



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

NATÁLIA DAFNE SANTOS MARINHO SOUSA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DAS ETEs DE PALMAS – TO E DO
MONITORAMENTO DOS CORPOS RECEPTORES NOS ANOS 2016 E 2017**

**Palmas - TO
2018**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

NATÁLIA DAFNE SANTOS MARINHO SOUSA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DAS ETEs DE PALMAS – TO E DO
MONITORAMENTO DOS CORPOS RECEPTORES NOS ANOS 2016 E 2017**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientadora: Prof.^a Me. Adriana Soraya
Alexandria Monteiro

**Palmas - TO
2018**

Sousa, Natália Dafne Santos Marinho
Análise da eficiência das ETEs de Palmas – TO e do monitoramento dos corpos receptores nos anos 2016 e 2017/ Natália Dafne Santos Marinho – Palmas, 2018.
92 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação do Tocantins, *Campus* Palmas, 2018.

Orientador: Adriana Soraya Alexandria Monteiro

1. Eficiência de remoção. ETEs. Vazão de lançamento. Vazão de outorga
I. Análise da eficiência das ETEs de Palmas – TO e do monitoramento
dos corpos receptores nos anos 2016 e 2017.

NATÁLIA DAFNE SANTOS MARINHO SOUSA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DAS ETES DE PALMAS – TO E DO
MONITORAMENTO DOS CORPOS RECEPTORES NOS ANOS 2016 E 2017**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
IFTO – Campus Palmas

Dr. Alice Rocha de Souza
IFTO – Campus Palmas

Me. Claudia da Silva Aguiar Rezende
IFTO – Campus Palmas

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Eulina e Augusto.

Aos meus afilhados, Anne, Anna e Yan.

Ao meu avô, João Rodrigues Marinho (In memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus - meu rochedo e fortaleza -, a Jesus Eucarístico - minha paz e segurança -, ao Espírito Santo - meu guia e protetor -, à Nossa Senhora de Fátima, que intercedeu por mim quando eu mais precisei.

À Renovação Carismática Católica, especialmente ao Ministério Universidades Renovadas, que fez dos três últimos anos da graduação os mais abençoados da minha vida.

Aos meus pais e meu irmão, que são os maiores incentivadores e meus exemplos de vida. A eles minha eterna gratidão por serem meu alicerce e minha base de sustentação.

Aos meus afilhados, Anne Helen – que me ajudou diretamente nesse trabalho -, Anna Tássia e Yan Patrick, por serem minha força e paz nos momentos de cansaço e descrença.

Aos familiares e amigos que caminharam e torceram por mim durante essa jornada.

Às amigas Isabella, Ariadne, Hizadora e Laís, por compartilharem comigo os deveres desse trabalho.

Aos amigos e irmãos do GOU Lírio do Vale, por acreditarem que o anúncio de Deus também deve ser feito dentro das universidades. A proclamação da palavra de Deus, através desse grupo de oração, me deu força para prosseguir.

Aos meus colegas de curso, pelas noites em claro partilhadas e pelos dias de luta vencidos.

Aos incansáveis parceiros, Carlos e Luby, pela ajuda e carinho nos momentos de desespero. Agradeço pelas palavras de incentivo: “vai dar tudo certo”.

A minha querida orientadora, que muito além do apoio concedido nos estudos é um exemplo de vida, de fé e de profissional.

À Fundação Municipal de Meio Ambiente e ao Instituto Natureza do Tocantins por favorecer e facilitar o acesso ao conhecimento.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a eficiência dos processos de tratamento de esgoto implantados nas ETEs em operação de Palmas – TO, apresentando as características dos corpos receptores a montante e a jusante das estações nos anos de 2016 e 2017, associando à capacidade de vazão do sistema e os valores outorgados pelos órgãos ambientais, tendo como referência às Resoluções CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 e CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Os dados foram obtidos na Fundação Municipal de Meio Ambiente, através dos relatórios descritivos e de monitoramento fornecidos pelas concessionárias prestadoras de serviços de saneamento (SANEATINS, Odebrecht Ambiental/SANEATINS e BRK Ambiental), além dos relatórios da fiscalização de operação do sistema. Os dados analisados demonstram que a maioria das estações não atende integralmente ao que foi preconizado pela legislação em vigor, sendo necessárias intervenções tanto nos processos de tratamento quanto nos pontos de lançamento dos efluentes tratados. Entretanto, todo o efluente tratado atende a eficiência de remoção mínima de matéria orgânica estabelecida pela legislação vigente. Ademais, as vazões de lançamento estão de acordo com os valores outorgados para operação, com exceção da ETE Taquari.

Palavras-chave: Eficiência de remoção. ETEs. Vazão de lançamento. Vazão de outorga.

ABSTRACT

The present work address an analysis of the sewage treatment processes used in the ETEs operating at Palmas - TO, presenting the characteristics of the receivers bodies and the operation results of the period between 2016 and 2017, associating with the flow capacity of the system and the values granted by the environmental agencies, using as reference the Resolutions CONAMA nº 430, of May 13, 2011 and CONAMA nº 357, of March 17, 2005. The data were obtained from the municipal agency, through the monitoring reports provided by the sanitation services agency and from the reports of operation and inspection of the system. The data analyzed show that most stations don't work in accord with what was recommended, and interventions are necessary both in the treatment processes and in the launching points of the treated effluents. However, every treated effluent achieves the minimum removal efficiency established by current legislation. Besides that, the launch flows are in accordance with the values granted by the operation, except for the Taquari ETE.

Keywords: Efficiency of removal. ETEs. Flow at launch. Flow of grant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização das ETEs de Palmas (Fonte: Google Earth, 2017).	32
Figura 2 - Localização da ETE Aurenny (Fonte: FMA, 2017i).	33
Figura 3 - Localização da ETE Norte (Fonte: PALMAS, 2017d).....	34
Figura 4 - Localização da ETE Taquari (Fonte: Google Earth, 2017).	36
Figura 5 - Localização da ETE Santa Fé (Fonte: PALMAS, 2017h).....	37
Figura 6 - Localização da ETE Santa Bárbara (Fonte: Google Earth, 2017).	39
Figura 7 - Localização da ETE Prata (Fonte: Google Earth, 2017).	40
Figura 8 - Dados do monitoramento de pH na ETE Aurenny durante o período de estiagem...44	
Figura 9 - Dados do monitoramento de pH na ETE Aurenny durante o período chuvoso.	44
Figura 10 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Aurenny durante o período de estiagem.	44
Figura 11 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	45
Figura 12 - Dados do monitoramento de DBO ₅ na ETE Aurenny durante o período de estiagem.	45
Figura 13 - Dados do monitoramento de DBO ₅ na ETE Aurenny durante o período chuvoso.	46
Figura 14 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Aurenny durante o período de estiagem.	46
Figura 15 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	47
Figura 16 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	48
Figura 17 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	48
Figura 18 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	49
Figura 19 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	49
Figura 20 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	50
Figura 21 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	50
Figura 22 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Aurenny ...	50

Figura 23 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Aurenny ...	51
Figura 24 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	51
Figura 25 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	51
Figura 26 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	52
Figura 27 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	52
Figura 28 - Gráfico do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.	52
Figura 29 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.....	53
Figura 30 - Dados do monitoramento de pH da ETE Norte durante o período de estiagem....	53
Figura 31 - Dados do monitoramento de pH da ETE Norte durante o período chuvoso.	54
Figura 32 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Norte durante o período de estiagem.....	54
Figura 33 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Norte durante o período chuvoso.....	54
Figura 34 - Dados do monitoramento de DBO ₅ da ETE Norte durante o período de estiagem.	55
Figura 35 - Dados do monitoramento de DBO ₅ da ETE Norte durante o período chuvoso. ...	55
Figura 36 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Norte durante o período de estiagem.....	56
Figura 37 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Norte durante o período chuvoso.....	56
Figura 38 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.....	57
Figura 39 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.....	57
Figura 40 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Norte	57
Figura 41 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Norte.....	58
Figura 42 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.	58
Figura 43 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.....	59

Figura 44 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Norte.....	59
Figura 45 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Norte.....	60
Figura 46 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.....	60
Figura 47- Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.....	60
Figura 48 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.....	61
Figura 49 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.....	61
Figura 50 – Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.....	61
Figura 51 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.....	62
Figura 52 - Dados do monitoramento de pH da ETE Taquari durante o período de estiagem.....	62
Figura 53 - Dados do monitoramento de pH da ETE Taquari durante o período chuvoso.....	63
Figura 54 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Taquari durante o período de 63	63
Figura 55 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Taquari	64
Figura 56 - Dados do monitoramento de DBO ₅ da ETE Taquari durante o período de estiagem.....	64
Figura 57 - Dados do monitoramento de DBO ₅ da ETE Taquari durante o período chuvoso.....	64
Figura 58 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Taquari durante o período de estiagem....	65
Figura 59 - Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Taquari durante o período chuvoso.....	65
Figura 60 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Taquari durante	66
Figura 61 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Taquari	67
Figura 62 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.....	67
Figura 63 - Dados do monitoramento de DBO ₅ no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.....	68
Figura 64 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.....	68
Figura 65 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.....	69

Figura 66 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.	69
Figura 67 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.	70
Figura 68 – Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.	70
Figura 69 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.	70
Figura 70 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.	71
Figura 71 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.	71
Figura 72 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.	71
Figura 73 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.	72
Figura 74 – Dados do monitoramento de pH na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	72
Figura 75 - Dados do monitoramento de pH na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	73
Figura 76 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	73
Figura 77 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	73
Figura 78 - Dados do monitoramento de DBO ₅ na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	74
Figura 79 – Dados do monitoramento de DBO ₅ na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	74
Figura 80 – Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	75
Figura 81 – Dados da relação DQO/DBO ₅ na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	75
Figura 82 – Dados do monitoramento de nitrato na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	76
Figura 83 - Dados do monitoramento de nitrato na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	76

Figura 84 – Dados do monitoramento de Escherichia Coli na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período de estiagem.	77
Figura 85 - Dados do monitoramento de Escherichia Coli na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período chuvoso.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Condições de qualidade da água para corpos hídricos de Classe 2.....	20
Quadro 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados em corpos d'água.	22
Quadro 3 - Operações, processos e sistemas de tratamento frequentemente utilizados para remoção de poluentes dos esgotos domésticos.....	24
Quadro 4 - Principais características das ETEs em operação de Palmas	42
Quadro 5 - Eficiências médias reais e previstas de remoção de DBO ₅	78
Quadro 6 – Valores de DBO ₅ para a ETE Taquari e seu corpo receptor de efluentes	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FA - Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente

FMA - Fundação Municipal de Meio Ambiente de Palmas

ITB - Instituto Trata Brasil

Naturatins – Instituto Natureza do Tocantins

OD - Oxigênio Dissolvido

PBH - Plano da Bacia Hidrográfica

RLA - Reator de Lodo Ativado

SANEATINS – Companhia de Saneamento do Tocantins

SEGRH - Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

UASB - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

UHE – Usina Hidrelétrica

VR - Valores de Referências

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES NORMATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO E DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	17
3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE).....	21
4 TRATAMENTO DE ESGOTOS	24
5 PARÂMETROS DE QUALIDADE	27
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
6.1 Caracterização da área de estudo.....	31
6.2 Coleta de dados.....	32
6.2.1 ETE Aurenny	32
6.2.2 ETE Norte.....	34
6.2.3 ETE Taquari	35
6.2.4 ETE Santa Fé	37
6.2.5 ETE Santa Bárbara	38
6.2.6 ETE Prata.....	40
6.3 Análise dos dados	42
7 RESULTADOS	43
7.1 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Aurenny.....	43
7.2 Amostras do corpo receptor da ETE Aurenny.....	47
7.3 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Norte	53
7.4 Amostras do corpo receptor da ETE Norte	56
7.5 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Taquari	62
7.6 Amostras do corpo receptor da ETE Taquari	66
7.7 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Santa Fé.....	72
7.8 Análise dos piezômetros da ETE Santa Fé.....	75

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
9 CONCLUSÃO	82
10 RECOMENDAÇÕES.....	84
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	85

1 INTRODUÇÃO

O bem-estar social é um direito indispensável a cada cidadão. Garantia de padrões mínimos de educação, saúde e saneamento básico é uma responsabilidade pública. A Constituição Federal brasileira institui que todos têm direito a saneamento básico e que, conforme o art. 23, inciso IX, “é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios promover programas de melhorias das condições de saneamento básico” (BRASIL, 1988).

Com o crescimento da população e com os processos de urbanização se torna evidente a necessidade de investimentos em políticas que explorem os usos da água e que garantam a preservação do meio ambiente.

No Brasil, a Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2017a), chamada Lei do Saneamento Básico, foi instituída com o objetivo de universalizar os serviços de água e esgoto e assegurar o acesso a eles, com definições das competências das esferas federal, estadual, municipal e da participação de empresas privadas na atuação, prestação e gestão desses serviços.

Bassani (2005) aborda que as atividades antrópicas têm afetado a quantidade e a qualidade da água, o que por sua vez compromete a garantia de aproveitamento, presente e futuro, dos recursos hídricos, baseados no conceito de sustentabilidade hídrica.

Diante desse impacto, surge a preocupação com o desempenho dos sistemas de tratamento implantados nas cidades e com a caracterização dos corpos receptores. Uma gama de legislações ambientais, parâmetros, políticas e estudos procuram influir tanto na escolha de um tratamento adequado quando na seleção dos locais de lançamento exigidos para garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição destes efluentes tratados sejam minimizados.

O lançamento de efluentes de forma inadequada no meio ambiente provoca a contaminação do solo e dos cursos de água, além de contribuir para a proliferação de doenças resultando em problemas socioambientais com impactos na vida aquática, na saúde pública e em relação à degradação do meio ambiente.

A implantação de sistemas de esgotamento sanitário para assegurar a responsabilidade de se manter um sistema de gestão ambiental é prevista na Constituição Brasileira pelo cumprimento do que indica em seu art. 225:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para os presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988).

Vários fatores irão influenciar na escolha das opções tecnológicas de tratamento de esgotos nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e o desempenho final irá depender do tratamento adotado para uma determinada área. Além da avaliação do espaço físico disponível, analisa-se a qualidade desejada para o efluente tratado com base na vazão e na capacidade de autodepuração dos corpos receptores e a forma como serão destinados os resíduos gerados pelo tratamento adotado.

A cidade de Palmas tem se destacado nacionalmente em relação aos indicadores de tratamento de esgotos. Conforme apresenta o Instituto Trata Brasil (ITB), entidade que acompanha o desenvolvimento do saneamento no Brasil, a capital do Tocantins está à frente na região Norte com avanços significativos em relação à inovação nos processos de tratamento e com bom alinhamento com a infraestrutura municipal (ITB, 2017).

Assim, este trabalho busca analisar a eficiência dos processos de tratamento de esgoto implantados nas ETEs de Palmas – TO, apresentando as características dos corpos receptores a montante e a jusante das estações nos anos de 2016 e 2017, associando à capacidade de vazão do sistema e os valores outorgados pelos órgãos ambientais, tendo como referência às Resoluções CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 e CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

2 LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES NORMATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO E DOS RECURSOS HÍDRICOS

A primeira norma a ser seguida é a Constituição Federal. Nela, direitos e garantias fundamentais são colocados como competências a serem estabelecidas para assegurar saúde e qualidade de vida para população.

A base constitucional para a União legislar sobre saneamento básico está na Constituição Federal nos incisos IX e XX do art. 21 onde são delegadas responsabilidades de elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social; além de instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano e de saneamento básico (BRASIL, 1988).

Ainda no art. 21, inciso XIX, a Constituição coloca que compete à União instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso (BRASIL 1988). Esse texto regulamenta a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 2017b).

A Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, proporcionou significativa importância para a construção do desenvolvimento sustentável no Brasil, pois tem como objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2017b). Ainda, em seu art. 9º, a Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, visa “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes” (BRASIL, 2017b).

A Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2017a), que dispõe sobre as diretrizes para o saneamento básico no Brasil é uma lei infraconstitucional que determina que o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados nos processos de tratamento de água considerará uma análise de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários, conforme define o art. 44.

Assim, já é previsto que sejam estabelecidos parâmetros de lançamento de efluentes nos corpos hídricos receptores dos esgotos domésticos tratados nas estações.

Esses parâmetros são definidos pelas Resoluções do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c) e CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c), 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.

Essa Resolução dividiu as águas doces, salobras e salinas em classes, segundo condições e padrões de qualidade.

Em seu art. 4º, as águas doces são classificadas em:

Classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

Classe 3: águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

Classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

A classe do enquadramento de um corpo d'água deve ser definida em um pacto acordado pela sociedade, levando-se em conta as prioridades de uso da água. A discussão e o estabelecimento desse pacto ocorrem dentro do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH).

No Brasil, em diversos planos de bacias vêm sendo adotado o enquadramento dos corpos hídricos como pertencentes à Classe 2, por se tratar de uma classe intermediária em termos de qualidade, exigindo apenas tratamentos convencionais para o abastecimento humano, por exemplo (TOCANTINS, 2017a).

Destaca-se que em Palmas os pontos de monitoramento são poucos e concentrados o que dificulta sua utilização para o enquadramento, a identificação de problemas e alterações da qualidade dos mananciais. Dessa forma, percebe-se um risco neste procedimento, que apesar de legal, não mostra uma real situação de toda extensão das bacias e as constantes alterações a que estes corpos hídricos estão sujeitos.

Assim, no Plano da Bacia Hidrográfica (PBH) do entorno do Lago foi proposto para o município de Palmas um enquadramento dos corpos hídricos em classes de uso e conservação, no qual “os trechos primários da hidrografia, ou seja, das nascentes até a confluência com outro curso d’água serão enquadrados como Classe Especial, e o demais corpos hídricos desse sistema devem ser enquadrados, sem restrição, na Classe 2, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005” (TOCANTINS, 2017a).

Deste modo, todos os mananciais analisados neste trabalho serão considerados de Classe 2. O Quadro 1 apresenta os valores limites de alguns parâmetros que conferem condições de qualidade da água para corpos hídricos de Classe 2, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c).

Quadro 1– Condições de qualidade da água para corpos hídricos de Classe 2.

Parâmetros	Limite
pH	6 a 9
Oxigênio Dissolvido	Não inferior a 5 mg/L
DBO ₅ dias a 20°C	Até 5 mg/L
Nitrato	10 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Clorofila “a”	até 30 µg/L;
Fósforo total	até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2017c).

A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d) dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e determina em seu art. 3º que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento. O art. 12 relata que:

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. (BRASIL, 2017d, *online*).

As condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários definidas pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d) no art. 21 são: limites de pH que variam entre 5 e 9; temperatura deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) deve alcançar valor máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO₅, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2017d).

Outro instrumento que auxilia na gestão dos recursos hídricos é a Lei Estadual nº 1.307, de 22 de março de 2002 (TOCANTINS, 2017b) que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins. Dos arts. 8º, 9º e 10º da referida Lei, se tem a origem do Decreto nº 2.432, de 6 de junho de 2005 (TOCANTINS, 2017c) que regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos.

A Lei 1.307 de 22 de março de 2002 (TOCANTINS, 2017b) tem como uma das finalidades assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade e quantidade adequados aos respectivos usos.

Quanto à outorga e restrições de lançamento de efluentes, o art. 12 do Decreto nº 2.432, de 6 de junho de 2005 aborda que a outorga de direito de uso de recursos hídricos para lançamento de efluentes será emitida considerando a quantidade de água necessária à diluição da carga poluente, o limite de concentração dessa carga estabelecida pelo enquadramento e a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos (TOCANTINS, 2017c).

3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. Esses esgotos geralmente são lançados nos corpos de água e devem passar por tratamento para eliminar aparência e odor desagradáveis, além dos componentes que dificultam a sobrevivência dos seres aquáticos.

Eckenfelder (1970) apud Jordão e Pessoa (2005), apresenta um quadro de inconvenientes nos corpos de água causados pelo lançamento de esgotos não tratados.

Quadro 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados em corpos d'água.

1 - <i>Matérias orgânicas solúveis</i> : causam a depleção do oxigênio contido nos rios e estuários. O despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água em relação a um efluente normal;
2. <i>Matérias orgânicas solúveis</i> produzindo gostos e odores às fontes de abastecimento de água. Exemplos. Fenóis.
3. <i>Matérias tóxicas e íons de metais pesados</i> . Exemplos. Cianetos. Cobre, Zinco, Mercúrio, etc., geralmente o despejo desses materiais é sujeito a uma regulamentação estadual e federal; apresentam problemas de toxidez e transferência através da cadeia alimentar.
4. <i>Cor e turbidez</i> , indesejáveis do ponto de vista estético. Exigem trabalhos maiores as estações de tratamento d'água.
5. <i>Elementos nutritivos</i> (nitrogênio, fósforo) aumentam a eutrofização dos lagos e dos pântanos. Inaceitáveis nas áreas de lazer e recreação.
6. <i>Materiais refratários</i> . Exemplos. Formam espumas nos rios; não são removidos nos tratamentos convencionais.
7. <i>Óleo e materiais flutuantes</i> : os regulamentos exigem geralmente sua completa eliminação — indesejáveis esteticamente; interferem com a decomposição biológica.
8. <i>Ácidos e álcalis</i> : neutralização exigida pela maioria dos regulamentos; interferem com a decomposição biológica e com a vida aquática.
9. <i>Substâncias que produzem odores na atmosfera</i> : principalmente com a produção de sulfetos e gás sulfídrico.
10. <i>Matérias em suspensão</i> ; formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgotos.
11. <i>Temperatura</i> . Poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor de saturação).

Fonte: Adaptado de Eckenfelder (1970) apud Jordão e Pessoa (2005)

Von Sperling (2005) chama de autodepuração, o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Caso isso não aconteça, os poluentes componentes do esgoto doméstico consomem oxigênio em seu processo de decomposição, causando a mortalidade de peixes. Os nutrientes (fósforo e nitrogênio) presentes nesses despejos, quando em altas concentrações, ainda causam a proliferação excessiva de algas, o que também desequilibra o ecossistema local.

O tratamento recebido pelos esgotos deve ser tal que possibilite o corpo receptor ter capacidade de autodepuração que gerem condições de vida aquática e de uso benéfico da água.

La Rovere et. al. (2002) apud Lins (2010) define ETE como unidade ou estrutura projetada com o objetivo de tratar esgotos, no qual o homem, através de processos: físicos, químicos ou biológicos, simula ou intensifica as condições de autodepuração que ocorrem na natureza, mas dentro de uma área delimitada, onde supervisiona e exerce algum controle sobre os processos de depuração, antes de devolver o esgoto tratado ao meio ambiente.

As características das ETEs dependem de algumas condições prévias que devem ser atendidas: a classe do rio, estabelecida pelo enquadramento, que receberá o efluente final; as exigências legais de disposição e qualidade; as condições e capacidade de depuração do corpo receptor, além da definição da eficiência necessária para o tratamento (BASSANI, 2005).

No geral, a ETE deverá promover a remoção da matéria orgânica, sólidos em suspensão e os organismos patogênicos; também poderá remover nitrogênio e fósforo, compostos tóxicos e os compostos não-biodegradáveis (LIMA, 2011).

Os processos utilizados para tratamento de esgotos podem ser classificados como processos físicos, químicos e biológicos. Jordão e Pessoa (2005) abordam que os processos físicos de tratamento de esgotos são aqueles em que há a remoção de substâncias fisicamente separáveis dos líquidos, como sólidos grosseiros, sedimentares e flutuantes. Os autores ainda ressaltam que quaisquer outros processos em que há fenômenos físicos constituintes são considerados processos físicos, tal como a remoção da umidade, homogeneização e incineração do lodo; filtração, diluição e homogeneização dos esgotos.

Nos processos químicos são utilizados produtos químicos para a remoção de substâncias como fósforo, nitrogênio e organismos patogênicos. Geralmente, são utilizados juntamente com os processos físicos ou biológicos quando esses não são eficientes ao serem utilizados isoladamente.

Von Sperling (2005) descreve os métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica, como remoção de matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação. Nesse processo, a remoção é feita por meio da ação metabólica e da floculação de partículas em suspensão.

O Quadro 3 associa as operações e processos de tratamento de esgotos sanitários comumente utilizados aos poluentes mais encontrados.

Quadro 3 - Operações, processos e sistemas de tratamento frequentemente utilizados para remoção de poluentes dos esgotos domésticos.

