,4	2	16,5	2	2
	8	511,5	4	300,0	1	1,0	1	1
	9	282,0	2	590,0	1	940,0	1	1
	10	256,0	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13		0		0		0	0
	14		0		0		0	0
	Total	188,1	40	1877,6	12	3390,4	15	12
Soares Moreno	1	176,5	4	133,0	2	1200,5	2	2
	2	274,8	5	335,0	1	8200,0	2	1

	3	128,5	4	245,0	1	460,0	2	1
	4	351,3	6	706,7	2	1460,0	2	2
	5	172,2	6	124,0	2	120,5	2	2
	6	180,8	5	150,0	1	520,0	1	1
	7	123,4	3	110,0	1	31,0	1	1
	8	168,4	4	22,5	1	1,0	1	1
	9	163,8	2		0		0	0
	10	180,9	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	64,5	5	41,0	2	12210,0	2	2
	14	190,6	5	297,5	1	2800,0	1	1
	Total	181,3	50	216,5	14	2700,3	16	14
Campo dos Ingleses 01	1	271,6	6	253,3	2	3750,5	2	2
	2	310,1	5	204,0	1	1206,5	2	1
	3	211,7	4	120,0	2	100,5	2	2
	4	303,6	5	77,5	2	8505000,0	2	2
	5	265,4	6	409,2	2	1,0	2	2
	6	404,9	3	275,0	1	2300,0	1	1
	7	336,6	3	228,0	1		0	0
	8	350,7	4	140,0	1	7000,0	1	1
	9	273,6	3	82,0	1	20,0	1	1
	10	259,1	1	39,0	1	1,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	185,7	6	91,0	2	10,0	2	2
	14	281,9	6	138,8	2	12000005,0	2	2
	Total	287,9	52	171,5	18	1865400	18	17
Campo dos Ingleses 02	1	236,9	5	164,2	2	1,0	2	2
	2	292,7	5	186,0	1	1,0	2	1
	3	205,9	3	154,4	2	2603,8	2	2
	4	171,4	5	134,0	2	610,0	2	2
	5	167,2	6	77,0	2	205,5	2	2
	6	174,6	3	72,0	1	1,0	1	1
	7	170,6	3	120,0	1	69000,0	1	1
	8	119,6	3		0		0	0
	9	194,9	3	93,3	1	85,0	1	1
	10	70,4	1	120,0	1	10,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	130,0	6	77,8	2	42,0	2	2
	14	153,0	6	144,5	2	10000005,0	2	2
	Total	173,9423	49	122,0955	17	915687,7	18	17
Campo dos Ingleses 03	1	266,9	6	200,0	2	37,5	2	2
	2	252,3	5	124,0	1	1,0	2	1
	3	227,7	4	136,1	2	1,0	2	2
	4	331,1	5	414,0	2	1811,0	2	2
	5	273,0	6	72,0	2	46375,0	2	2

	6	306,9	3	220,0	1	6700,0	1	1
	7	309,4	3	150,0	1		0	0
	8	292,3	4	130,0	1	630,0	1	1
	9	230,8	3	74,0	1	10,0	1	1
	10	376,9	1	305,0	1	24000,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	195,5	6	109,4	2	10,0	2	2
	14	232,6	6	166,7	2	12000005,0	2	2
	Total	274,6	52	175,1	18	1098144	18	17
Campo dos Ingleses 04	1	214,3	6	160,3	2	2350,5	2	2
	2	267,5	5	307,5	1	70700,0	2	1
	3	240,5	4	204,0	1	17000,0	2	1
	4	196,8	6	206,8	2	120000,5	2	2
	5	186,3	5	300,0	1	850,0	1	1
	6	149,6	3	92,0	1	9,5	1	1
	7	172,4	3	70,0	1	10,0	1	1
	8	283,8	3		0		0	0
	9	134,1	3	68,0	1	1,0	1	1
	10	223,7	1	195,0	1	10,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	192,2	6	82,5	2	12000005,0	2	2
	14	156,7	6	119,5	2	12000005,0	2	2
	Total	201,5	51	164,1	15	2200995	17	15
Campo dos Ingleses 05	1	229,8	6	118,8	2	800,5	2	2
	2	270,5	5	745,0	1	636,5	2	1
	3	218,0	4	132,0	1	17,0	2	1
	4	212,0	6	105,0	2	120000,5	2	2
	5	194,0	5	176,0	1	1,0	1	1
	6	197,0	3	245,0	1	520,0	1	1
	7	216,4	3	84,0	1	2040,0	1	1
	8	244,4	4	76,0	1		0	0
	9	184,4	3	84,0	1	1100,0	1	1
	10	236,2	1	126,7	1	10,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	253,0	6	250,0	2	12000005,0	2	2
	14	274,8	6	204,2	2	9500005,0	2	2
	Total	227,5	52	195,6	16	1965921	17	15
Campo dos Ingleses 06	1	268,3	6	412,5	2	1,0	2	2
	2	221,7	5	167,5	1	7250,0	2	1
	3	250,3	4	140,0	1	2175,0	2	1
	4	247,9	6	284,0	2	6300,0	2	2
	5	239,6	5	228,0	1	240000,0	1	1
	6	249,2	3	84,0	1	520,0	1	1
	7	221,5	3	104,0	1	3300,0	1	1
	8	248,8	4	255,0	1		0	0