Poluente	Operação, processo ou sistema de tratamento
Sólidos em suspensão	Gradeamento, remoção de areia, sedimentação e disposição no solo.
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização e variações, lodos ativados e variações, reatores aeróbicos com biofilmes, tratamento anaeróbio e disposição no solo.
Organismos patogênicos	Lagoas de maturação, disposição no solo, desinfecção com produtos químicos, desinfecção com radiação ultravioleta e membranas.
Nitrogênio	Nitrificação e desnitrificação biológica, lagoas de maturação e de alta taxa, disposição no solo e processos físico-químicos.
Fósforo	Remoção biológica, lagoas de maturação de alta taxa e processos físico-químicos.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2005)

4 TRATAMENTO DE ESGOTOS

Tratar esgoto significa remover e/ou reduzir a concentração de seus constituintes, tais como: sólidos em suspensão; material orgânico (biodegradável); nutrientes (principalmente nitrogênio, fósforo e potássio) e organismos patogênicos. O esgoto tratado pode ser aproveitado para diversos fins, inclusive na agricultura; desde que se enquadra nos padrões das normas legislativas (VAN HANDEL E LETTINGA, 1994). Os sistemas em evidência neste trabalho são os utilizados na área de estudo, as ETEs de Palmas.

4.1 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são utilizadas no tratamento de águas residuárias sujeitas a biodegradação, desde que estas não contenham substâncias tóxicas aos microrganismos envolvidos no processo, e possibilitem a obtenção de efluentes finais com qualidade para atender aos padrões estabelecidos para diferentes finalidades (SILVA, 1982).

Os principais fatores ambientais que afetam o desempenho de lagoas são: a temperatura, ação dos ventos, a insolação e a precipitação pluviométrica, portanto fenômenos meteorológicos que não são controlados pelo homem.

As lagoas de estabilização podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas e de maturação. As lagoas anaeróbias são escavações mais profundas, com profundidade útil variando na faixa de 3 a 5 metros, retendo os esgotos durante 4 a 6 dias. Nestas condições, garante-se a anaerobiose, uma vez que a penetração de luz e a sobrevivência de algas só são possíveis e de forma bastante limitada apenas em estreita camada superficial. Por outro lado, a taxa de aplicação de matéria orgânica é elevada, provocando o rápido esgotamento do oxigênio que por ventura esteja presente nos esgotos afluentes. Para as nossas condições de temperatura e para as demais anteriormente citadas, obtêm-se eficiências na remoção da DBO₅ dos esgotos da ordem de 40 % a 60 % (LÉO, 2008).

Como vantagens do emprego de sistemas de lagoas de estabilização podem ser listadas: o baixo custo de implantação do sistema, exceto se a área for muito valorizada ou se houver necessidade de substituição de solo; a operação é bastante simples, sendo bastante adequados para pequenas populações onde as companhias possuem menores recursos; o projeto é bastante simples e o terreno é reaproveitável. Como principais desvantagens podem ser listadas a exigência de áreas relativamente grandes, a presença de elevadas concentrações de algas no efluente final e a exalação de maus odores das lagoas anaeróbias (LÉO, 2008).

4.2 Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB)

Os sistemas com reator UASB associado a processos de pós-tratamento têm sido projetados e operados como sistemas de alta taxa (alta capacidade) para os processos aeróbios. Assim, o objetivo concentra-se na remoção de compostos carbonáceos e de sólidos para posterior tratamento aeróbio (GARCIA, 2016).

Os reatores UASB possuem fluxo vertical e ascendente e são constituídos de uma câmara com volume dimensionado para acomodação, na parte mais inferior, de um leito de lodo com composição de 40 a 100gST/L, e de uma camada de manta de lodo, formada acima do leito de lodo, composta por concentrações de sólidos baixas e crescimento bacteriano disperso (concentração em torno de 1% a 3%), um separador trifásico. O separador é responsável pela destinação do efluente líquido, que sai pelas laterais superiores do reator, pela deflexão dos gases gerados no processo de digestão da matéria orgânica, que são destinados à tubulação específica de coleta no centro do reator UASB e para interceptação das

partículas sólidas, de modo que estas percam energia e retornem para a camada de lodo. O esgoto afluente é distribuído por tubos instalados de modo a fornecer uma distribuição uniforme no interior do reator (CHERNICHARO, 2010).

O funcionamento do reator UASB se dá da seguinte maneira: o esgoto afluente entra continuamente pelo fundo do reator através de um sistema de distribuição, ascende pela manta de lodo onde ocorre a digestão anaeróbia, alcançando finalmente o decantador. Abaixo do decantador o esgoto e gás são separados (separador trifásico), garantindo a sedimentação de partículas, permitindo que o lodo retorne para a parte inferior do reator, e a captação do biogás (CHERNICHARO, 2010).

Segundo Chernicaró (2010), de forma geral, os reatores UASB apresentam vantagens em relação aos sistemas aeróbios, especialmente quando aplicados em regiões de clima tropical porque é um sistema compacto, com baixa produção de lodo e com baixo consumo de energia, além de custos de instalação e operação baixos, com eficiências de remoção de DBO e DQO consideráveis, na faixa de 65% a 75%. Por outro lado, possuem desvantagens como a possibilidade de emissão de odores desagradáveis, baixa capacidade de tolerância a cargas tóxicas e necessita de uma etapa de pós-tratamento.

4.3 Lodos ativados

O processo de lodos ativados basicamente na introdução da matéria orgânica em um tanque, onde uma cultura de bactérias aeróbias é mantida em suspensão, sob determinadas condições, de forma a degradar a matéria orgânica. Após um período pré-determinado de tempo, a mistura é encaminhada a um decantador secundário, onde o lodo é separado do esgoto tratado. Uma parte do lodo decantado retorna ao tanque de aeração para manter a concentração de microorganismos no tanque (SÃO PAULO, 2005).

As unidades componentes do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo são um tanque de aeração, também chamado de reator, um decantador secundário, recirculação do lodo e remoção do excesso de lodo produzido no reator. O efluente do pré-tratamento ou do tratamento primário e o lodo de recirculação, são conduzidos para o tanque de aeração, onde é feita a aeração e mistura. Neste tanque ocorrem as reações de remoção de substrato. No decantador secundário ocorre a sedimentação de sólidos (biomassa), resultando na saída do efluente clarificado. A maior parte do lodo sedimentado no fundo do decantador secundário é recirculada ao tanque de aeração. A parcela residual do lodo (lodo excedente) é escoada para tratamento e/ou destinação final. A recirculação do lodo excedente garante elevada eficiência

ao processo, devido à permanência dos sólidos em tempo superior à permanência da massa líquida, permitindo que a biomassa ativa metabolize praticamente toda a matéria orgânica do esgoto (VON SPERLING, 1997).

Segundo Von Sperling (2005), o sistema de lodos ativados possui diversas variantes. Neste enfoque, eles podem ser classificados em:

- De acordo com a idade de lodo ou relação: Lodos ativados convencional: idade de lodo reduzida (entre 4 e 10 dias) e aeração prolongada: idade de lodo elevada (entre 18 e 30 dias).
- De acordo com o fluxo: Fluxo contínuo e fluxo intermitente (reator em bateladas sequenciais);
- De acordo com os objetivos do tratamento: remoção de carbono (DBO₅) e remoção de carbono e nutrientes (nitrogênio e/ou fósforo).

4.4 Flotação com ar dissolvido

A flotação pode ser definida como sendo um processo de separação de partículas sólidas ou líquidas de uma fase líquida através da utilização de bolhas de gás, normalmente o ar. Tais bolhas, aderindo à superfície das partículas, aumentam seu empuxo, provocando assim a ascensão das mesmas em direção à superfície da fase líquida, onde são devidamente coletadas após atingirem concentração adequada (LÉO, 2008).

Um sistema de flotação por ar dissolvido é composto por uma câmara de saturação de ar e por um tanque de flotação. Como a solubilidade do ar na água decresce com o aumento da concentração de sólidos, é comum o emprego do chamado sistema com recirculação em que, ao invés de se pressurizar o ar no próprio efluente a ser tratado, ele é dissolvido no efluente final, após a flotação e recirculado para a entrada da câmara de flotação, misturando-se com o fluxo do efluente da coagulação e floculação (LÉO, 2008).

5 PARÂMETROS DE QUALIDADE

Parâmetros de qualidade são grandezas que indicam as características da água e são de interesse para o tratamento de esgotos em relação às exigências legais de projeto, operação e avaliação do desempenho das ETEs. Os parâmetros abordados nesse tópico são os que foram objeto de estudo neste trabalho.

O pH é um parâmetro de qualidade importante no controle operacional nas ETEs principalmente na digestão anaeróbia e nos processos oxidativos (JORDÃO E PESSOA,

2005). Indica uma intensidade de acidez, neutralidade ou alcalinidade presente na amostra. Nos processos biológicos de tratamento, o pH é crítico para o desenvolvimento de microrganismos. Muitos processos químicos utilizados para coagular esgotos e despejos, adensar lodos ou oxidar substâncias requerem o controle de pH, como frisa HOBI (2005).

O pH é importante em diversas etapas do tratamento da água (coagulação, desinfecção, controle da corrosividade, remoção da dureza). Quanto aos resultados, valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (VON SPERLING, 1996). No geral, valores de pH menores que sete, indicam condições ácidas para o corpo de água, enquanto valores maiores que sete estão associados a condições básicas.

Em termos de tratamento de águas residuárias, valores de pH afastados da neutralidade tendem a afetar as taxas de crescimento dos microrganismos; ademais, a variação do pH influencia o equilíbrio de compostos químicos e valores de pH elevados possibilitam a precipitação de metais.

Em termos de corpos d'água, valores elevados podem estar associados à proliferação de algas; elevados ou baixos podem ser indicativos da presença de efluentes industriais. A variação do pH influencia o equilíbrio de compostos químicos.

A temperatura costuma variar conforme as estações do ano e influencia na atividade microbiana com aumento da taxa das reações físicas, químicas e biológicas com o aumento de temperatura. As elevações desse parâmetro também diminuem a solubilidade dos gases, como no caso do OD e aumentam a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis.

A DBO₅ é um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água e retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea presente em uma amostra, após um tempo dado, tomado para efeito de comparação em cinco dias, e a uma temperatura de 20°C.

A quantidade de matéria orgânica presente indicada pela determinação da DBO₅ é importante para conhecer-se o grau de poluição de uma água residuária, para se dimensionar as estações de tratamento de esgotos e medir sua eficiência, considerando o esgoto afluente e o esgoto tratado. Quanto maior o grau de poluição orgânica, maior a DBO₅ do corpo d'água; paralelamente, à medida que ocorre a estabilização da matéria orgânica, decresce a DBO₅.

A DQO corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável pelo dicromato de potássio em solução ácida.

Existe uma relação de DQO/DBO₅ nos esgotos da ordem de 1,7 a 2,5 (JORDÃO E PESSOA, 2005), o valor dessa relação pode indicar a possível presença de efluentes industriais na amostra analisada.

Para um dado efluente, se a relação DQO/DBO₅ < 2,5, o mesmo é facilmente biodegradável. Se a relação $5,0 < \text{DQO/DBO}_5 \leq 2,5$, este efluente irá exigir cuidados na escolha do processo biológico para que se tenha uma remoção desejável de carga orgânica, e se DQO/DBO₅ > 5, então o processo biológico tem muito pouca chance de sucesso, e a oxidação química aparece como um processo alternativo (JARDIM e CANELA, 2004).

O parâmetro oxigênio dissolvido é de fundamental importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbias (ausência de oxigênio) com geração de maus odores.

O oxigênio dissolvido considera uma concentração de saturação de água que é função da temperatura, da salinidade e da altitude (JORDÃO E PESSOA, 2005).

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica através das concentrações iônicas e depende da temperatura. Este parâmetro indica a quantidade de sais, minerais ácidos e contaminantes lançados na água. Portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes, já que em ambientes naturais, a condutividade mostra valores extremamente baixos. Em geral, níveis superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados.

Zillmer et al, (2007), mencionam que os íons responsáveis pelos valores de condutividade são chamados de micronutrientes tais como cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto.

O nitrogênio se alterna entre várias formas e estados de oxidação, onde a oxidação da amônia gera nitrito e em seguida o nitrito gera nitrato.

O nitrogênio amoniacal indica dejetos recentes de origem animal e vegetal. Mede o nitrogênio sob a forma de hidróxido de amônia e sais amoniacais. À medida que o esgoto vai sendo tratado, cai o teor de nitrogênio amoniacal.

O nitrogênio na forma de nitrito é muito instável no esgoto e oxidam-se facilmente para a forma de nitrato; sua presença indica uma poluição já antiga.

O nitrato é a forma final de uma estabilização e podem ser utilizados por algas ou por outras plantas para formar proteínas, que por sua vez podem ser utilizadas por animais para formar proteína animal. A decomposição e morte da proteína animal pela ação das bactérias geram o nitrogênio amoniacal e o ciclo se completa.

O nitrogênio é necessário ao desenvolvimento dos processos biológicos aeróbios; seu lançamento em quantidades excessivas nos corpos de água gera a eutrofização, que vem a ser o crescimento excessivo de algas. Nesse caso surge a necessidade de efetuar-se a remoção de nitrogênio, com tratamento terciário. Assim como o nitrogênio, o fósforo é essencial para o crescimento de algas, que contribuem para a estabilização da matéria orgânica, mas, em excesso, causam a eutrofização. Nesse caso surge a necessidade de efetuar-se a remoção desses nutrientes com tratamento terciário.

Para estimar a concentração do fitoplâncton nos pontos de lançamento de efluentes, quantifica-se o parâmetro clorofila “a”, que é um dos pigmentos que torna possível a fotossíntese para as algas e plantas.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho é dividida em duas etapas e tem caráter quantitativo e qualitativo.

A primeira etapa se conduz através de levantamentos bibliográficos, abrangendo livros, revistas, documentos, dissertações, teses, artigos e publicações para caracterizar a área de estudo e observar o que preconiza as leis e órgãos fiscalizadores.

A segunda consiste em um levantamento e coleta de dados das estações de tratamento de esgoto de Palmas de forma a conhecer a realidade operacional e se fazer um diagnóstico da eficiência dos processos de tratamento com base no que preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Também serão levantados dados da situação dos corpos de água nos pontos de lançamentos de efluentes, a montante e a jusante, a fim de que seja caracterizado e feito um diagnóstico tendo como parâmetro os valores estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

Os dados serão apresentados em forma de quadros, gráficos e mapas de identificação arranjados por meio de recursos computacionais.

6.1 Caracterização da área de estudo

O município de Palmas está localizado na região central do Estado do Tocantins, às margens do lago da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães (UHE Lajeado).

O clima predominante da cidade é o clima tropical e temperatura média anual de 26°C. A média das máximas é 36°C e ocorre em setembro, enquanto a mínima é 22°C e ocorre em julho (PALMAS, 2014a).

De maneira geral, o município de Palmas é composto por duas bacias hidrográficas, a bacia do Rio Balsas, a leste; e a bacia do Rio Tocantins, a oeste, sendo esta última a principal.

Os mananciais que abrangem a zona urbana do município (região norte, sede e região sul) são afluentes diretos ao rio Tocantins. São eles: Córrego Água Fria, Córrego Sussuapara, Córrego Brejo Comprido, Córrego do Prata, Taquaruçu Grande e Taquari.

A região sul tem ainda os córregos Cipó e Pé do Morro. No distrito de Taquaruçu, o Córrego Roncador corta a zona urbana como o principal curso d'água (PALMAS, 2014b).

O sistema de esgotamento sanitário de Palmas atende apenas a sede municipal, representando 50,3% da população urbana do município, sendo que, deste montante, 100% do volume coletado é tratado. Já os distritos de Buritirana e Taquaruçu não possuem sistema de esgotamento sanitário (PALMAS, 2014c). Palmas se destaca contrapondo à Região Norte do Brasil onde menos de 10% do esgoto é coletado (ITB, 2017).

O Instituto Trata Brasil deu à Palmas o reconhecimento de cidade com maior investimento per capita em saneamento, bem como declarou a capital do Tocantins como a que mais avançou no quesito da ampliação da cobertura com redes de esgoto (ITB, 2017).

O município de Palmas tem instalado atualmente seis estações de tratamento de esgotos, sendo que dessas, somente quatro estão em operação: ETE Aurenny, ETE Norte, ETE Taquari e ETE Santa Fé; a estação do setor Santa Bárbara está funcionando somente como estação elevatória de esgoto e a ETE Prata foi desativada no final do ano de 2017.

A Figura 1 apresenta a localização das ETES em relação a cidade de Palmas.



Figura 1 - Localização das ETEs de Palmas (Fonte: Google Earth, 2017).

6.2 Coleta de dados

Os dados de caracterização das ETEs apresentados a seguir foram obtidos através de consultas aos relatórios da empresa concessionária de saneamento de Palmas que são disponibilizados na Fundação Municipal de Meio Ambiente de Palmas (FMA), juntamente com os relatórios de monitoramento e fiscalização realizados pelo órgão, que são de cunho público.

Os relatórios são provenientes das análises, pareceres e documentação das empresas de tratamento de esgotos que atuaram desde a instalação das ETEs. São elas: Companhia de Saneamento do Tocantins - SANEATINS (até o ano de 2011), Odebrecht Ambiental/SANEATINS (2011 a 2017) e BRK Ambiental (empresa que está à frente dos serviços desde abril de 2017).

6.2.1 ETE Aurenny

6.2.1.1 Localização

A ETE Aurenny está localizada próxima a ponte sobre o Ribeirão Taquaruçu, no setor Aurenny III, próximo ao setor Berthaville, no Plano Diretor Sul (Figura 2) nas

coordenadas 793.283.00 m E e 8.860.888.00 m S. Nessa imagem, também se pode observar onde está situado o ponto de lançamento dos efluentes tratados (coordenadas 792.882.00 m E e 8.861.269.00 m S) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Lajeado e os pontos a montante (coordenadas 793.827.00 m E e 8.861.789.00 m S) e a jusante (coordenadas 792.106.00 m E e 8.861.495.00 m S) da estação onde são coletados dados para análise do corpo receptor. A estação atende aos bairros Aurenny I, II, III e setor Berthaville.



Figura 2 - Localização da ETE Aurenny (Fonte: FMA, 2017i).

A ETE Aurenny está localizada na microbacia do Ribeirão Taquaruçu Grande. Nesta bacia, a montante da ETE Aurenny, também é feita a captação de água (vazão de captação de 700 L/s) que abastece parte do centro de Palmas, Taquaralto e os bairros Aurenny I, II e III.

6.2.1.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

A ETE Aurenny recebia para tratamento os esgotos dos caminhões limpa fossa que descarregavam o líquido antes do tratamento preliminar em uma lagoa. Porém, a lagoa de sedimentação foi desativada em 2015 e o ponto de despejo foi reestruturado de forma a reduzir o contato com o esgoto bruto e a incidência de gases no ambiente. Contudo, os dejetos continuam sendo lançados na mesma etapa de tratamento, juntamente com o efluente bruto que será tratado na estação.

6.2.1.3 Condições atuais

A ETE Aurenny atua com tratamento biológico através de lagoas de estabilização e tratamento terciário através de flotação.

6.2.2 ETE Norte

6.2.2.1 Localização

A ETE Norte está localizada no extremo norte de Palmas, ao lado do Polinésia – Residence Resort (coordenadas 789.394.00 m E e 8.887.064.00 m S) e é a principal unidade de tratamento da cidade, atendendo às bacias do Brejo Cumprido, Sussuapara e Água Fria. A Figura 3 mostra a localização da estação e o ponto de lançamento de esgotos no lago (coordenadas 789.833.00 m E e 8.876.255.00 m S), assim como os pontos de montante (coordenadas 790.766.00 m E e 8.876.753.00 m S) e jusante (coordenadas 789.365.00 m E e 8.876.326.00 m S) onde o corpo receptor é analisado.



Figura 3 - Localização da ETE Norte (Fonte: PALMAS, 2017d).

6.2.2.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

Até 2013 a ETE Norte recebia uma vazão média de 140 L/s operando com tratamento primário por reator anaeróbico de fluxo ascendente (Reator UASB) e tratamento secundário com lagoa aerada. Foi feito um estudo com definição de módulos, no qual a estação operaria inicialmente com dois módulos, até atingir o quarto módulo, com uma capacidade de 440 L/s.

O antigo módulo da ETE Norte (com capacidade para 140 L/s), devido a ampliação da estação, teve sua vazão progressivamente reduzida, sendo a redução de 40 L/s (no ano de 2014), com previsão de redução de mais 30 L/s (no ano de 2022). A partir de então manterá até o final de plano a sua capacidade de 70 L/s (PALMAS, 2014c).

6.2.2.3 Condições atuais

A ETE Norte tem como tecnologias de tratamento um reator anaeróbio de fluxo ascendente, um reator UASB e conta com lodos ativados com remoção biológica de nutrientes. Atualmente, a estação possui dois módulos construídos e em operação, com capacidade de tratamento de até 220 L/s. (PALMAS, 2017d).

Com dois módulos de 110 L/s em operação e com as reduções apresentadas no antigo sistema de tratamento da ETE, considerando o crescimento da contribuição de esgoto ao longo do projeto, o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Palmas previu a ampliação do sistema de tratamento pela construção de mais dois módulos com capacidade para 110 L/s cada, o primeiro no ano de 2020, e o segundo no ano de 2027. Assim, a vazão final da estação até o horizonte de projeto será de 510 L/s: quatro módulos de 110 L/s mais a ETE antiga com vazão reduzida para 70 L/s.

Atualmente, estima-se que a estação trata uma vazão de 220 L/s de esgoto, sendo que destes, 40 L/s são provenientes do efluente que era tratado na ETE Prata, devido à sua desativação, e passou a ser encaminhado para a ETE Norte. Entretanto, os documentos oficiais da ANA mencionam 150 L/s mais a contribuição de 40 L/s da ETE Prata, totalizando 190 L/s (ANA, 2018).

6.2.3 ETE Taquari

6.2.3.1 Localização

A ETE Taquari, localizada na bacia do córrego Taquari, foi inaugurada em novembro de 2015 e atende ao setor Taquari, setor Santa Bárbara, parte de Taquaralto e aos setores Sol Nascente, Setor Sul e Bela Vista.

A Figura 4 apresenta a localização da ETE Taquari, o ponto de lançamento de efluentes tratados (coordenadas 789.374.00 m E e 8.854.193.00 m S) e apresenta os pontos de jusante e montante onde são obtidos os resultados dos parâmetros que versam a qualidade da água do corpo receptor em que são lançados os efluentes tratados da ETE Taquari.



Figura 4 - Localização da ETE Taquari (Fonte: Google Earth, 2017).

6.2.3.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

Em etapa imediata foi prevista a instalação de uma ETE com capacidade de 20L/s (vazão média), composta por duas unidades compactas, cada uma com capacidade de 10 L/s e com vazão máxima de projeto chegando a 46,31 L/s, tendo como corpo receptor do efluente tratado o córrego Taquari.

O sistema de tratamentos projetado atua com tratamento primário feito por reator UASB seguido de tratamento secundário por lodos ativado e tratamento terciário com desinfecção (PALMAS, 2013f).

Em uma vistoria da FMA, no mês de setembro de 2016, foi constatada a ausência de sistema de medição de volume de material na entrada do esgoto bruto, no entanto, o órgão concluiu já nessa visita, mesmo sem a efetuação da medição de vazão do corpo hídrico, que volume de água do córrego Taquari estava baixo.

6.2.3.3 Condições atuais

A ETE, apesar de no projeto constar duas unidades, tem-se apenas uma instalada, com capacidade média de tratamento de 10 L/s.

Atualmente, a estação se encontra em operação sendo realizado o tratamento primário através de reator UASB, tratamento secundário por Reator de Lodo Ativado (RLA) e tanque de decantação com recirculação de lodo para o RLA, sendo o tratamento terciário, um tanque de contato para desinfecção (PALMAS, 2016e).

6.2.4 ETE Santa Fé

6.2.4.1 Localização

A Estação de Tratamento de Esgoto Santa Fé se localiza na Região Sul de Palmas, na bacia Santa Fé e atende os bairros Maria Rosa, Belo Vale, Morada do Sol I, II e II, Vale do Sol, Santa Fé e Setor Canaã. A vista da estação (coordenadas 798.231.00 m E e 8.857.790.00 m S) e a área de disposição do efluente tratado estão apresentados na Figura 5.



Figura 5 - Localização da ETE Santa Fé (Fonte: PALMAS, 2017h).