	9	206,9	3	84,0	1	39000,0	1	1
	10	236,2	1	120,0	1	2400,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	260,1	6	275,0	2	12000065,0	2	2
	14	257,2	6	194,4	2	12012000,0	2	2
	Total	242,3	52	195,7	16	2210274	17	15
Campo dos Ingleses 07	1	220,8	6	310,0	2	5500,5	2	2
	2	270,6	5	216,0	1	120425,0	2	1
	3	201,8	4	116,0	1	1851000,0	2	1
	4	219,5	6	298,0	2	2952,6	2	2
	5	221,8	5	126,0	1	240000,0	1	1
	6	415,6	3	106,0	1	2900,0	1	1
	7	262,6	3	120,0	1	8520,0	1	1
	8	271,2	4	160,0	1		0	0
	9	304,3	3	124,0	1	2400,0	1	1
	10	256,0	1	195,0	1	2400,0	1	1
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	284,5	6	329,2	2	12000005,0	2	2
	14	334,6	6	418,0	2	6,0	2	2
Total	271,9	52	209,8	16	1294192	17	15	
Aracapé II	1	104,8	6	90,0	2	850,5	2	2
	2	140,9	5	91,0	2	1900,5	2	2
	3	100,0	4	56,0	1	23,0	1	1
	4	161,7	6	75,2	2	1,0	2	2
	5	121,4	6	40,0	2	1500,5	2	2
	6	163,5	5	109,7	2	465,0	2	2
	7	56,6	3	27,2	2	1210,0	2	2
	8	140,3	4	78,6	1	1,0	1	1
	9	107,8	3	82,5	1	2000,0	1	1
	10	172,6	1		0		0	0
	11	117,9	1		0		0	0
	12	120,7	2	102,0	2	10,0	2	2
	13	103,6	6	103,8	2	5500100,0	2	1
	14	121,0	6	82,9	2	80,0	2	2
Total	123,7	58	78,2	21	459011,8	21	20	
Monte Libano	1	221,6	5	175,0	2	4400000,0	2	2
	2	371,0	5	2355,0	2	7800000,0	2	2
	3	371,8	4		0	2000000,0	1	0
	4	228,9	5	317,5	2	3100000,0	2	2
	5	217,1	6	465,9	2	2600000,0	2	2
	6	305,3	5	74,0	1	3000000,0	1	1
	7	130,9	3	110,7	2	150000,0	1	1
	8	154,0	4	76,0	1	3800000,0	1	1
	9	239,3	2	93,3	1	8700000,0	1	1
	10	185,1	1		0		0	0

	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	174,8	5	135,0	1	240000,0	1	1
	14	155,7	4	178,0	1	17000000,0	1	1
	Total	229,6	49	398	15	4799091	15	14
Ipaumirim	1	162,3	6	114,0	2	1200,5	2	2
	2	287,4	5	239,5	2	315,5	2	2
	3	146,0	4	86,0	1	180,0	1	1
	4	269,5	6	248,8	2	29220,0	2	2
	5	298,9	6	166,0	2	155,0	2	2
	6	311,8	5	260,0	2	3350,0	2	2
	7	145,6	3	104,0	2	133500,0	2	2
	8	387,8	4	98,0	1	860,0	1	1
	9	206,3	3	145,0	1	24000000,0	1	1
	10	321,7	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	145,0	6	198,8	2	15,0	2	2
	14	182,2	6	181,7	2	1155,0	2	2
	Total	238,7	55	167,4	19	2197268	19	19
Novo Renacer	1	90,0	4		0		0	0
	2	105,7	4		0		0	0
	3	126,6	2		0	170000,0	1	0
	4	37,7	6	56,5	2	2502,6	2	2
	5	46,9	6	26,7	2	42,6	2	2
	6	62,7	5	68,0	1	170000,0	1	1
	7	47,1	1	35,0	1	62,0	1	1
	8	46,3	3	23,7	1	1,0	1	1
	9	28,3	1		0		0	0
	10	120,3	1		0		0	0
	11		0		0		0	0
	12		0		0		0	0
	13	36,0	4	12,0	2	36,5	2	2
	14	54,2	5	15,5	1	440,0	1	1
	Total	66,8	42	33,9	10	42885,6	11	10