6.2.4.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

Foi prevista a instalação de uma ETE com capacidade de 20L/s (vazão média), composta por duas unidades compactas, cada uma com capacidade de 10 L/s.

O sistema de tratamentos projetado atua com tratamento primário feito por reator UASB seguido de tratamento secundário por RLA e tratamento terciário com desinfecção, cuja função é a remoção de compostos orgânicos, nitrogênio e amônia na forma solúvel, contribuindo para uma eficiência global de remoção de DBO_5 superior a 90% (PALMAS, 2013g).

Foi instalada uma estação elevatória dentro da área da ETE com função inicial de alimentar o sistema e com previsão futura para encaminhar todo o esgoto coletado nessa região para a ETE Aurenny.

O pós-tratamento foi previsto com sistema de disposição no solo constituído por valas de infiltração, seguidas de bacias de infiltração. Com isso, ocorre o tratamento adicional do esgoto, quando o fluxo do efluente escoar através do solo, onde ocorrem fenômenos físicos

e químicos como filtração, adsorção, a troca catiônica e as várias reações microbiológicas e bioquímicas (PALMAS, 2017h).

A área de disposição de efluentes da ETE Santa Fé foi projetada para receber uma vazão aplicada de 25 L/s com frequência de aplicação diária. O solo da área de infiltração é do tipo latossolo vermelho amarelo com declividade média da área de 3%. Considerando a vazão média afluyente atual que a estação recebe de 10 L/s, os relatórios da FMA apresentam que de acordo com a área disponível tem-se uma capacidade de infiltração que excede 17% da vazão de entrada, fazendo o que o sistema de disposição no solo seja apto para destinação final do efluente tratado.

6.2.4.3 Condições atuais

Em 2016 foi realizada a duplicação das unidades de tratamento do sistema Santa Fé (Reator UASB, RLA e decantador) e foram instaladas dez valas de infiltração separadas por barreiras de contenção, devido ao fato dos efluentes estarem percorrendo caminhos preferenciais e represando.

6.2.5 ETE Santa Bárbara

6.2.5.1 Localização

Com uma capacidade de tratamento de 20 L/s, a ETE Santa Bárbara foi instalada para atender o setor com o mesmo nome, parte de Taquaralto e os setores Sol Nascente, Setor Sul e Bela Vista. A Figura 6 apresenta a localização da ETE Santa Bárbara (coordenadas 792.784.00 m E e 8.854.365.00 m S) e o ponto onde era feito o lançamento dos efluentes tratados quando a estação estava em operação.



Figura 6 - Localização da ETE Santa Bárbara (Fonte: Google Earth, 2017).

6.2.5.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

A ETE Santa Bárbara foi projetada assim como as ETEs Taquari e Santa Fé, com um sistema compacto para fazer o tratamento dos esgotos coletados, tendo como corpo receptor do efluente tratado o córrego Santa Bárbara. Foi instalada uma estação elevatória dentro da área da ETE com função inicial de alimentar o sistema e com previsão futura para encaminhar todo o esgoto coletado nessa região por recalque para ETE Taquari.

6.2.5.3 Condições atuais

A ETE só dispõe de uma unidade instalada com capacidade para tratar 10 L/s. No entanto, a estrutura está desativada desde o mês de agosto de 2016, já que o corpo receptor da ETE Santa Bárbara, o córrego Santa Bárbara, não apresentava vazão suficiente para garantir a autodepuração do córrego causada pelo lançamento dos efluentes tratados.

Devido à estação não estar em operação, hoje os efluentes coletados na bacia de contribuição são transpostos por meio de estação elevatória para a ETE Taquari, que lança os efluentes tratados no córrego Taquari, o qual também apresenta declínio de vazão, principalmente no período de estiagem. Portanto, devido a este fato, encontra-se em obras a instalação de uma linha de recalque rede de esgoto, onde os efluentes destinados a ETE Santa Bárbara serão encaminhados a ETE Aureny.

A outorga de direito de uso de recursos hídricos da ETE Aureny foi concedida pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da Resolução nº 458, de 08 de julho de 2009, com validade até 3 de julho de 2020(ANA, 2018).

Conforme o volume da área de influência da ETE Aurenny e das características de trabalho, a outorga de lançamento de efluentes da ETE Aurenny é de $1.560.506 \text{ m}^3$, com vazão média de 49,44 L/s. A vazão média de operação desta ETE atual é de 34,27 L/s. Assim, após a interligação da ETE Santa Bárbara, que contribuirá com 6,71 L/s, a vazão de lançamento será de 40,98 L/s (PALMAS, 2017h).

Para ocorrer a transferência da vazão afluyente de uma ETE para outra, foi necessário um estudo para verificar se a ETE Taquari tinha capacidade de receber os efluentes do sistema Santa Bárbara. Como a vazão a ser transposta na época do projeto era de 5 L/s e a vazão da ETE Taquari é de 4,37 L/s, a vazão total de 9,37 L/s atendia ao limite estabelecido pelo sistema em funcionamento na ETE Taquari, que é de 10 L/s. No entanto, com o aumento da vazão de lançamento da ETE Santa Bárbara, atualmente 6,71 L/s, a vazão total de lançamento de efluentes da ETE Taquari ultrapassou o limite de outorga, passando a ser de 11,08 L/s.

6.2.6 ETE Prata

6.2.6.1 Localização

A estação de tratamento de esgoto Prata está localizada entre as quadras 607 Sul e 709 Sul, próximo à Avenida LO-15, no Plano Diretor Sul (coordenadas 790.171.00 m E e 8.868.486.00 m S). A localização da estação e o ponto onde era feito o lançamento dos efluentes tratados é mostrada na Figura 7.



Figura 7 - Localização da ETE Prata (Fonte: Google Earth, 2017).

6.2.6.2 Sistema planejado e modificações ao longo do tempo

A ETE Prata entrou em operação em 2001 e passou por algumas modificações. De início, a ETE era composta por tratamento primário feito por reator UASB e tendo como pós-

tratamento filtro anaeróbio com uma capacidade instalada prevista para atender 50.000 habitantes até o ano de 2020. A vazão média afluyente considerada para o dimensionamento do reator UASB foi de aproximadamente 109 L/s (PALMAS, 2017i). Como as características do efluente dessa unidade não atendem a legislação ambiental quanto ao percentual de matéria orgânica e oxigênio dissolvido, era usado um Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente (FA) em seguida.

Posteriormente foi implantado na estação um flotador por ar dissolvido para que o tratamento físico químico complementasse o biológico em suas desvantagens, conforme apresenta o relatório de outorga de direito de uso de recursos hídricos para lançamento de efluente feito pela SANEATINS em 2010(PALMAS, 2010j).

A estação também já atuou com leito de secagem e com centrífugas para desidratação do lodo e em alguns períodos de estiagem, realizou a disposição dos efluentes tratados em uma área de solo próxima a estação. No entanto, relatórios de monitoramento ambiental de 2015 e 2016 realizados pela FMA condenaram esse ato, prescrevendo como recomendação que a disposição do efluente sobre o solo fosse cessada, devido ao efeito nocivo deste procedimento tanto a vegetação local quanto ao manancial.

6.2.6.3 Condições atuais

A ETE Prata é composta por reator UASB e tratamento terciário através de flotação, com capacidade para de operar com uma vazão de lançamento de até 70 L/s. No entanto, a estação se encontra desativada, visto que foi constatado que o corpo receptor, desde que a estação entrou em operação, não tinha condições de atender o lançamento de efluentes com baixos valores de oxigênio dissolvido e elevadas concentrações de fósforo total, produto dos processos de tratamento implantados nesta unidade, além de ter vazão de lançamento de 39,99 L/s superior ao limite firmado em termo de compromisso com o órgão responsável para o córrego Prata que é de 29 L/s.

O plano de desmobilização da ETE Prata foi feito e no estudo, foi proposto que após a desativação, haja um monitoramento de dois anos do corpo receptor, o córrego Prata, com a finalidade de avaliar as condições físico-químicas e bacteriológicas deste.

As atividades de tratamento e lançamento de efluentes da ETE Prata foram encerradas em 29 de dezembro de 2017. Em decorrência de tal fato, a estação passou a funcionar somente com uma estação elevatória de esgoto, com integração do sistema da sub-

bacia de esgotamento sanitário da ETE Prata, recalcando o esgoto bruto para tratamento no sistema da ETE Norte.

Alves (2016), em seu estudo sobre a ETE Prata durante o ano de 2015, concluiu que o córrego Prata se enquadraria nas Classes 2 e 3, as vezes até na Classe 4, não atendendo à classificação instituída no Plano de Bacias para o lago de Palmas (Classe 2).

O Quadro 4 apresenta as principais características das ETEs em operação em Palmas.

Quadro 4 - Principais características das ETEs em operação de Palmas

ETE	Método de tratamento	Corpo receptor	Vazão	
			Outorgável	Lançamento
Aureny	Lagoas de estabilização	Reservatório da UHE de Lajeado	49,44 L/s	34,27 L/s
	Flotador por ar dissolvido			
Norte	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	Reservatório da UHE de Lajeado	220 L/s	190 L/s
	Lodo Ativado			
Taquari	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	Córrego Taquari	10 L/s	11,08 L/s
	Lodo Ativado			
	Desinfecção			
Santa Fé	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	Disposição no solo	20 L/s	10 L/s
	Lodo Ativado			
	Desinfecção			

Fonte: Dados da pesquisa.

6.3 Análise dos dados

Para avaliar a eficiência das ETEs foram considerados parâmetros de qualidade que indicam as características do efluente bruto e do efluente tratado nas estações nos anos de 2016 e 2017, nos períodos de estiagem e no período chuvoso, relacionando à adequada conjugação dos sistemas implantados para corresponder ao desempenho esperado. Evidentemente, foram avaliados também os parâmetros que apontam a situação dos corpos d'água à montante e à jusante do ponto de lançamento. A determinação destes parâmetros foi

feita considerando as práticas indicadas nos “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)” do ano de 2012, publicação da Water Environment Federation USA, conforme evidencia os relatórios analisados na FMA.

Os parâmetros considerados para avaliar a eficiência das estações foram: pH a 25°C, temperatura, DBO₅, Demanda Química de Oxigênio (DQO), de acordo com o preconizado na Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

Entretanto, quando se fez necessário, outros parâmetros também foram objetos de consulta, de maneira a fundamentar as considerações.

Da mesma forma, os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos considerados para a análise do corpo receptor foram: pH a 25°C, DBO₅, Oxigênio Dissolvido (OD) e condutividade, de acordo com o preconizado na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

A disposição do efluente tratado na ETE Santa Fé se dá através de disposição no solo e os resultados para essa área são monitorados através de piezômetros. Nesse trabalho foram considerados os parâmetros nitrato e *Escherichia Coli*.

7 RESULTADOS

7.1 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Aurenny

Conforme o art. 5 da Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d), os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final do seu enquadramento, no caso do lago da UHE de Lajeado, corpo receptor da ETE Aurenny, considerado como Classe 2.

Complementarmente, o art. 12 da supracitada norma determina que o lançamento de efluentes em corpos de água, exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade da água estabelecidos para as respectivas classes, condições de vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

Os relatórios dos parâmetros pH (Figuras 8 e 9) e temperatura (Figuras 10 e 11) da ETE Aurenny, tanto no período de estiagem quanto no de chuva, atenderam ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Os Limite Inferior (LI) e Limite

Superior (LS) para o parâmetro pH preconizado pela supracitada resolução são de 5 e 9, respectivamente. Para a temperatura, o valor limite estabelecido é de 40 °C.

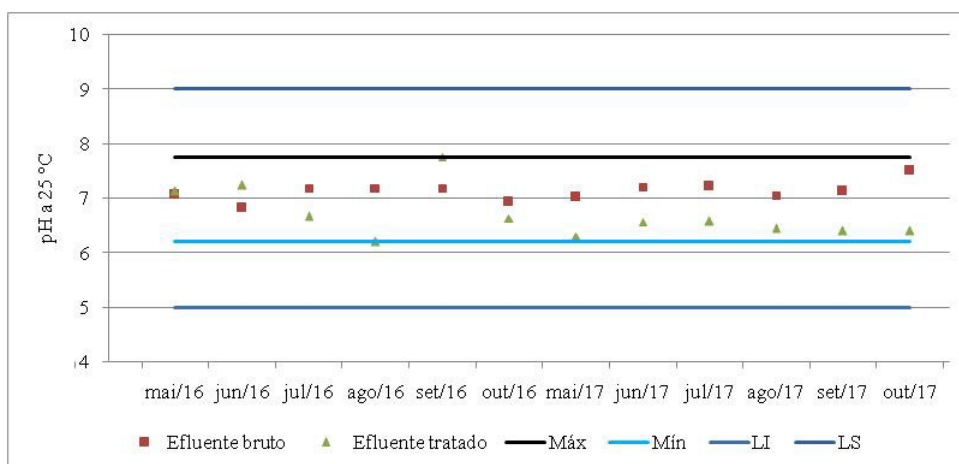


Figura 8 - Dados do monitoramento de pH na ETE Aurenny durante o período de estiagem.

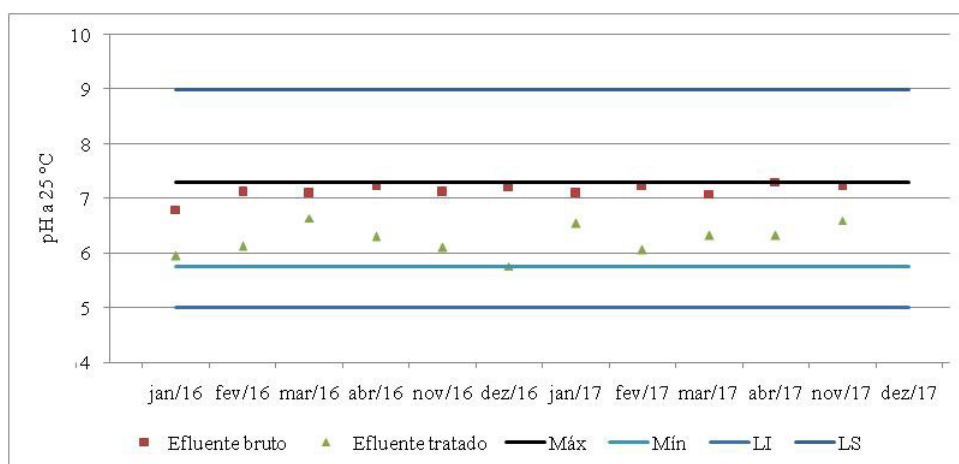


Figura 9 - Dados do monitoramento de pH na ETE Aurenny durante o período chuvoso.

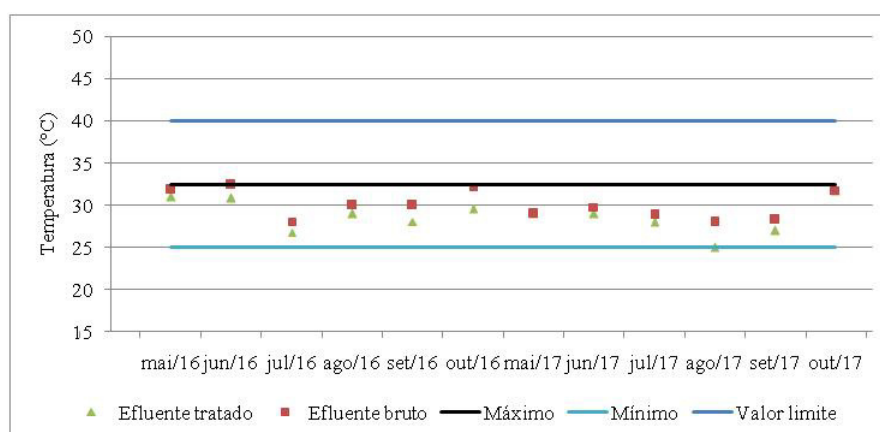


Figura 10 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Aurenny durante o período de estiagem.

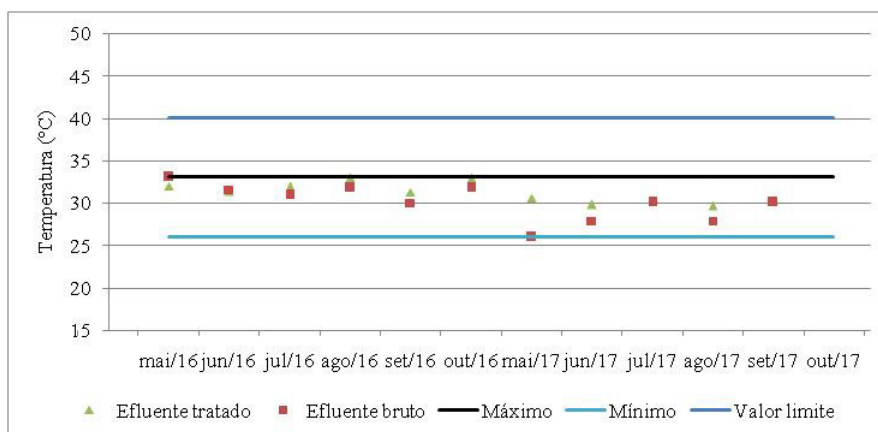


Figura 11 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Aurenny durante o período chuvoso.

Em relação à DBO_5 , o valor máximo para lançamento de efluentes preconizado pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d) é de 120 mg/L com remoção mínima de 60%. Os resultados apresentados atendem ao preconizado, além de apresentarem remoção média de 96,49%. As Figuras 12 e 13 apresentam os valores de DBO_5 determinados no período em análise, diferenciados pela época do ano, com destaque para o valor máximo de 140 mg/L no mês de setembro de 2016, a jusante da estação; e valor mínimo de 16 mg/L verificado a jusante da estação.

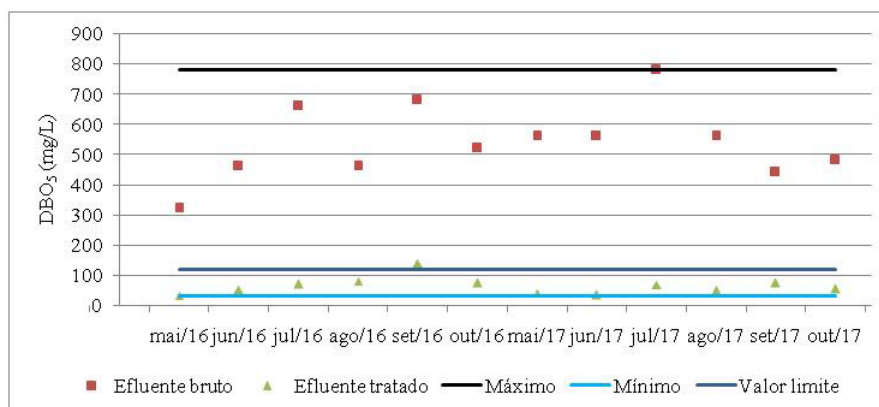


Figura 12 - Dados do monitoramento de DBO_5 na ETE Aurenny durante o período de estiagem.

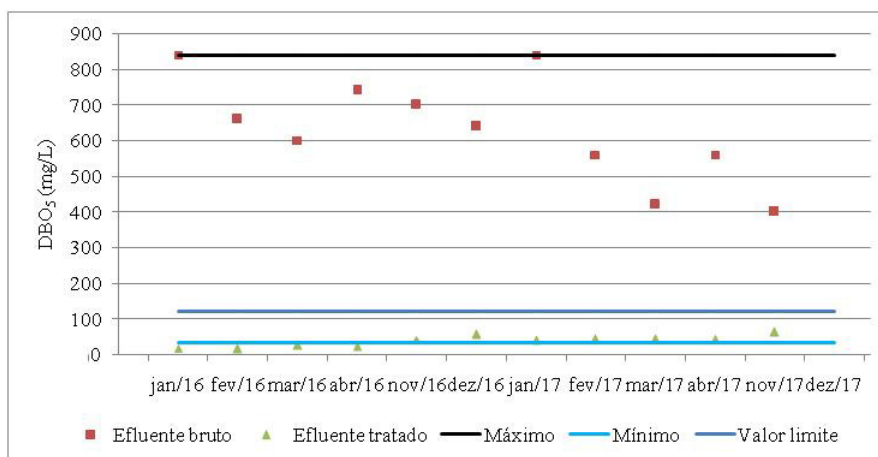


Figura 13 - Dados do monitoramento de DBO₅ na ETE Aurenly durante o período chuvoso.

A relação dos parâmetros de DQO e DBO₅ representa a quantidade de matéria orgânica no efluente tratado. Na literatura, Jardim e Canela (2004) estabelece uma relação para esses parâmetros e indica os processos de tratamento mais eficientes, observando que quando essa relação é maior que 2,5, se faz necessário tratamento químico. As Figuras 14 e 15 ilustram esse comportamento. Destaca-se que durante o período estudado, a relação entre DQO e DBO₅ esteve bem maior que 2,5 predominantemente nos meses em que há estiagem: julho (4,19 mg/L) de 2016, além dos meses de maio (5,85 mg/L) e outubro (3,13 mg/L) de 2017.

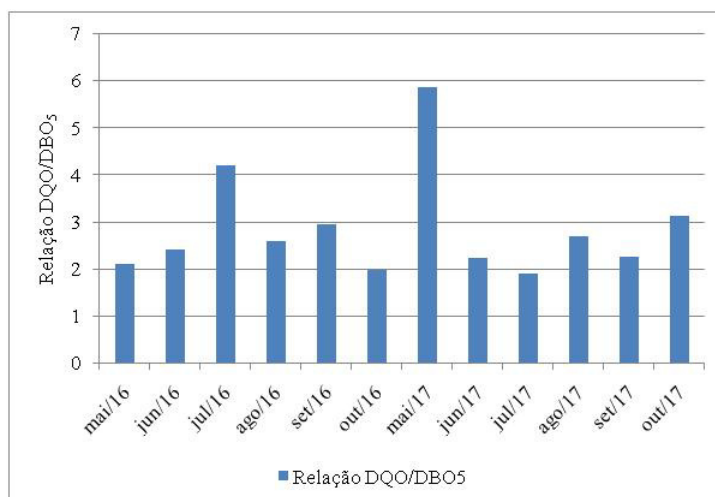


Figura 14 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Aurenly durante o período de estiagem.

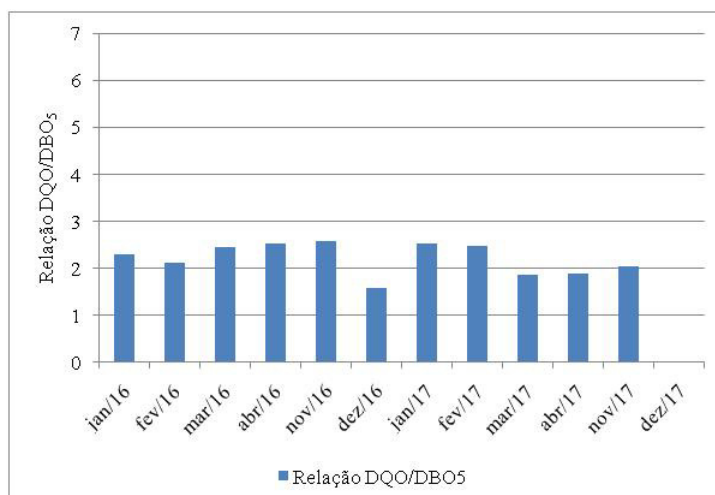


Figura 15 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Aurenny durante o período chuvoso.

7.2 Amostras do corpo receptor da ETE Aurenny

Para o monitoramento ambiental da água do reservatório da UHE de Lajeado foram analisados quatro parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, sendo que os valores de pH a 25°C, OD e DBO₅ tiveram seus resultados comparados com os Valores de Referências (VR) estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005 e os valores condutividade, por não possuírem VR definidos pela legislação ambiental, foram avaliados conforme os valores observados à montante e à jusante do ponto de lançamento do efluente.

Os relatórios de monitoramento do ponto de lançamento de efluente tratado da ETE Aurenny no lago de Palmas apresentam que, tanto no período seco quanto no chuvoso, o parâmetro pH (Figuras 16 e 17) atingiu valores conforme o estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, com valores semelhantes em cada período.

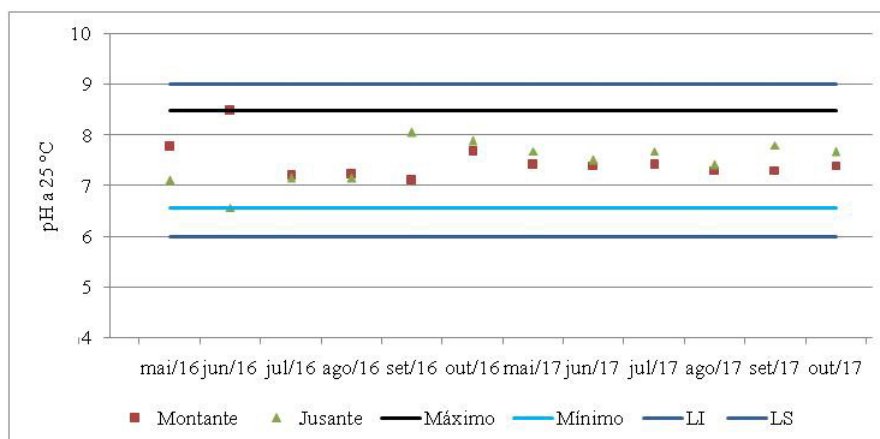


Figura 16 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.

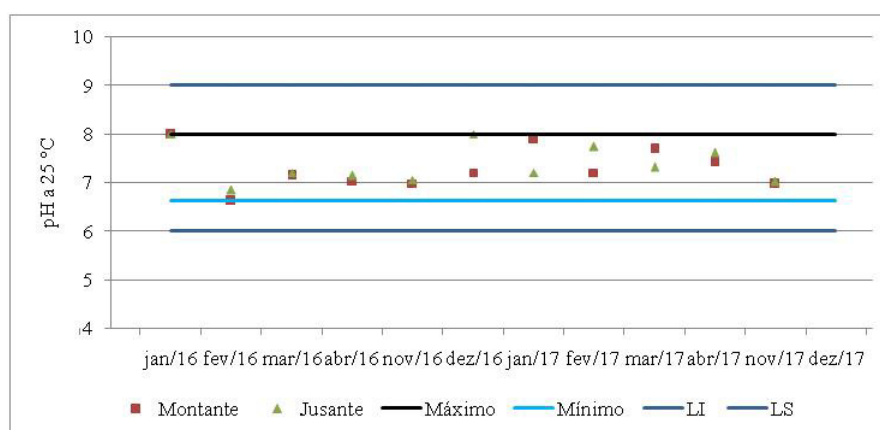


Figura 17 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.

As diferenças entre os valores da DBO_5 aferidas a montante a jusante do corpo receptor estiveram iguais de janeiro a junho de 2016 e em janeiro, maio e de agosto a outubro de 2017 (4 mg/L), sendo que em julho (7 mg/L), outubro (8 mg/L) e dezembro 2016 (6 mg/L) de 2016, esse parâmetro ultrapassou o limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 para corpos de água de Classe 2 que é de 5 mg/L. Essa diferença nos meses de julho e outubro de 2016 equivale respectivamente a 75% e 33,3% de aumento da DBO_5 a jusante do ponto de lançamento dos efluentes tratados, ou seja, após a zona de mistura.

Nos meses de abril e novembro de 2017, os valores de DBO_5 tiveram um aumento considerável de 325% e 475 % respectivamente. No mês de março de 2017, os valores de DBO_5 , tanto a montante quanto a jusante apresentaram-se acima dos 5 mg/L preconizado na legislação ambiental, conforme aponta as Figuras 18 e 19.

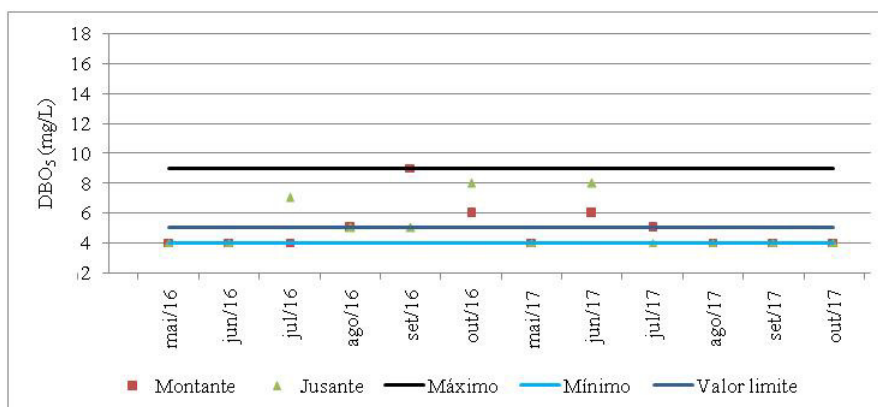


Figura 18 - Dados do monitoramento de DBO₅ no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.

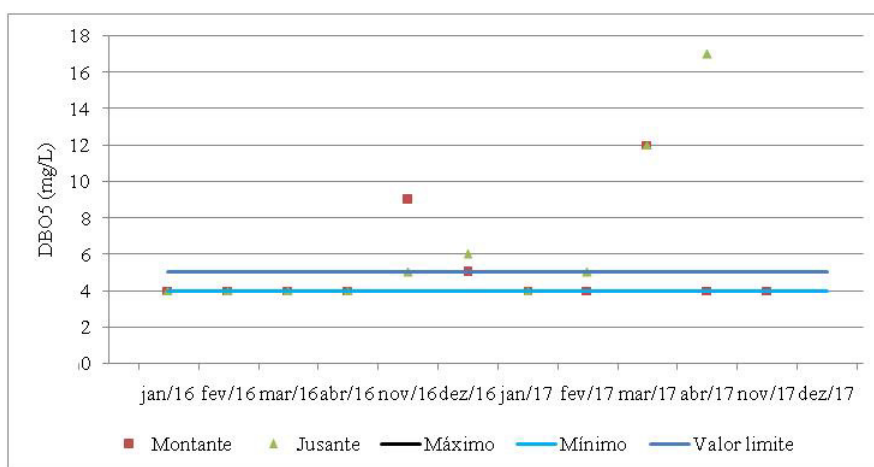


Figura 19 - Dados do monitoramento de DBO₅ no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.

Nos períodos analisados, o parâmetro oxigênio dissolvido está dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c), com exceção do mês de novembro de 2017, onde o valor de 1,16 mg/L esteve abaixo do valor mínimo preconizado (5 mg/L). As Figuras 20 e 21 apresentam os resultados desse monitoramento.

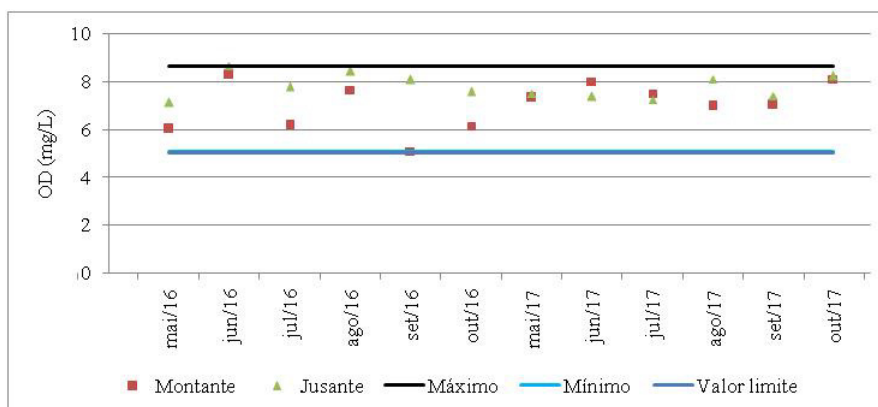


Figura 20 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Aurenly durante o período de estiagem.

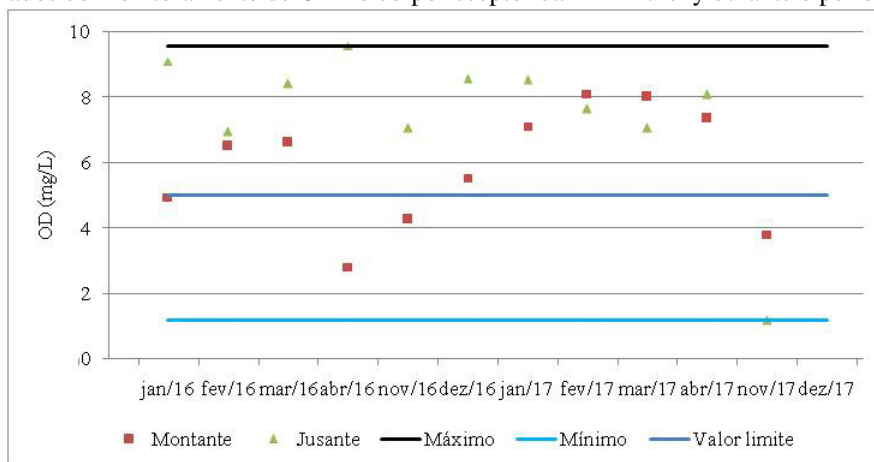


Figura 21 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Aurenly durante o período chuvoso.

Os valores de condutividade observados tiveram aumento a jusante em relação a montante em todos os meses analisados, conforme apresenta as Figuras 22 e 23, assim como os valores de nitrogênio amoniacal (Figuras 24 e 25), fósforo total (Figuras 26 e 27) e clorofila “a” (Figuras 28 e 29).

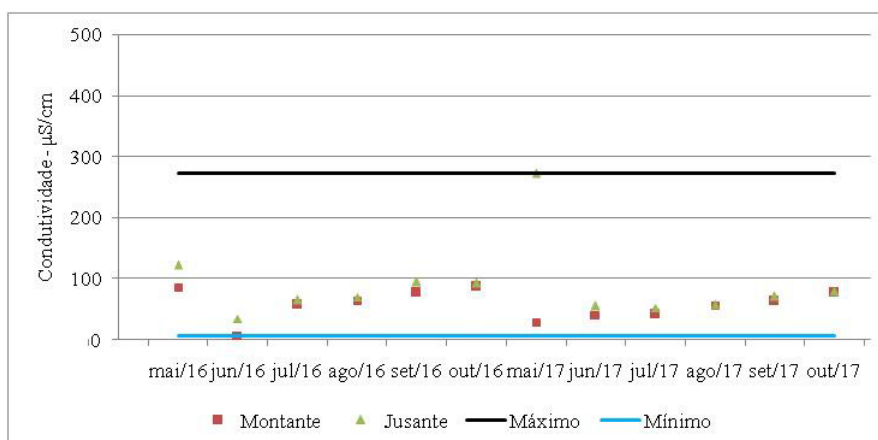


Figura 22 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Aurenly durante o período de estiagem.

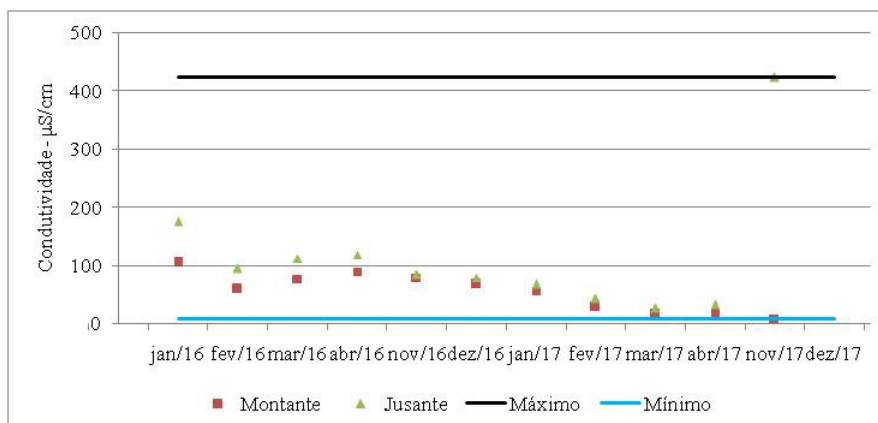


Figura 23 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.

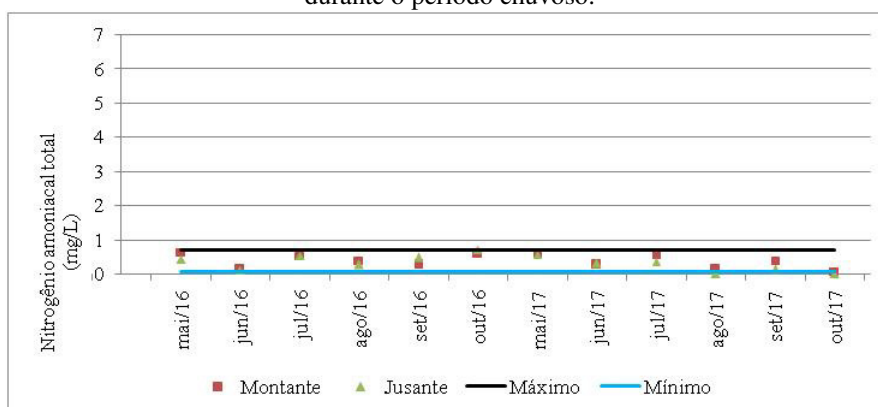


Figura 24 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.

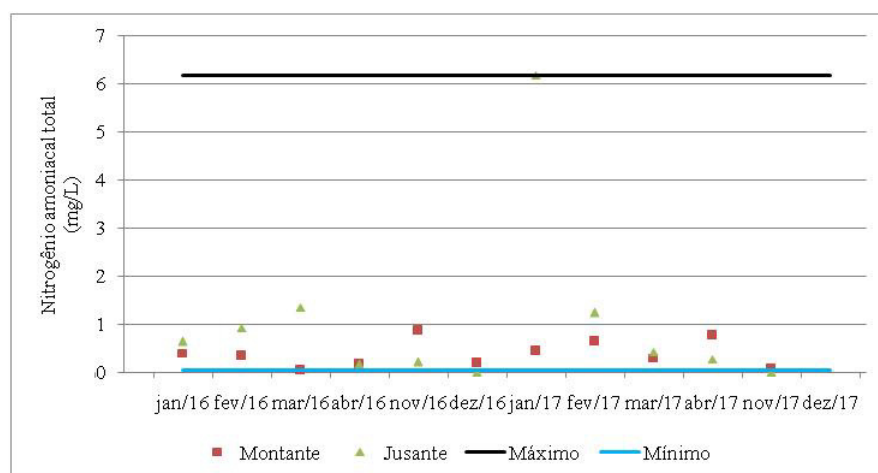


Figura 25 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.

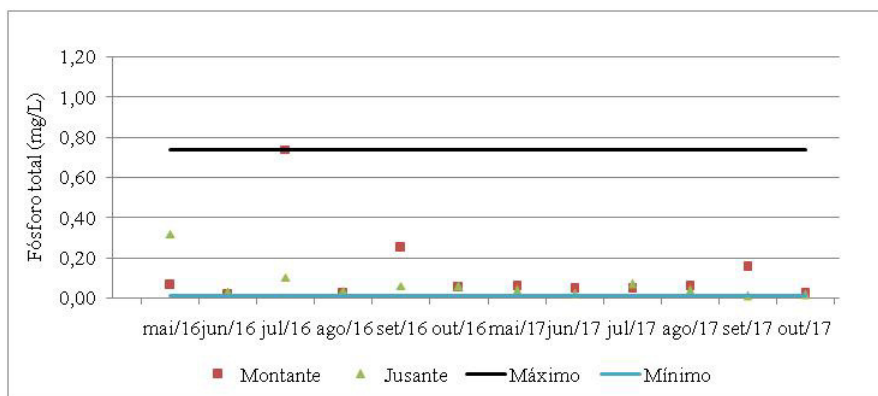


Figura 26 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.

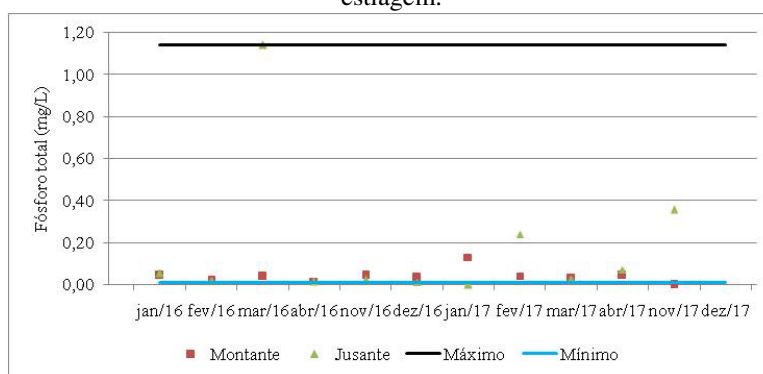


Figura 27 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período chuvoso.

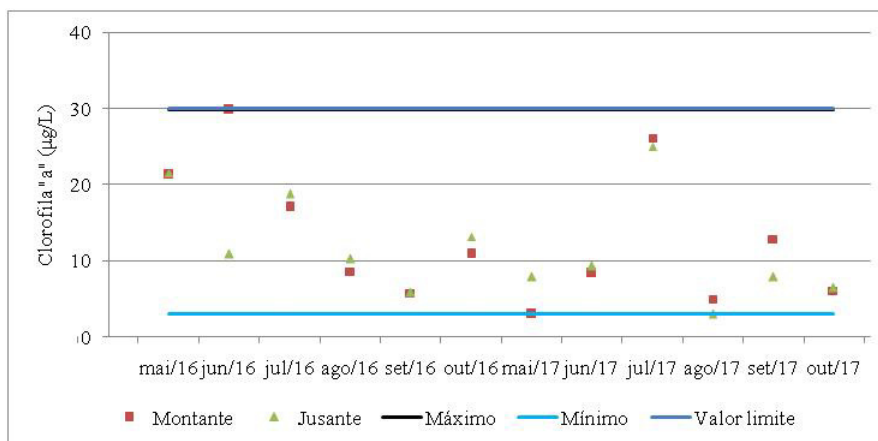


Figura 28 – Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Aurenny durante o período de estiagem.

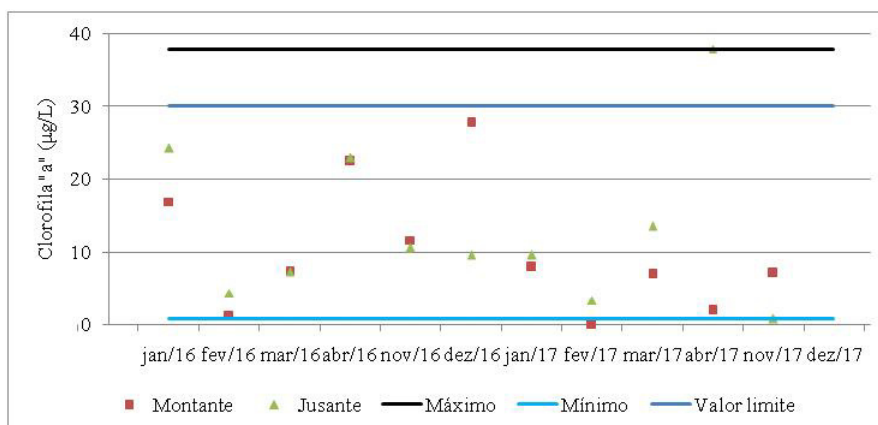


Figura 29 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Aurenly durante o período chuvoso.

7.3 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Norte

No período considerado, em análise aos relatórios de monitoramento do efluente tratado na ETE Norte, os parâmetros pH (Figuras 30 e 31) e temperatura (Figuras 32 e 33) estiveram de acordo com o que preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, com valores entre 5 e 9, e valores menores que 40 °C, respectivamente.

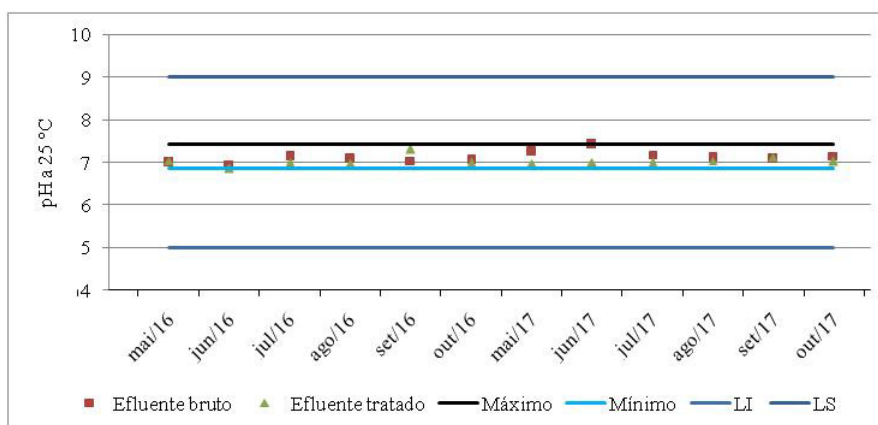


Figura 30 - Dados do monitoramento de pH da ETE Norte durante o período de estiagem.

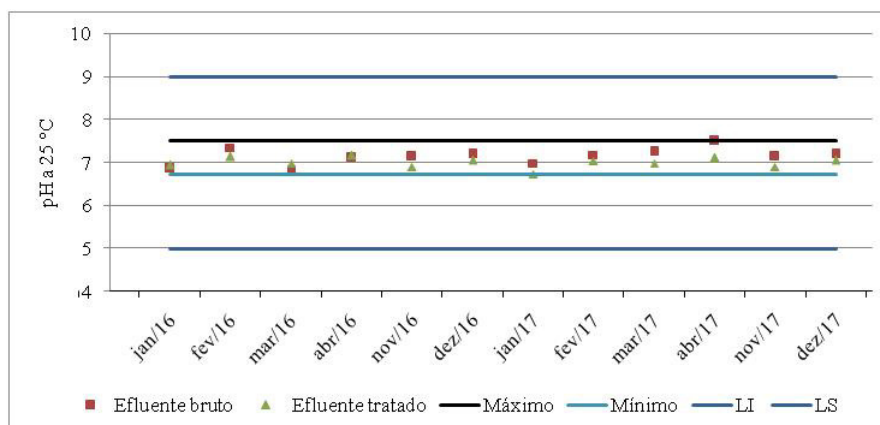


Figura 31 - Dados do monitoramento de pH da ETE Norte durante o período chuvoso.

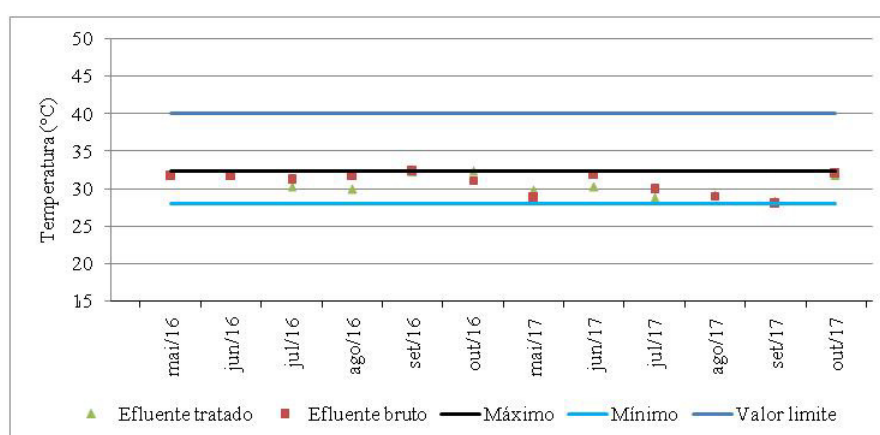


Figura 32 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Norte durante o período de estiagem.

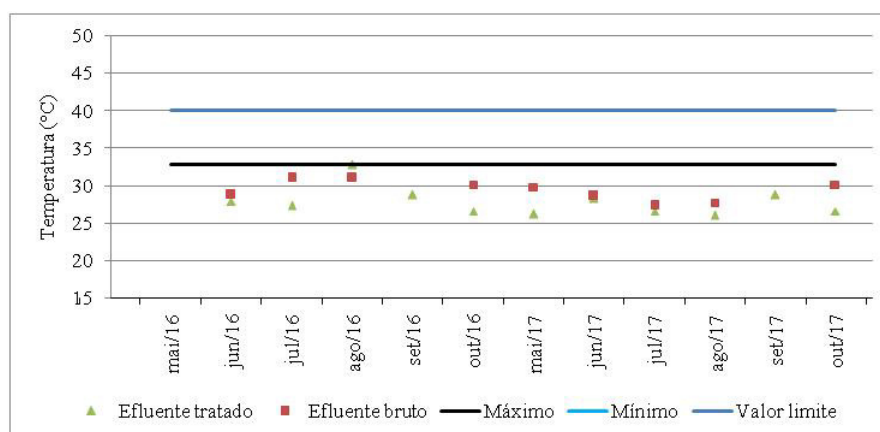


Figura 33 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Norte durante o período chuvoso.

Em relação à DBO₅ (Figuras 34 e 35), o valor máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 é de 120 mg/L ou remoção mínima de 60%. Os resultados apresentados estão conforme o estabelecido, com remoção média de 84,28%. No entanto, o valor da relação DQO/DBO₅ (Figuras 36 e 37) apresentam média em

torno de cinco, com valores próximos de 20, tanto no período seco quanto no período chuvoso, diferente do valor de 2,5 recomendado na literatura por Jardim e Canela (2004).

Observa-se que a relação DQO/DBO₅ no período seco é preponderantemente o valor foi acima de 2,5, à exceção do mês de maio de 2016. Já durante o período chuvoso, esse valor só foi acima de 5 os meses de abril de 2016 e de janeiro a março de 2017.

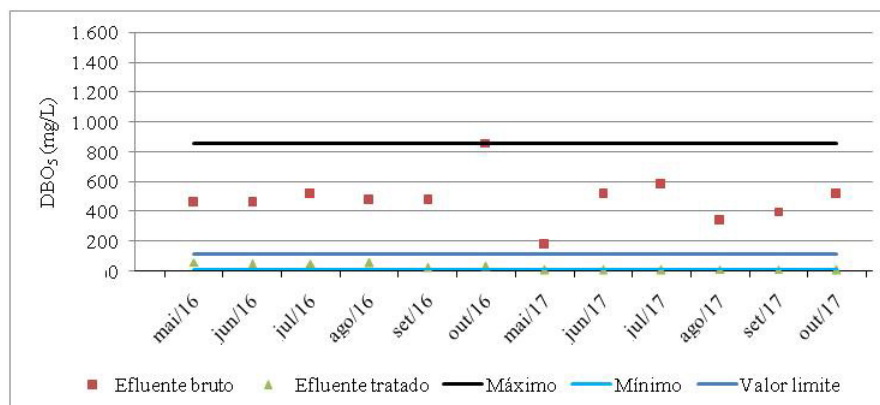


Figura 34 - Dados do monitoramento de DBO₅ da ETE Norte durante o período de estiagem.

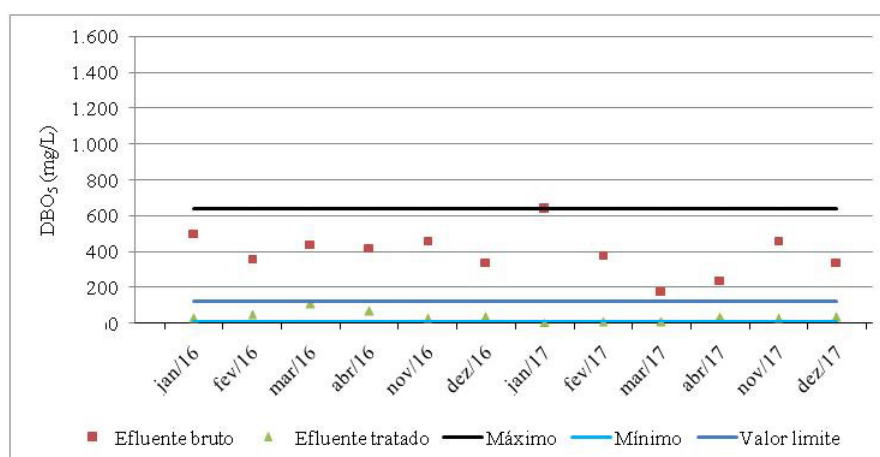


Figura 35 - Dados do monitoramento de DBO₅ da ETE Norte durante o período chuvoso.

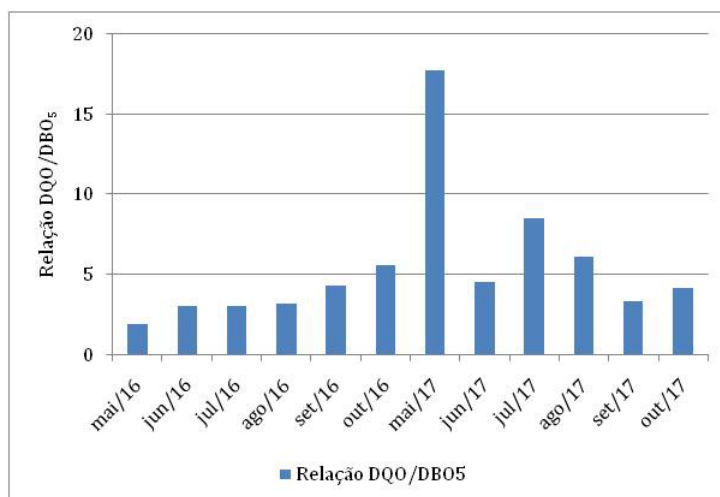


Figura 36 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Norte durante o período de estiagem.

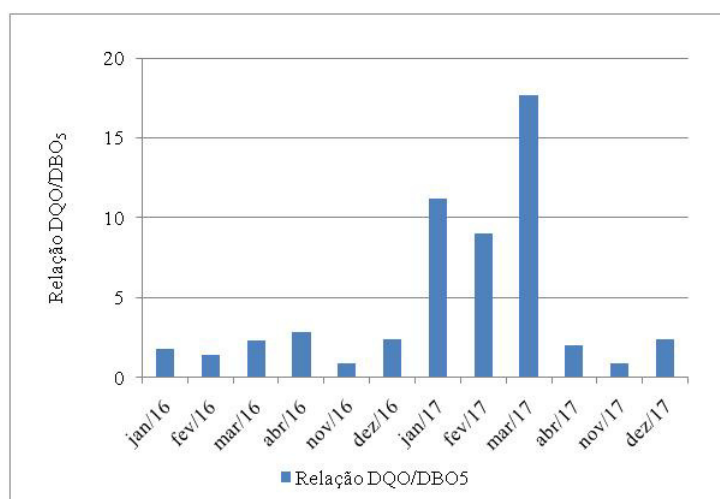


Figura 37 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Norte durante o período chuvoso.

7.4 Amostras do corpo receptor da ETE Norte

Para o corpo receptor de efluentes da ETE Norte, o lago da UHE de Lajeado, considerou-se os parâmetros pH a 25°C, OD e DBO₅ e condutividade.

Os relatórios de monitoramento do corpo receptor da ETE Norte, o lago da UHE Lajeado, apresentaram que, tanto no período seco quanto no chuvoso, o parâmetro pH (Figuras 38 e 39) atendeu ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c), ficando entre 5 e 9, com valores a jusante máximo de 8,62 e mínimo de 6,99, ambos no período chuvoso.

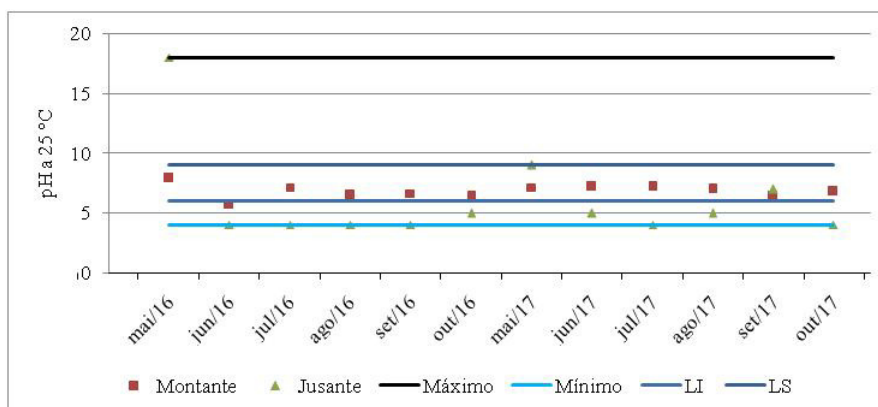


Figura 38 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

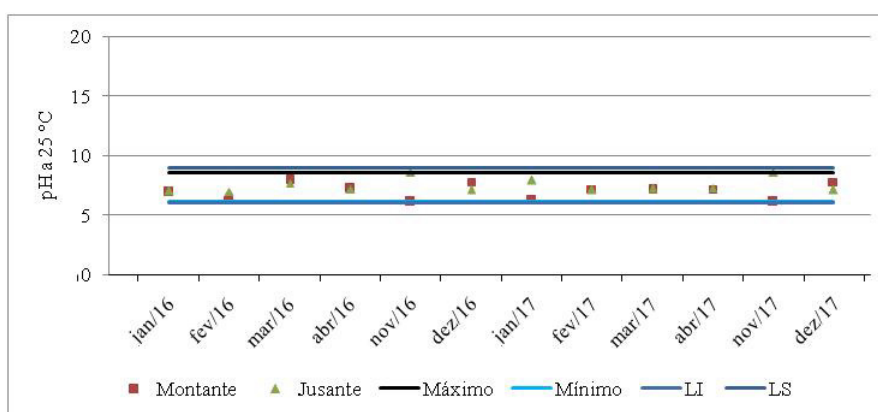


Figura 39 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

Os valores de DBO_5 (Figuras 40 e 41) não apresentaram valores uniformes, com valores entre 4 e 18 mg/L (maio de 2016), ultrapassando o limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c), que é de 5 mg/L.

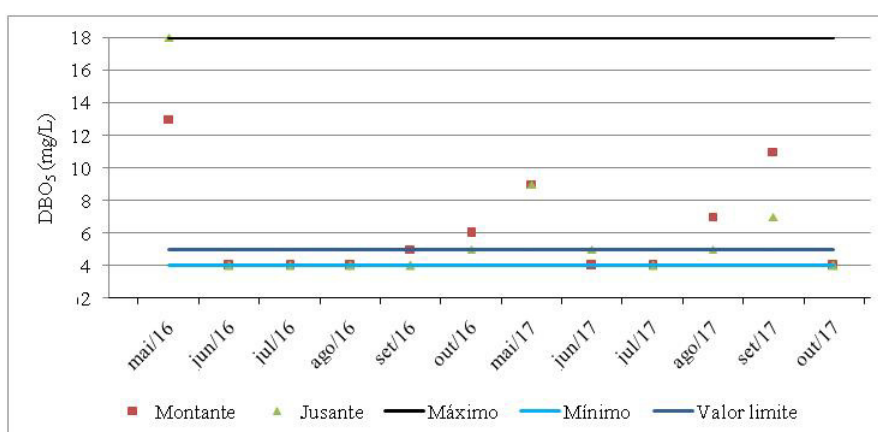


Figura 40 - Dados do monitoramento de DBO_5 no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

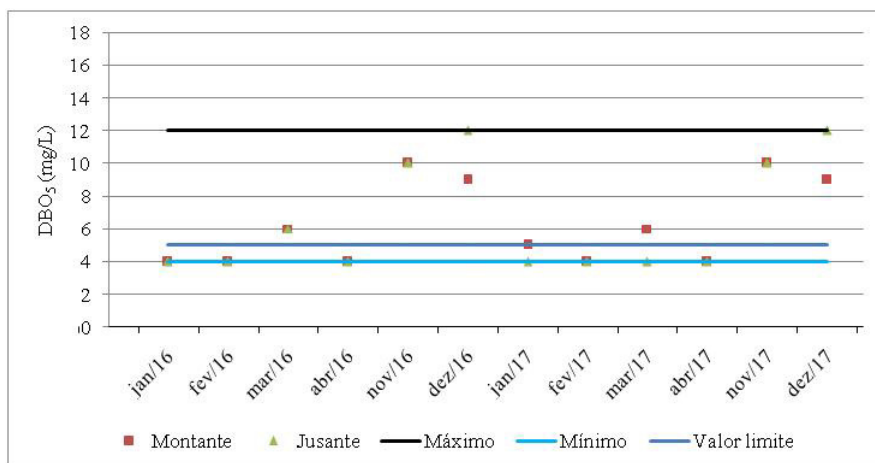


Figura 41 - Dados do monitoramento de DBO₅ no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

Os valores de OD (Figuras 42 e 43) apresentaram valores dentro do que preconiza a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2017c), com resultados a jusante maiores que o mínimo de 5 mg/L.

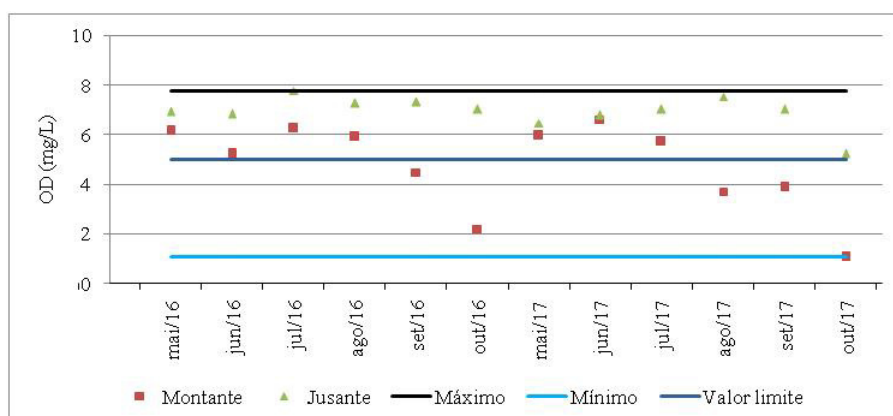


Figura 42 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

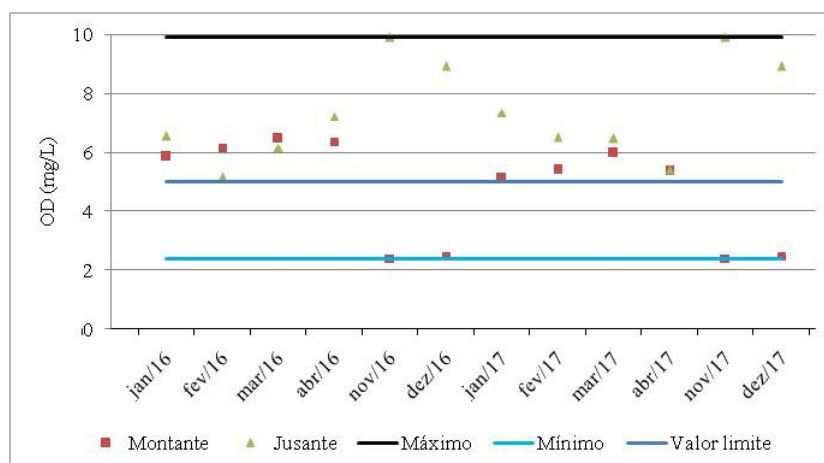


Figura 43 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

Os valores de condutividade observados tiveram aumento a jusante em relação a montante em todos os meses analisados, conforme apresenta as Figuras 44 e 45. Os resultados para o parâmetro clorofila “a” são apresentados nas Figuras 46 e 47.

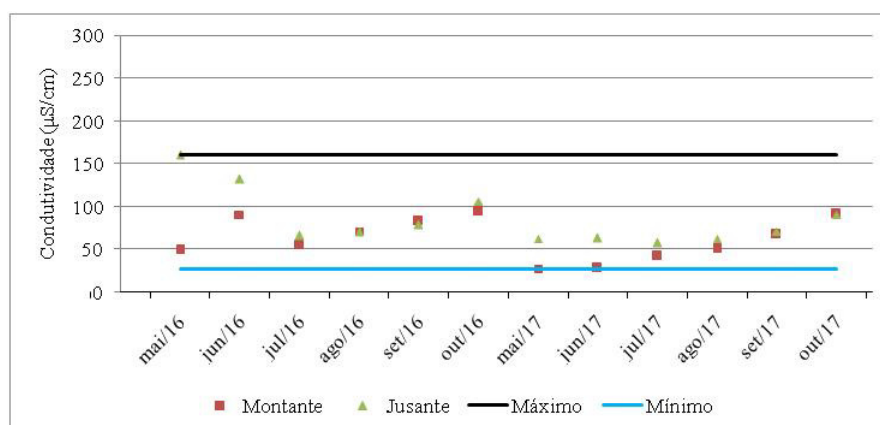


Figura 44 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

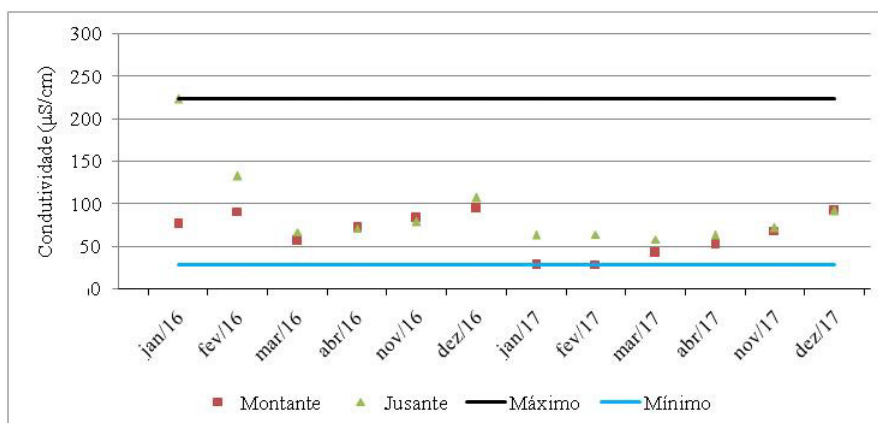


Figura 45 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

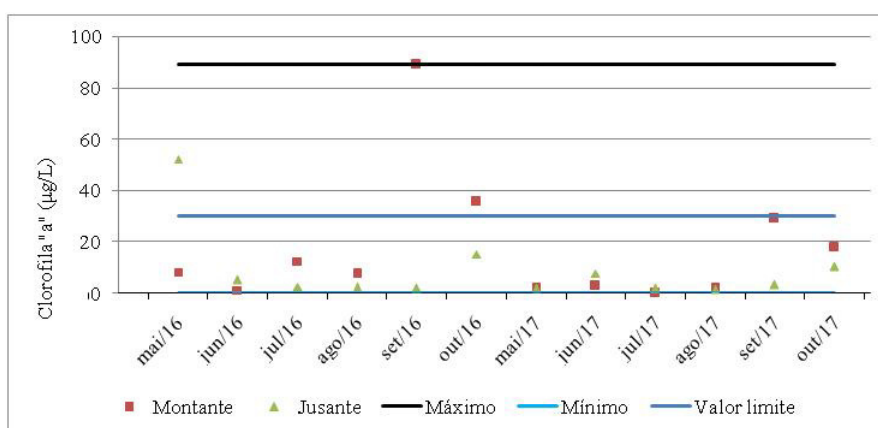


Figura 46 - Dados do monitoramento de clorofila "a" no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

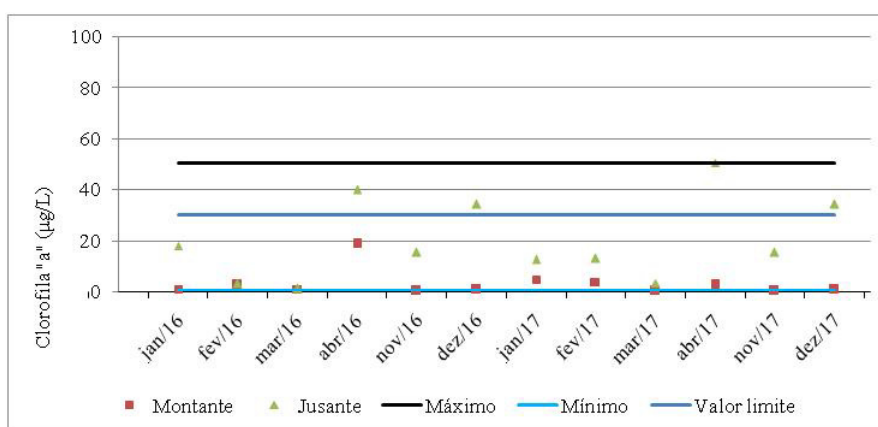


Figura 47- Dados do monitoramento de clorofila "a" no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

Os nutrientes nitrogênio amoniacal total (Figuras 48 e 49) e fósforo total (Figuras 50 e 51) estão dentro dos limites para corpos de água de Classe 2, que é de 2 mg/L e 0,030 mg/L respectivamente.

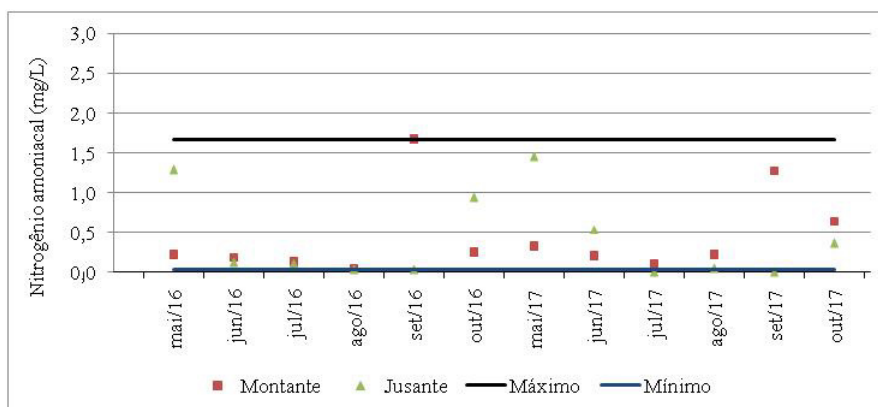


Figura 48 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

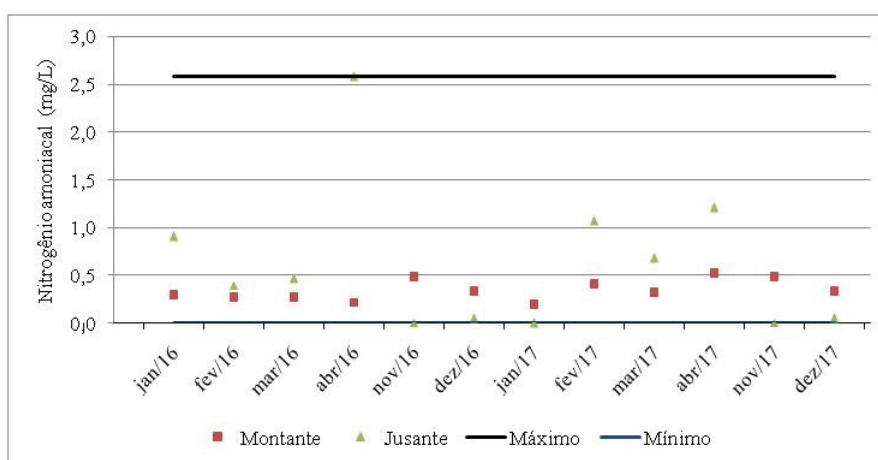


Figura 49 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

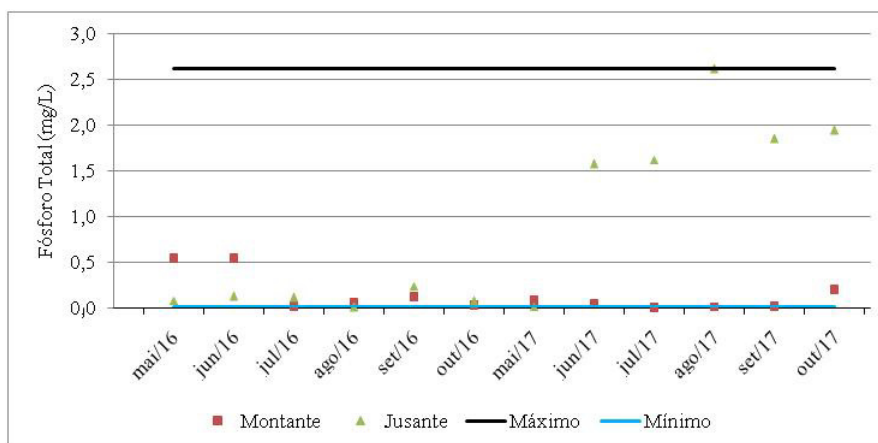


Figura 50 – Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Norte durante o período de estiagem.

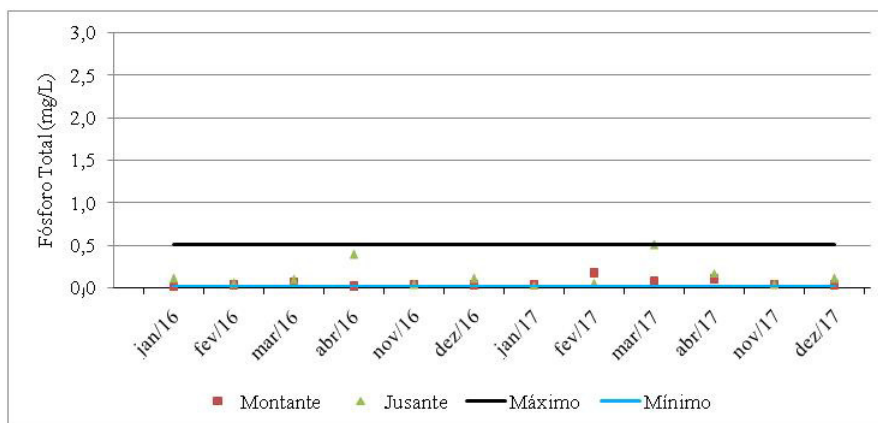


Figura 51 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Norte durante o período chuvoso.

7.5 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Taquari

Em todos os meses observados, os valores para o parâmetro pH (Figuras 52 e 53) estiveram dentro do que preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d), que é de 5 a 9; assim como os valores de temperatura (Figuras 54 e 55), que apresentaram valor máximo menor que o valor limite definido pela supracitada resolução, que é de 40 °C.

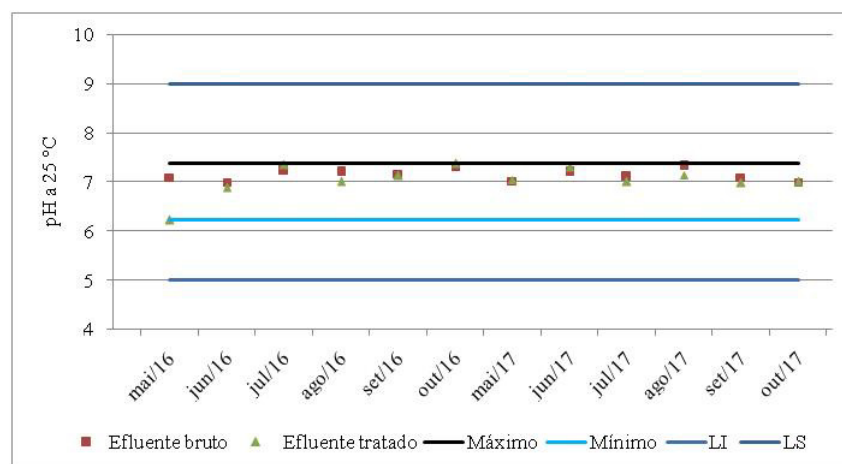


Figura 52 - Dados do monitoramento de pH da ETE Taquari durante o período de estiagem.

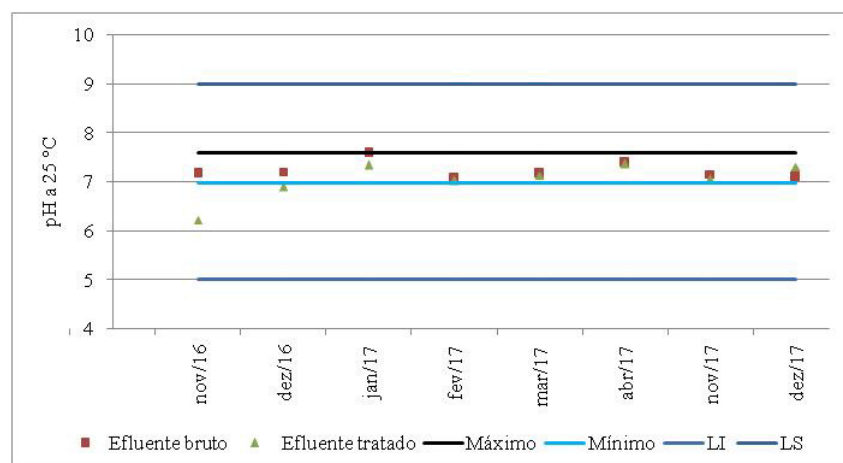


Figura 53 - Dados do monitoramento de pH da ETE Taquari durante o período chuvoso.

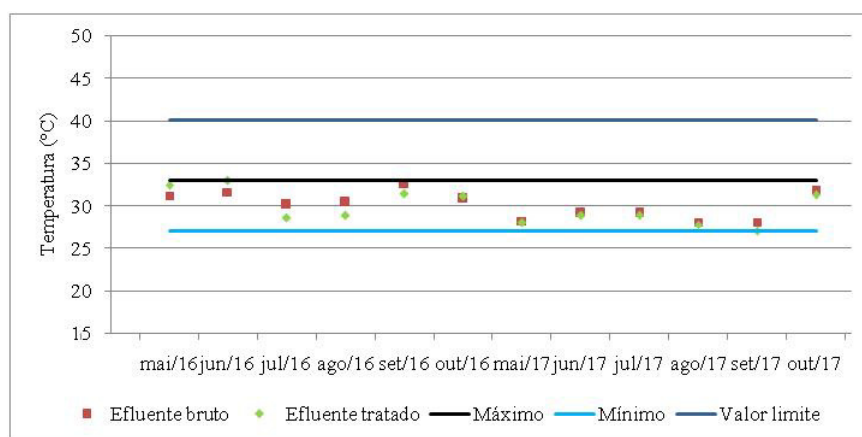


Figura 54 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Taquari durante o período de estiagem.

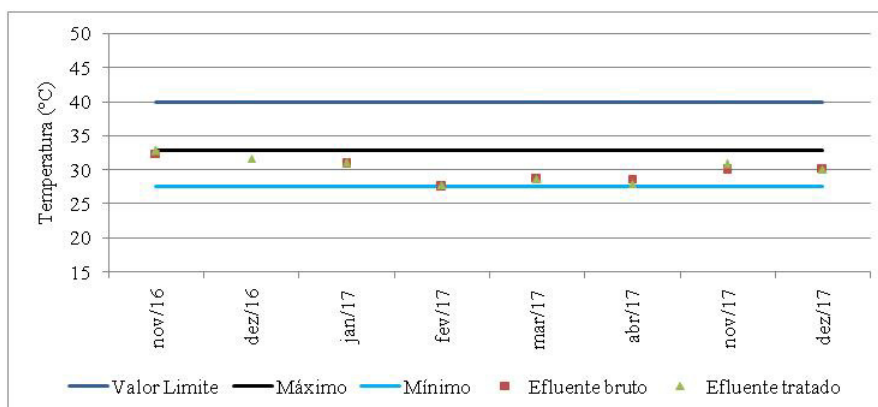


Figura 55 - Dados do monitoramento de temperatura da ETE Taquari durante o período de chuvoso.

Os resultados de remoção de DBO_5 (Figuras 56 e 57) estão em média de 61,97%, atendendo a remoção mínima de 60% com valores conforme preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2017d).

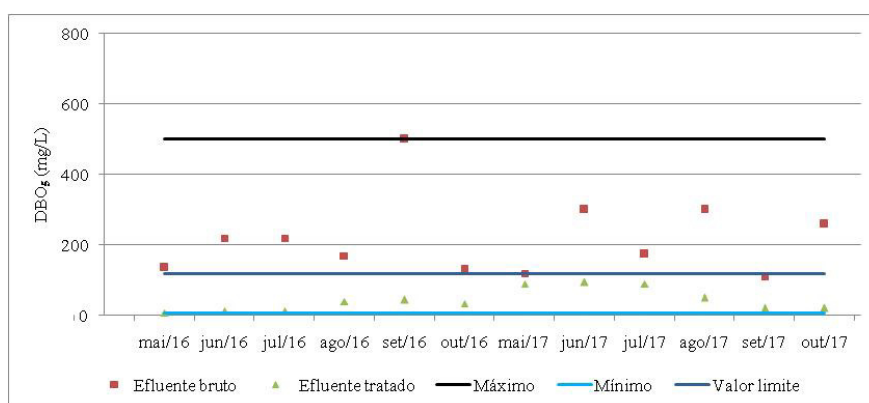


Figura 56 - Dados do monitoramento de DBO_5 da ETE Taquari durante o período de estiagem.

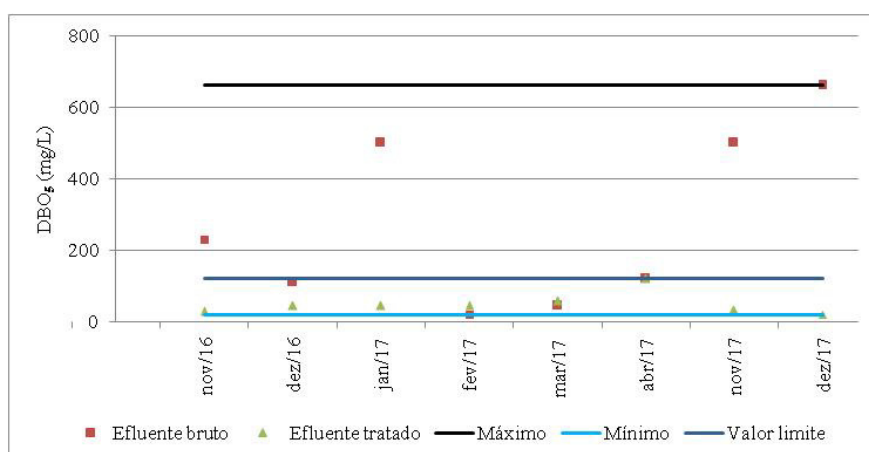


Figura 57 - Dados do monitoramento de DBO_5 da ETE Taquari durante o período chuvoso.

Como se observa nas Figuras 58 e 59, a relação entre DQO e DBO_5 registrada nos efluentes tratados nos meses analisados indica que os constituintes desse efluente são em sua maior parte inorgânicos, visto que essa relação, na maioria dos casos, ultrapassa o valor de 2,5 estabelecido por Jardim e Canela (2004).

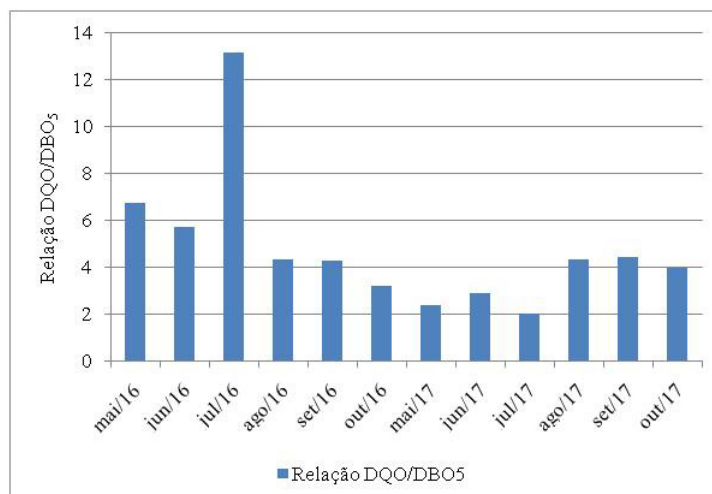


Figura 58 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Taquari durante o período de estiagem.

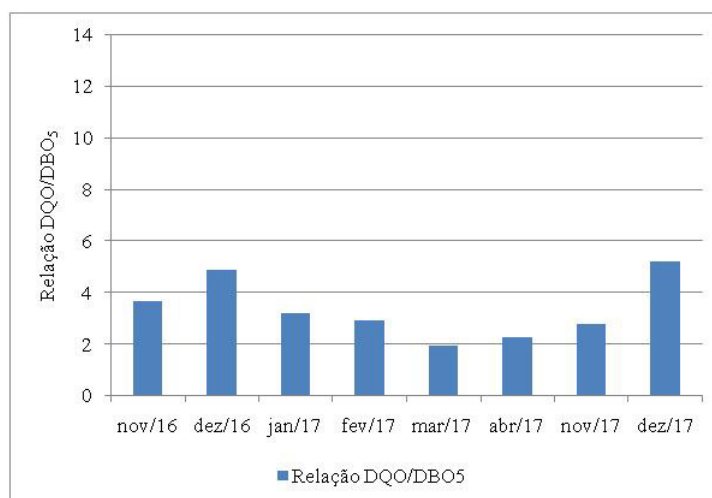


Figura 59 - Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Taquari durante o período chuvoso.

No gráfico da relação DQO/DBO₅ do período de estiagem, o mês de julho de 2016 apresentou uma relação acima de 13, o que diferenciou totalmente dos demais valores médios encontrados. Com isso, tal valor não será levado em consideração, pois faltam maiores informações sobre a coleta e a situação da estação no momento da coleta. Assim, levam-se em consideração os demais valores para a avaliação dessa correlação, visto que pode ter ocorrido erro de coleta.

Observa-se que durante a estiagem os valores dessa relação em sua grande maioria, com exceção dos meses de outubro de 2016, maio a julho de 2017, ficaram com valores médios acima de 4.

No período chuvoso, os valores da relação foram em sua maioria menor que 4, estando acima desse valor apenas os meses de dezembro de 2016 e dezembro de 2017. Entretanto, eles ficaram em sua maioria acima da correlação de 2,5, ficando abaixo somente nos meses de março e abril de 2017.

7.6 Amostras do corpo receptor da ETE Taquari

Os relatórios de monitoramento da ETE Taquari começaram a ser feitos a partir do mês de maio de 2016, embora a estação tenha entrado em operação no mês de dezembro de 2015.

Os valores de pH nos meses de junho e julho de 2016 estiveram abaixo de 6, valor menor que o esperado, tendo como base a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. A análise do parâmetro no período considerado pode ser visualizada nas Figuras 60 e 61.

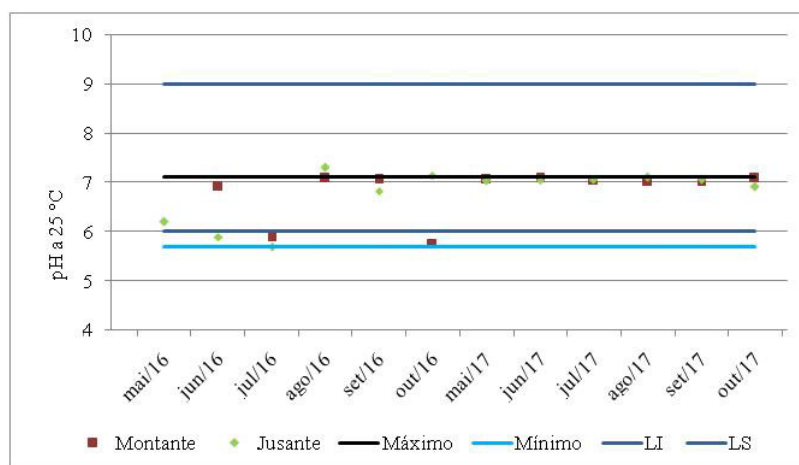


Figura 60 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

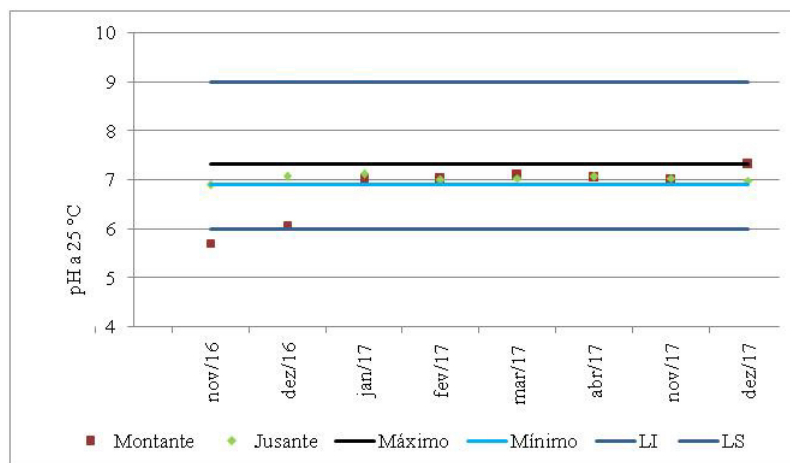


Figura 61 - Dados do monitoramento de pH no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

Os valores da DBO_5 aferidos a montante e jusante do corpo receptor estiveram iguais (4 mg/L) de maio a agosto de 2016, e em março, maio, novembro e dezembro de 2017, sendo que em grande parte dos meses no período de estiagem (setembro e outubro de 2016 e de junho a outubro de 2017) esse parâmetro ultrapassa o limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 para corpos de águas de Classe 2 que é de 5 mg/L. As Figuras 62 e 63 apresentam os valores de DBO_5 determinados no período em análise, diferenciados pela época do ano, com destaque para os valores máximos e mínimos verificados.

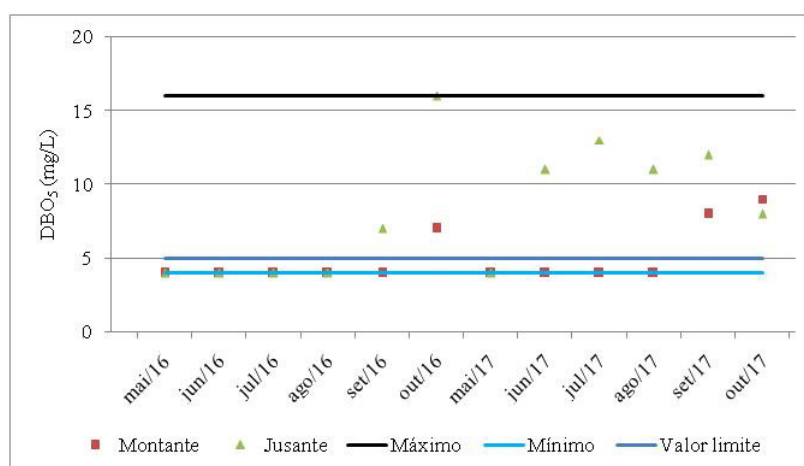


Figura 62 - Dados do monitoramento de DBO_5 no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

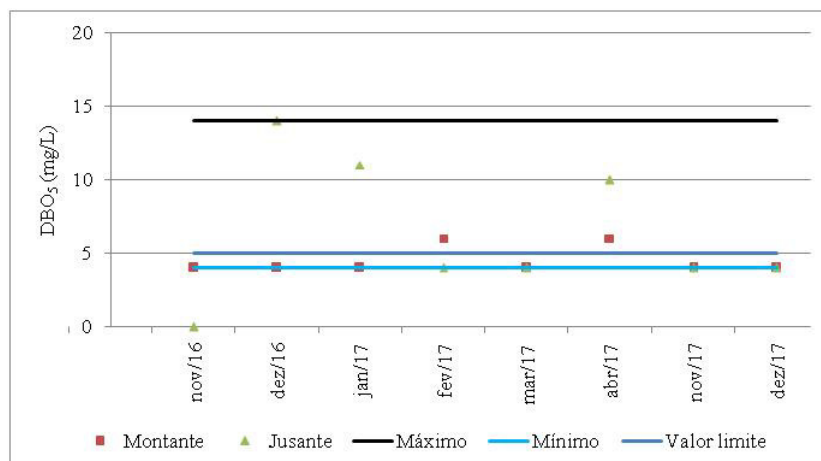


Figura 63 - Dados do monitoramento de DBO₅ no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

Os valores do parâmetro oxigênio dissolvido, em sua maioria, não cumpriram a exigência da Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, ficando menores que o limite mínimo de 5 mg/L, como pode ser observado nas Figuras 64 e 65.

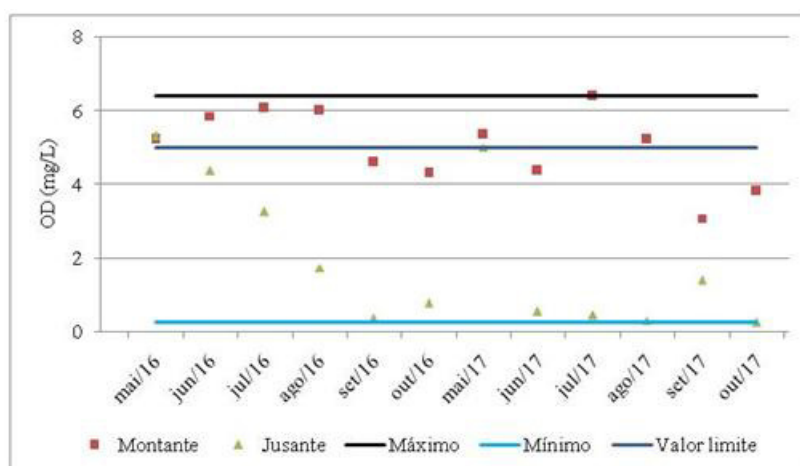


Figura 64 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

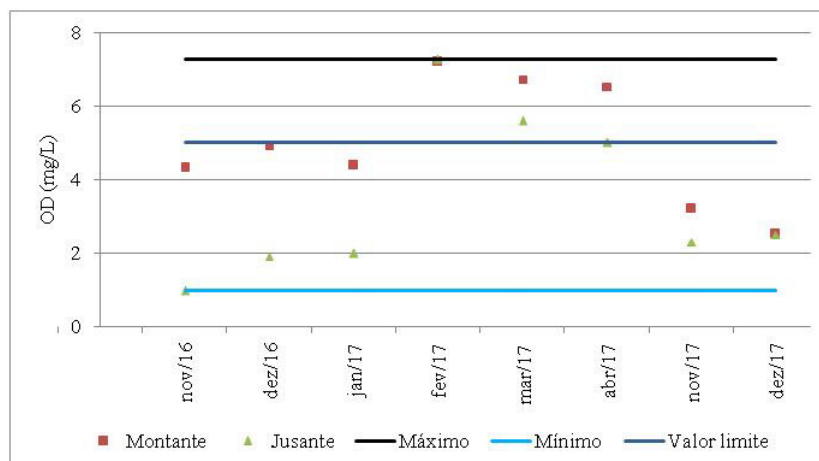


Figura 65 - Dados do monitoramento de OD no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

Os valores de condutividade observados tiveram aumento a jusante em relação a montante em todos os meses analisados, conforme apresenta as Figuras 66 e 67. Também houve incremento nos valores de nitrogênio amoniacal total (Figuras 68 e 69) e fósforo total (Figuras 70 e 71). Os resultados para o parâmetro clorofila “a” são apresentados nas Figuras 72 e 73.

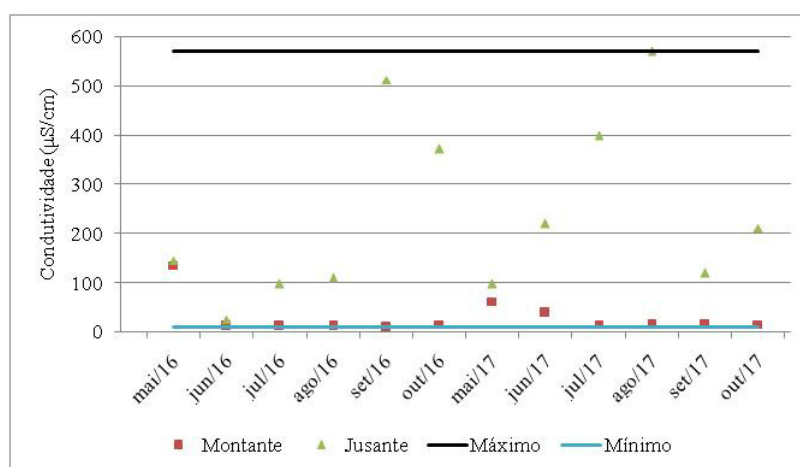


Figura 66 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

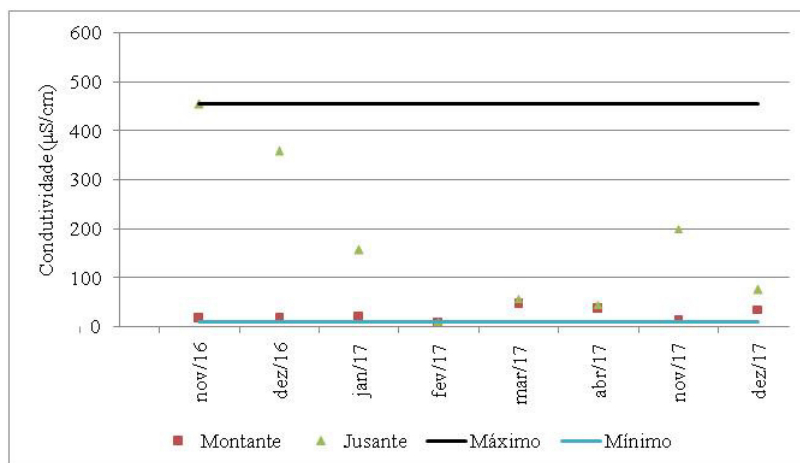


Figura 67 - Dados do monitoramento de condutividade no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

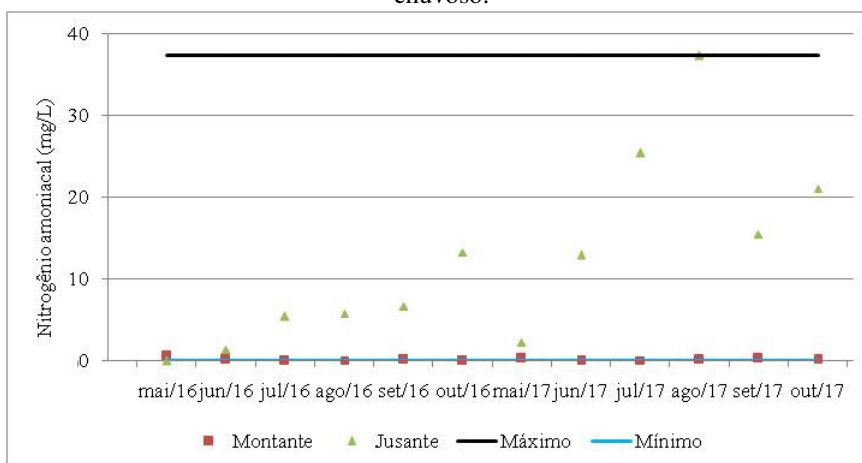


Figura 68 – Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

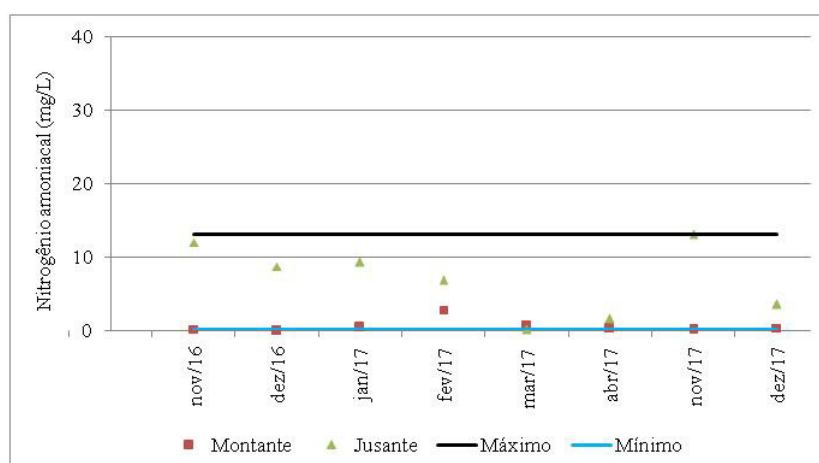


Figura 69 - Dados do monitoramento de nitrogênio amoniacal total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

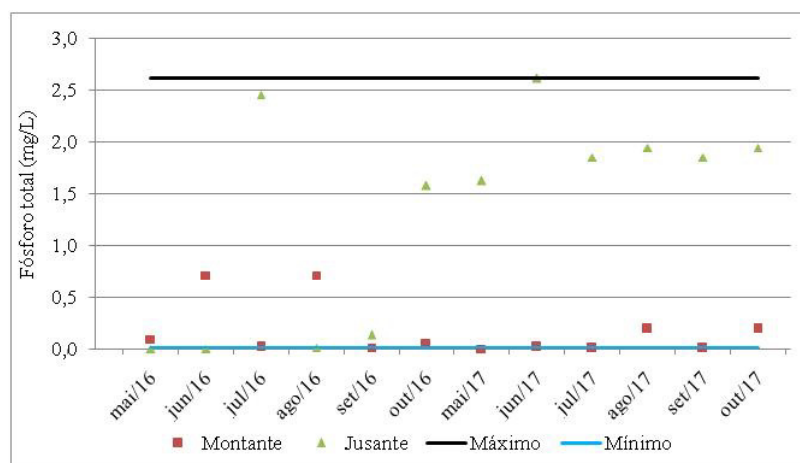


Figura 70 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

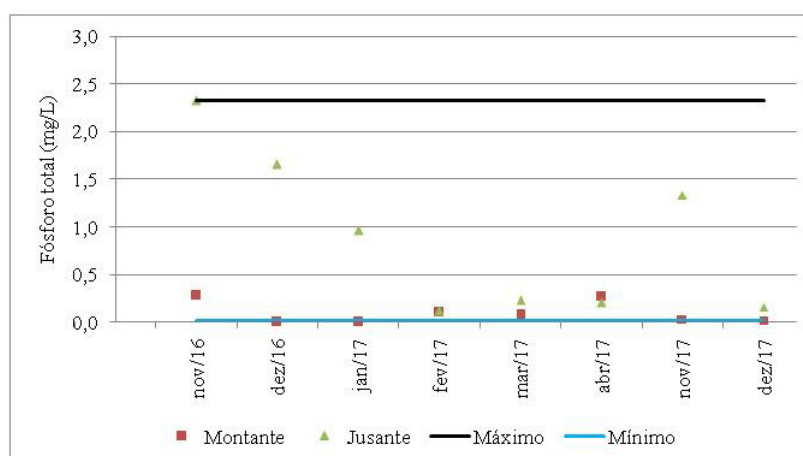


Figura 71 - Dados do monitoramento de fósforo total no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

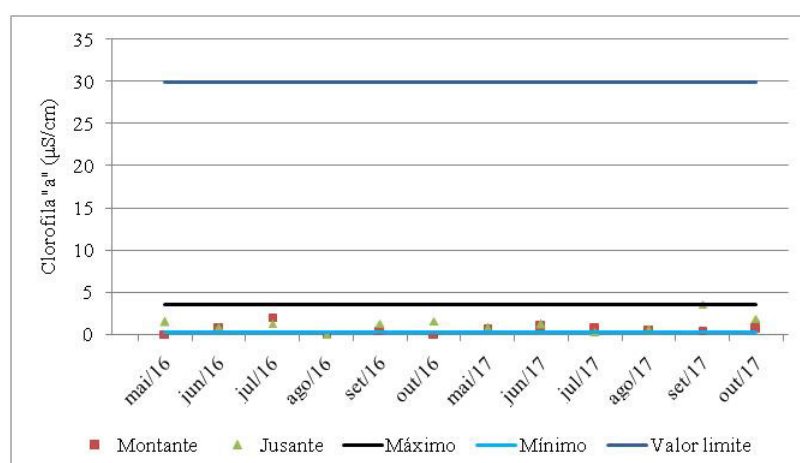


Figura 72 - Dados do monitoramento de clorofila "a" no corpo receptor da ETE Taquari durante o período de estiagem.

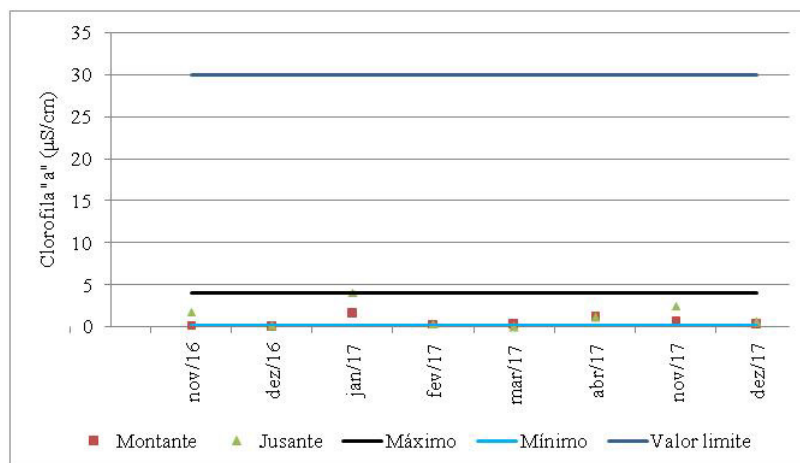


Figura 73 - Dados do monitoramento de clorofila “a” no corpo receptor da ETE Taquari durante o período chuvoso.

7.7 Amostras do efluente bruto e tratado da ETE Santa Fé

O monitoramento da estação Santa Fé começou a ser feito no mês de setembro de 2016.

Os parâmetros pH (Figuras 74 e 75), temperatura (Figuras 76 e 77) e DBO₅ (Figuras 78 e 79) para o efluente tratado da ETE Santa Fé em todos os meses observados estiveram com seus valores dentro do que preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

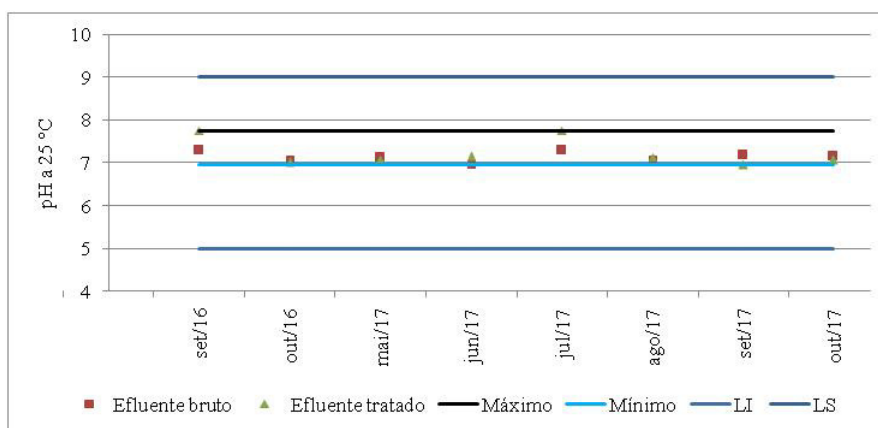


Figura 74 – Dados do monitoramento de pH na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

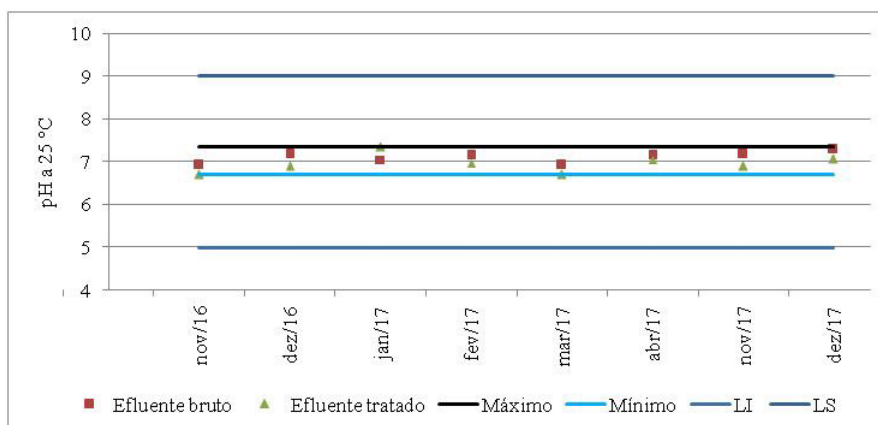


Figura 75 - Dados do monitoramento de pH na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

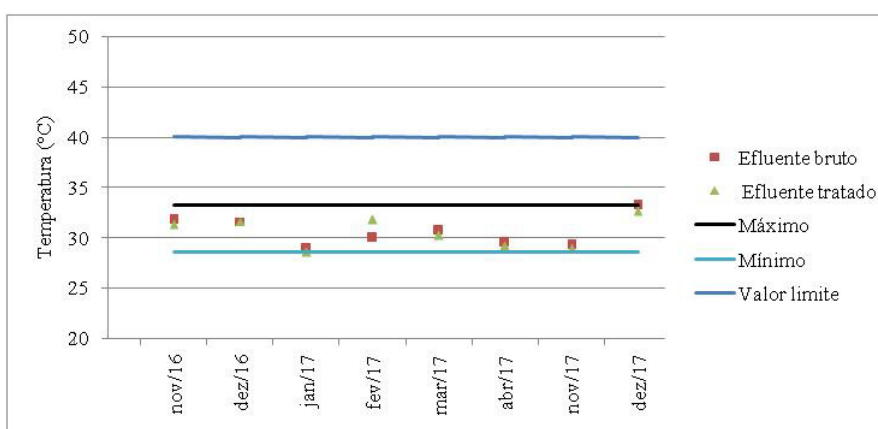


Figura 76 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

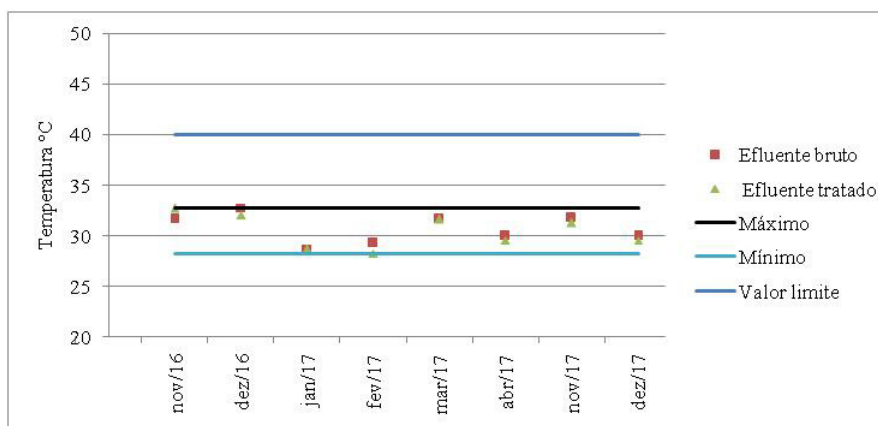


Figura 77 - Dados do monitoramento de temperatura na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

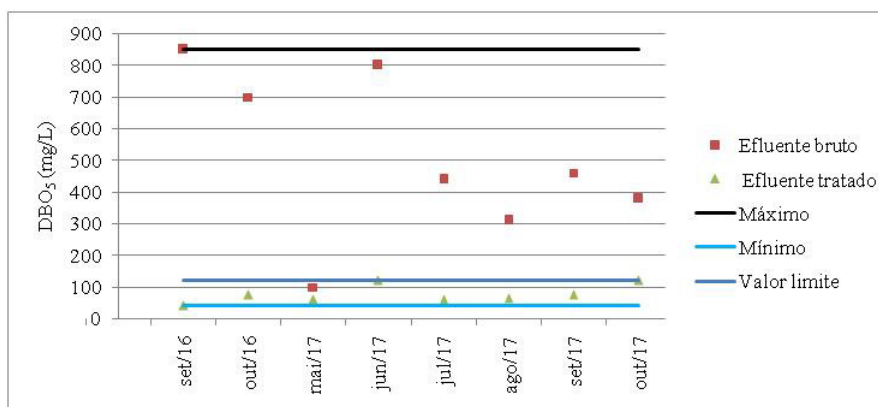


Figura 78 - Dados do monitoramento de DBO_5 na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

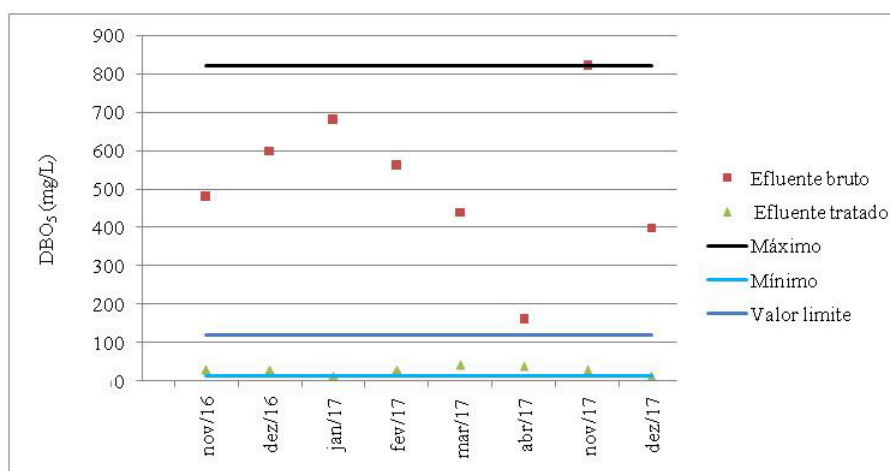


Figura 79 – Dados do monitoramento de DBO_5 na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

Os valores da relação DQO/DBO_5 estão ilustrados nas Figuras 80 e 81. Convém ressaltar que somente no mês de setembro de 2017 esse valor esteve próximo de 2,5, que é o valor ideal que consta na literatura para que o efluente seja classificado como facilmente biodegradável (JARDIM E CANELA, 2004).

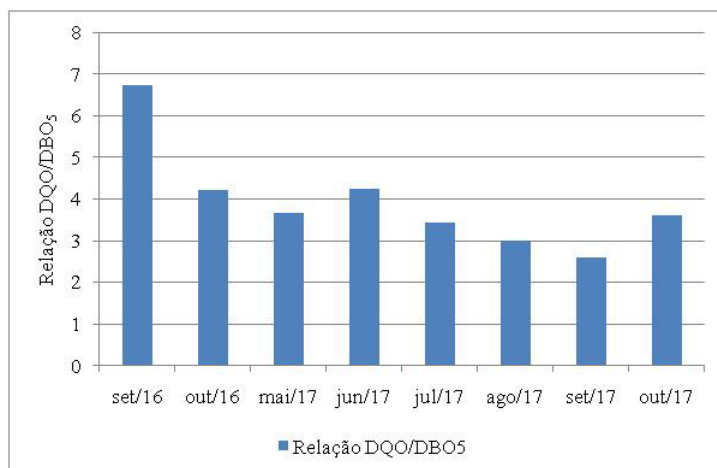


Figura 80 – Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

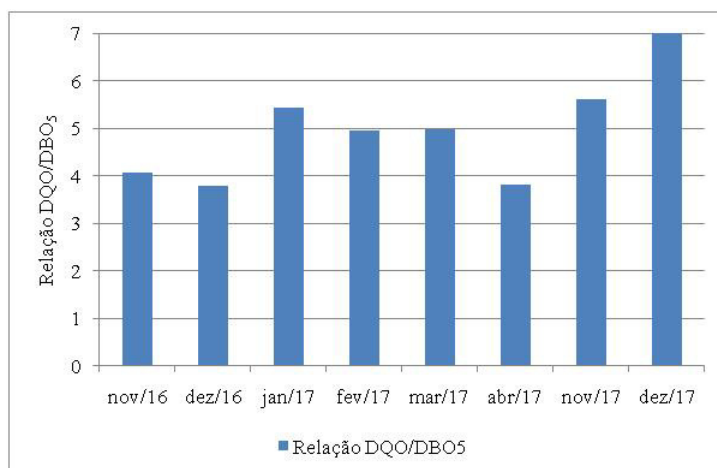


Figura 81 – Dados da relação DQO/DBO₅ na ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

7.8 Análise dos piezômetros da ETE Santa Fé

O lançamento de efluente tratado da ETE Santa Fé é feito através de disposição no solo e o monitoramento destes e das águas subterrâneas começou a ser feito no mês de setembro de 2016. Assim, os parâmetros nitrato e Escherichia Coli são considerados apenas para esta estação, visto que eles são de fundamental importância para a identificação de contaminação nas águas subterrâneas.

Nas Figuras 82 e 83 é apresentado o monitoramento do parâmetro nitrato. No período de estiagem, os maiores valores de nitrato (10 mg/L) foram visualizados nos meses de setembro e outubro de 2016 e também no mês de julho de 2017 para os piezômetros de número 2 e 5. No período chuvoso, os piezômetros 2 e 4 tiveram picos nos meses de dezembro de 2016 (10 mg/L) e março de 2017 (8 mg/L).

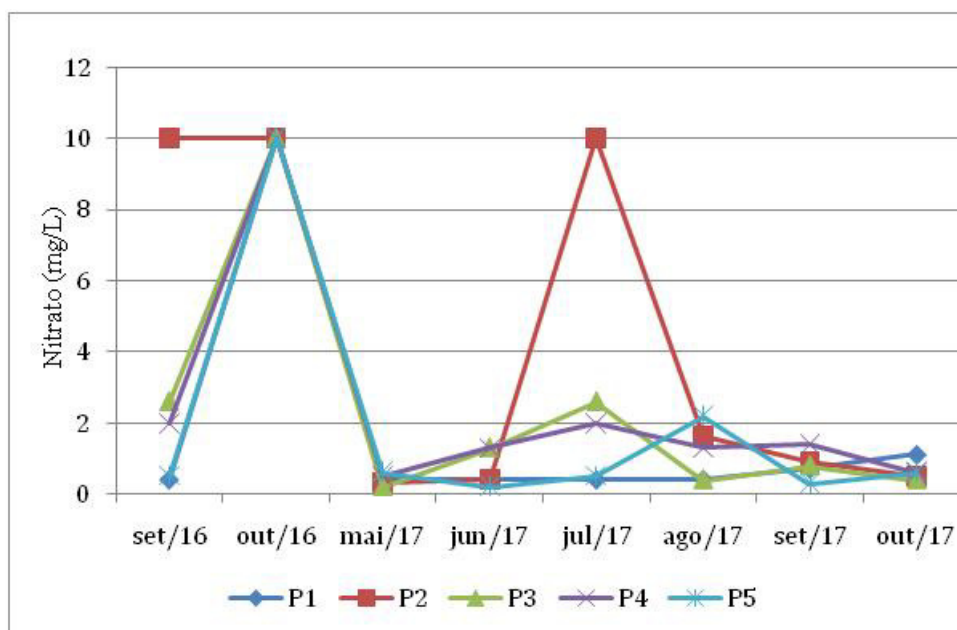


Figura 82 – Dados do monitoramento de nitrato na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

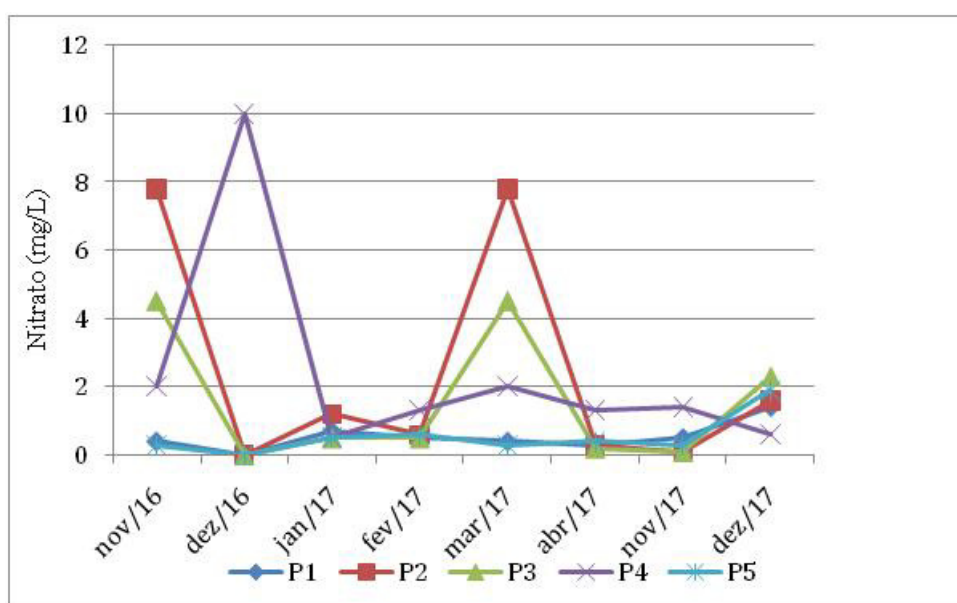


Figura 83 - Dados do monitoramento de nitrato na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

Para o parâmetro *Escherichia Coli*, os piezômetros 1 e 5 apresentam os maiores valores tanto no período seco quanto no chuvoso, sendo que no mês de novembro de 2017, o piezômetro 5 apresentou um valor para esse parâmetro de aproximadamente 30 NMP/100 mL.

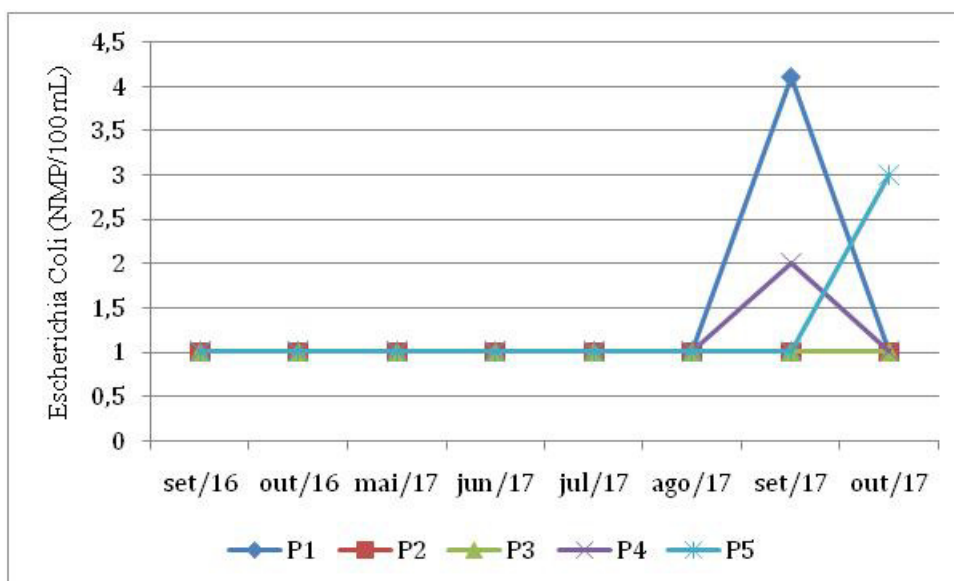


Figura 84 – Dados do monitoramento de Escherichia Coli na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período de estiagem.

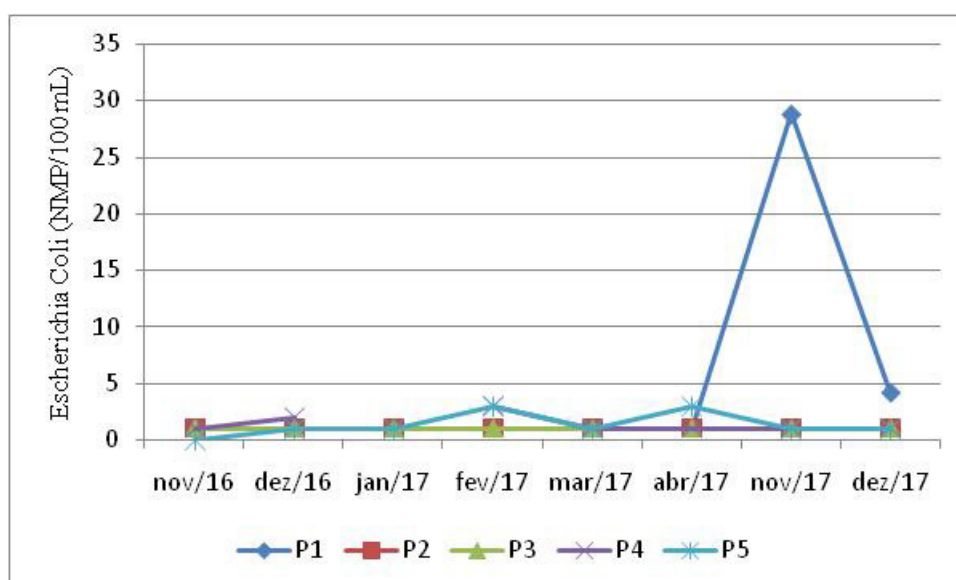


Figura 85 - Dados do monitoramento de Escherichia Coli na área de disposição de efluentes no solo da ETE Santa Fé durante o período chuvoso.

O Quadro 5 apresenta as eficiências médias previstas em projeto para cada estação de tratamento de esgoto de Palmas, assim como as eficiências médias reais obtidas considerando os relatórios mensais de monitoramento dos anos de 2016 e 2017.

Quadro 5 - Eficiências médias reais e previstas de remoção de DBO₅ nas ETEs de Palmas - TO

ETE	Eficiência média	
	Real (%)	Prevista (%)
Aureny	96,69	90
Norte	84,28	90
Taquari	61,97	94
Santa Fé	86,56	94

Fonte: Dados da pesquisa.

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores de pH a montante e a jusante do corpo receptor para a ETE Aureny tiveram valores semelhantes tanto no período seco quanto no período chuvoso, com média de 7,4, dentro do limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que é de 6 a 9. No entanto, os valores de pH aumentam a jusante em relação a montante, o que pode ser justificado pelos altos valores de DBO₅ no ponto de lançamento de efluentes, chegando a apresentar um valor de 23 mg/L no mês de novembro de 2017. Como os valores de DBO₅ do efluente bruto atendem em sua maioria à Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, com média aproximada de 52 mg/L), entende-se que o fator de diluição do ponto de lançamento de efluentes no lago não atende à vazão de lançamento da estação.

A estação está lançando uma carga orgânica alta, o que provoca um enriquecimento do corpo receptor neste ponto que pode ser quantificado em termos de nutrientes, conforme é apresentado nas Figuras 24 e 25 (nitrogênio amoniacal total) e 26 e 27 (fósforo total). O aumento de nutrientes causa o florescimento de algas, quantificada em termos de clorofila “a” (Figuras 28 e 29), que consomem gás carbônico, produzindo oxigênio dissolvido e elevando o valor de pH da massa líquida. Assim, se faz necessária a avaliação da zona de mistura em que há o ponto de lançamento dos esgotos tratados a fim de que seja observado o tempo em que ocorrerá a autodepuração do manancial.

A ETE Aureny recebe também para tratamento os esgotos dos caminhões limpa fossa que descarregam o líquido no sistema antes do tratamento preliminar, aumentando o valor de DBO₅.

Acerca da ETE Norte, o parâmetro de clorofila “a” não apresenta correlação com os valores alterados de OD a montante e a jusante do ponto de lançamento, pois os valores de OD acima de 9, encontrados em novembro de 2016 e em novembro de 2017 não refletem incremento nos valores de clorofila “a” encontrados no mesmo período, que ficaram abaixo de 20 µg/L (Figuras 46 e 47). Não foi possível também estabelecer uma relação com os dados de DBO₅ e OD do manancial, entretanto, é importante salientar, que à montante do ponto de lançamento da ETE Norte se encontra o córrego Água Fria e à jusante, o efluente é lançado no lago da UHE Lajeado, corpos hídricos com diferentes comportamentos.

A relação DQO/DBO₅ apresentou valores maiores que 2,5 para a ETE Norte principalmente no período de estiagem, chegando a 17,70 mg/L nos meses de março e maio de 2017, levando a concluir que o durante tal período, a estação precisaria de pós tratamento químico.

Quanto ao desempenho operacional, no projeto da ETE Taquari, foi estimado que remoções mínimas de DBO₅ na ordem 94%. No entanto, os resultados do monitoramento do sistema implantado são em média 61,97% de eficiência. Embora esse resultado atenda a eficiência mínima de 60% preconizada na Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, conclui-se que a estação não está atuando com a eficiência que foi prevista, sendo que são necessárias intervenções no sistema adotado a fim de se ter essa garantia.

Os meses de fevereiro, março e abril de 2017 não houve eficiência de remoção de DBO₅ e sim um aporte de DBO₅.

Quadro 6 – Valores de DBO₅ para a ETE Taquari e seu corpo receptor de efluentes

Meses	ETE Taquari		Córrego Taquari	
	DBO ₅ efluente bruto	DBO ₅ efluente tratado	DBO ₅ montante	DBO ₅ jusante
Fev/17	21	46	6	4
Mar/17	44	58	< 4	< 4
Abr/17	120	120	6	10

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da análise dos dados apresentados no Quadro 6 pode ser observado que como a ETE Taquari é composta por reator UASB seguida de RLA convencional, os valores podem ter correlação com o período de chuva, em fevereiro e março de 2017. Assim, possivelmente houve um incremento de vazão na ETE devido à água de infiltração na rede. Como os dois processos têm um tempo de detenção pequeno, eles não absorvem as vazões de pico do sistema, então as unidades não obtiveram remoção de DBO₅, pelo contrário, houve um aumento da carga orgânica efluente em relação à entrada da estação.

No mês de abril de 2017, a entrada e a saída se mantiveram com valores iguais, não houve remoção de matéria orgânica, o que é sinônimo de infiltração na rede. No entanto, à jusante do córrego se observa que o valor da DBO_5 é bem maior que o valor de montante, o que não aconteceu nos meses anteriores, pois justamente nos meses de fevereiro e março, apesar da estação não ter removido matéria orgânica, o córrego Taquari teve seu valor de DBO_5 em torno de 4 mg/L, fato que pode ser justificado pelo aumento do escoamento superficial no córrego no período de chuva.

Com os dados analisados foi possível observar que esta ETE funciona de acordo com o projetado em períodos de estiagem. No entanto, nos períodos de chuva o esgoto chega com um maior fator de diluição, possivelmente devido a água de infiltração na rede e acaba por carrear o lodo que está dentro das unidades de tratamento para a saída da estação.

Destaca-se que a outorga para lançamento de efluentes tratados no córrego Taquari, concedida pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), está vencida desde 22/09/2016 e até o final deste trabalho não foi feita a renovação da mesma. A ETE Taquari está funcionando com uma licença municipal de operação que tem validade até 24 de novembro de 2019, no entanto, essa licença foi concedida desde que fossem cumpridas as condicionantes impostas, uma delas, que a estação atendesse à vazão média de tratamento de 10 L/s.

O parâmetro OD apresentou valores próximos de zero tanto no período seco quanto no período de chuva (Figuras 64 e 65), em desconformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 para corpos hídricos de Classe 2, que preconiza como valor mínimo de OD 5 mg/L.

Basso e Pizzato (2011) explicam que baixas concentrações de oxigênio, ou seja, valores inferiores a 5 mg/L podem indicar processos de consumo de oxigênio através de efluentes de esgotos domésticos, podendo conduzir a morte de peixes mais exigentes em relação aos níveis de oxigênio na água.

O ponto onde está ocorrendo o lançamento de efluente tratado apresenta um acréscimo de sais, quantificado no parâmetro condutividade (Figuras 66 e 67), que representa um aumento da concentração de poluentes.

A DBO_5 no ponto a jusante do corpo receptor onde ocorre a medição apresenta valores altos, como no mês de outubro de 2016 onde se tem um valor de 16 mg/L, quando se faz a comparação ao valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de

2005 para corpos hídricos de Classe 2, que é de 5 mg/L, confirmando que o fator de diluição do ponto de lançamento de efluentes é insuficiente para atender à vazão de lançamento da estação. Além disso, os valores da relação DQO/DBO₅ na estação indicam que essa estação vai precisar de pós tratamento químico, conforme Jardim e Canela (2004), pois os valores estão acima de 2,5, com média de 4,21.

Observa-se o acréscimo dos valores de nitrogênio amoniacal total (Figuras 68 e 69), e de fósforo total (Figuras 70 e 71), nesse ponto, entretanto, não se tem o florescimento de algas, quantificado em clorofila “a” (Figuras 72 e 73), pois esses nutrientes não estão na forma em que são absorvidos pelos vegetais, assim não se tem produção de oxigênio dissolvido, a vazão lançada está acima da capacidade de autodepuração do córrego nesse ponto.

Logo, constata-se que a zona de mistura onde há o ponto de lançamento dos esgotos tratados no córrego Taquari não está adequada, pois os resultados das análises da qualidade do corpo receptor indicam que a autodepuração não está sendo efetiva.

Ademais, com a integração do sistema esgotamento sanitário da ETE Santa Bárbara à ETE Taquari, o córrego Taquari passou a receber uma vazão de lançamento de efluentes (11,08 L/s) maior do que a definida em sua outorga (10 L/s).

Quanto à estação Santa Fé, os gráficos da relação DQO/DBO₅ na estação (Figura 80 e 81) apresentam um comportamento uniforme ao longo do ano, tanto no período de seca quanto no período chuvoso e os valores dessa relação estão quase sempre acima de 3, com exceção de setembro de 2017, que se apresenta 2,6, donde se sugere um pós-tratamento químico.

Os valores da relação DQO/DBO₅ indicam que os constituintes do efluente da ETE Santa Fé são em sua maior parte inorgânicos, por apresentarem valores bem acima de 2,5 (JARDIM E CANELA, 2004).

Na análise dos parâmetros obtidos através dos piezômetros, observou-se que durante a estiagem os piezômetros 1 e 5 são os que apresentam maiores valores de nitrato, parâmetro que indica contaminação na água subterrânea na medida em que há um enriquecimento de nutrientes. Entretanto, durante o período chuvoso, os piezômetros que tiveram os valores de nitrato alterados foram os 2 e 4, conforme as Figuras 82 e 83.

Com relação aos dados de *Escherichia Coli*, os piezômetros que mais sofreram interferência foram o 1 e o 5, como mostra as Figuras 84 e 85. Assim, a área de infiltração

parece ter um caminho preferencial de deslocamento de fluxo, o que compromete a avaliação da eficiência do processo.

9 CONCLUSÃO

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 em seu art. 42 determina que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces são consideradas Classe 2, condição em que se aplica aos corpos receptores de efluentes abordados nesse estudo. Porém, verifica-se a partir da análise dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, que parte desses resultados esteve em desacordo com os padrões estabelecidos em legislação vigente para águas doces de Classe 2.

A ETE Aurenny apresentou floração acentuada de algas no ponto de lançamento de efluentes, donde se observou que durante o dia se tem excesso de OD e pH elevado, entretanto, durante a noite, é possível ter condições de anaerobiose. Assim, sugere-se que haja a mudança do ponto de lançamento de maneira a melhorar o fator de diluição.

No que diz respeito aos dados de outorga, a ETE Aurenny atende à vazão estabelecida, operando com 34,27 L/s, porém, com o posterior recebimento dos efluentes da ETE Santa Bárbara (6,71 L/s), a estação passará a operar com uma vazão de lançamento (40,98 L/s) de efluentes, que é próxima ao limite de outorga (49,44 L/s).

Com o incremento de vazão à ETE Aurenny, presume-se que devem ser previstas melhorias na configuração da estação, confirmando a necessidade um estudo mais elaborado da zona de mistura. Além disso, com o crescimento da demanda na região sul, todas as ETES compactas (Taquari, Santa Bárbara e Santa Fé) funcionarão como estações elevatórias, recalcando o efluente para a ETE Aurenny.

A ETE Norte, projetada para atingir 90% de eficiência, apresentou uma remoção de matéria orgânica de 84,28%, maior que a mínima de 60% preconizada pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, mas que não atende ao previsto inicialmente. Ademais, os valores de DBO₅ do corpo receptor ultrapassam o limite máximo de 5 mg/L definido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Os demais parâmetros estão de acordo com os VR da Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. A princípio, os processos adotados nesta estação estão promovendo a eficiência adequada para a não degradação do meio ambiente, desde que não mencionado a produção de lodo gerado, pois a destinação definida em projeto não está sendo realizada. Quanto a vazão, os dados de

lançamento informados (190 L/s) são referentes ao ano de 2013, apesar da fonte ser da ANA do ano de 2017.

No que tange à ETE Taquari, a remoção de matéria orgânica em 94% atende o que preconiza a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, entretanto, foi observado que a relação DQO/DBO₅ nos períodos analisados apresentam valores médios acima de 2,5, o que sugere a necessidade de implantação de pós tratamento químico e mudança do ponto de lançamento.

Para a ETE Taquari, a saída para este problema pode ser a criação de um tanque de equalização de forma a se manter a vazão de entrada das unidades dentro do projetado, entretanto, essa alternativa tem que ser analisada in loco. Em relação à matéria orgânica, há a remoção de DBO₅ particulada, porém, a DBO₅ solúvel não é removida no sistema. Assim, sugere-se a adoção de tratamento químico, onde essas partículas em dispersão seriam aglutinadas e removidas no sistema, tendendo a melhorar a eficiência.

Ademais, o córrego Taquari se encontra em um estado crítico, com valores de oxigênio dissolvido próximos de zero, sem condições de atender a vazão de lançamento de efluentes da estação (11,08 L/s) que é maior que a vazão de lançamento outorgável (10 L/s). É importante ressaltar que além do manancial não apresentar capacidade em receber efluentes sanitários, essa outorga ainda não foi renovada. Recomenda-se uma intervenção urgente na estação, de forma que o corpo receptor de efluentes tratados seja preservado e recuperado, com a desativação da estação, ou que os processos de tratamento implantados garantam uma eficiência que possibilite a autodepuração do corpo de água.

A ETE Santa Fé faz sua disposição do efluente tratado no solo e foi observado que os piezômetros apresentam comportamentos distintos levando a crer que a distribuição de fluxo no solo não acontece uniformemente, conforme mencionado no relatório da FMA (PALMAS, 2017g).

A ETE Prata não foi mencionada, pois foi desativada em dezembro de 2017 e seu efluente foi direcionado para a ETE Norte. Assim, na vazão da ETE Norte foi somada a vazão anteriormente dimensionada com a vazão da ETE Prata. Com isso, em 2018 a ETE Norte tenderia à vazão máxima outorgada, que em projeto aconteceria somente em 2020.

Dentre as ETEs em operação, a ETE Norte foi a ETE que apresentou os melhores resultados em relação aos parâmetros analisados e a ETE Taquari a que apresenta o pior

cenário, assim como a pior eficiência de remoção de DBO_5 . Nenhuma estação apresentou todos os parâmetros dentro do que é previsto e estabelecido nas legislações vigentes.

10 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados colhidos neste trabalho e em função da indisponibilidade de algumas informações e de tempo, recomenda-se para desdobramentos futuros da pesquisa desenvolvida:

- Análise dos resultados de monitoramento de forma a correlacioná-los com os horários de coletas das amostras, pois os mananciais apresentam comportamentos diferentes ao longo do dia.
- Análise da viabilidade dos processos de disposição dos lodos das ETEs em operação, visto que os dados sobre o tratamento do efluente coletado são objeto de legislação específica e o lodo gerado, seus custos e benefícios, não tem a mesma prioridade. Assim as estações analisadas geram lodo e nos relatórios de monitoramento só constam informações sobre a fase líquida. Ademais, em nenhum dos relatórios se faz menção à geração e caracterização dos lodos gerados nos processos.
- Análise e acompanhamento mais aprofundado dos resultados observados nos piezômetros, poços de monitoramento do lençol freático, em algumas estações de tratamento de efluentes, pois esses podem indicar contaminação das águas subterrâneas.
- A DBO_5 e a DQO nos sistemas analisados apresentaram valores superiores aos mencionados na literatura, mesmo para efluentes de despejos doméstico forte. Com isso, recomenda-se que isso seja objeto de análise, no entanto, seria necessário acesso aos dados de operação do sistema.
- Análise do ponto de lançamento das ETEs Aurenny e Taquari e como está funcionando a de zona de mistura.
- Recomenda-se aos conselhos da área de recursos hídricos e meio ambiente uma maior restrição em relação à eficiência mínima de remoção de DBO_5 de 60% definida na Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVES, T. D. C. V. **Análise de desempenho de estações de tratamento de esgoto visando condições de outorga e enquadramento de corpos hídricos: o caso das ETEs Aurenny e Prata, Palmas – TO.** 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal do Tocantins, Palmas – TO.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório de esgotamento sanitário municipal: Atlas esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas.** Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Tocantins/Relatorio_Geral/Palmas.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **RESOLUÇÃO 458, DE 8 DE JULHO DE 2009.** Outorgar a Companhia de Saneamento do Tocantins - SANEATINS, CNPJ 25.089.509/0001-83, doravante denominada Outorgada, o direito de uso de recursos hídricos para diluição de efluentes tratados no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Lajeado. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2009/458-2009.pdf>>. Acesso em: 28 de jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9648: Estudo de Concepção de sistemas de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

BASSANI, F. **Diagnóstico da Situação Atual do Sistema de Esgotos no Campus 1 da Universidade de Passo Fundo – RS: Parâmetros Iniciais para o Projeto de uma Estação de Tratamento Compacta.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. Disponível em: <<http://docs.upf.br/download/ppgeng/2005/2003-fabricio-bassani.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

BASSO, L. A.; PIZZATO, F. **A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS.** 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/.../2177...2011v26n52p145/23032>>. Acesso em: 24 jan. 2018.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

_____. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 18 set. 2017 a.

_____. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 18 set. 2017 b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº. 92, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 19 set. 2017c.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº. 92, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 19 set. 2017d.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. 2010. 2^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 588 p. (Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 5).

FESTI, A. Vanderlei. **Águas de chuva na rede de esgoto sanitário – suas origens, interferências e consequências**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, set 2005. Anais. Campo Grande. Disponível em: >
<http://docplayer.com.br/21513585-Ii-294-aguas-de-chuva-na-rede-de-esgoto-sanitario-suas-origens-interferencias-e-consequencias.html>>. Acesso em: 25 set. 2017.

GARCIA, M. M. **Avaliação comparativa de desempenho operacional de ETEs do município de Blumenau**. 2016. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176192>>. Acesso em: 21 mar. 2018

GREICK, M. **Prefeitura autoriza ligação de rede coletora de esgoto a ETE Taquari**. 23 fev. 2016. Disponível em:
<<http://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/1501993/prefeitura-autoriza-ligacao-de-rede-coletora-de-esgoto-a-ete-taquari/>>. Acesso em: 10 out. 2017.

HAANDEL, A. C. van; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual de para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

HOBÍ, J. C. **Análises laboratoriais físico-químicas e biológicas da estação de tratamento de esgoto de Balneário Camboriú**. 2002. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Curso de Química, Santa Catarina. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81238>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Capital mais jovem do Brasil e referência no Norte em saneamento básico**. 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/capital-mais-jovem-do-brasil-e-referencia-no-norte-em-saneamento-basico>>. Acesso em: 22 set. 2017.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos**. 2004. Campinas: Unicamp. (Caderno temático, 1). Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LÉO, L.F.R. **Investigação da toxicidade, tratabilidade e formação de subprodutos tóxicos em efluentes clorados de lagoas de estabilização com e sem pós-tratamento.** 2008. 160 p.

Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-12092008-151226/pt-br.php>. Acesso em: 22 mar. 2018.

LIMA, C. S. et al. **Diagnóstico do Esgotamento Sanitário da Cidade de Palmas - TO.**

2011. Disponível em: <http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2011-1/4-periodo/Diagnostico_do_Esgotamento_Sanitario_da_Cidade_de_Palmas-TO.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2017.

LINS, G. A. **Impactos ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).** 2010.

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2017.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. **Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento.** 2005. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000100005>.

Acesso em: 11 ago. 2017.

PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO.** Anexo II ao Decreto

nº 700, de 15 de janeiro de 2014. Volume I: Considerações Iniciais. 2014. Disponível em: <http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_01_Consideracoes_Iniciais_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017a.

_____. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO.** Anexo II ao Decreto nº

700, de 15 de janeiro de 2014. Volume III: Drenagem Urbana. 2014. Disponível em: <http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017 b.

_____. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO.** Anexo II ao Decreto nº

700, de 15 de janeiro de 2014. Volume II: Água e Esgoto. 2014. Disponível em: <http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_02_Agua_Esgoto_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 30 set. 2017 c.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Norte. Módulo II. Palmas, 2017d.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Taquari. Volume III. Palmas, 2016e.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Taquari. Volume I. Palmas, 2013f.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Santa Fé. Volume I. Palmas, 2013g.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Santa Fé. Volume III. Palmas, 2017h.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Aurenny. Volume IX. Palmas, 2017i.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Prata. Módulo II. Palmas, 2010j.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. SABESP. Tratamento de Esgoto por Lodos Ativados. Disponível em:

<http://www.sabesp.com.br/sabespensina/intermediário/lodos_Ativados/default.htm>. Acesso em: 21 mar. 2018.

SILVA, S. A. **On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in northeast Brazil**. 1982. Tese de Doutorado. Universidade de Dundee, UK. Disponível em:

<<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=138675&indexSearch=ID>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

TOCANTINS. **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas**. Fase C – Diretrizes e Alternativas. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Natalia/Downloads/Relatorio_Fase_C_-_Final.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017a.

TOCANTINS. Assembleia Legislativa do Estado do Tocantins. Lei nº. 1.307, de 22 de março de 2002, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências.

Diário Oficial do Estado, Palmas, TO, nº. 1156, 22 mar. 2002. Disponível em:

<<http://central3.to.gov.br/arquivo/225863/>>. Acesso em: 15 nov. 2017b.

TOCANTINS. Palácio Araguaia. **Decreto nº. 2.432, de 6 de junho de 2005**, regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os arts. 8º, 9º e 10º da Lei 1307,

de 22 de março de 2002. Disponível em: < <http://central3.to.gov.br/arquivo/107424/>>. Acesso em: 15 nov. 2017c.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, Ano II, Número 5. 1999. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31713413009>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

VON SPERLING, M. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 1996. Livro. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 1997. 2^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2005. Livro. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais.

ZILLMER, T.A. et al. **Avaliação de algumas características físico-químicas da água do rio Ribeirão Salgadinho, Nova Xavantina/MT**. 2007. Disponível em: <<https://www.ce-unesp.org.br/holos/article/download/1382/1141>>. Acesso em: 25 jan. 2018.