



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



Luciene da Silva Santos

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE REÚSO DA ÁGUA

Tese de Doutorado



Campo Grande, MS
Novembro/2018



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



Luciene da Silva Santos

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
DE ESGOTO PARA FINS DE REÚSO DA ÁGUA**

Tese de Doutorado

Campo Grande, MS
Novembro/2018

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais

Luciene da Silva Santos

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE REÚSO DA ÁGUA

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutora no
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, área
de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Paula Loureiro Paulo

Aprovada em: 22/11/2018

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
Presidente

Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Magri
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Prof.^a Dr.^a Keila Roberta Ferreira de Oliveira
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS

Prof. Dr. Jhonatan Barbosa da Silva
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Ribeiro
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS

Campo Grande, MS
Novembro/2018

Santos, Luciene da Silva

Avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgoto para fins de reúso da água /
Luciene da Silva Santos – Campo Grande, 143p., 2018.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Paula Loureiro Paulo

1. Tecnologias de tratamento. 2. Esgoto doméstico. 3. Reúso da água.

DEDICATÓRIA

*À minha mãe Neide...
que é uma dádiva divina em minha vida.
À memória de meu querido pai, Pedro
Saudades... (1938 – 2010).*

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e fortaleza, socorro bem presente em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide pela orientação, conhecimento, experiências compartilhadas, incentivo, amizade, apoio e confiança.

À Prof.^a Dr.^a Paula Loureiro Paulo pela coorientação, pelas inúmeras vezes em que me ajudou e me incentivou, pelas sugestões e direcionamento, pelo carinho e maravilhosa amizade.

À Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Magri, pela ajuda imensurável, conhecimento, amizade e carinho.

À minha mãe que eu tanto amo, pelo carinho, apoio, incentivo, amor e companheirismo.

À minha irmã Lília e sobrinhas Camila e Mariana, pelo amor, carinho, apoio e momentos de descontração.

À minha tia Luiza, pelo carinho, apoio e compreensão em todos os momentos.

À minha prima Leonora, que está animada para cursar Engenharia Ambiental.

Aos meus familiares, irmãos, sobrinhas, sobrinhos, tias, tios, primas e primos que me apoiaram neste percurso.

Aos amigos Marcelo, Keila, Jhon, Lilly, Hugo, Cris, Thaís, Mayara, Felipe, Glauber pelos incentivos, apoio e amizade.

Ao amigo Hugo Henrique pela ajuda valiosa com a análise de viabilidade econômica, apoio, incentivo e amizade.

À amiga Márcia, Pit, que super me incentivou a seguir em frente, a focar mais no que é importante e a reduzir a ansiedade. Obrigada pelo carinho, apoio e amizade.

Ao amigo Dennis da África do Sul, pela troca de conhecimento e ajuda com AQRM.

Aos amigos Geici, Kiyoshi, Ándrea, Célia, Roger, Renato, Thiago, Luís, Raiany e Nivaldo, pelo apoio, carinho, amizade e incentivo.

Aos professores da Engenharia Ambiental e PGTA da UFMS, os quais contribuíram para a minha formação.

À UFMS pelo suporte.

À Empresa concessionária de esgoto pela disponibilização dos dados das ETEs.

A todas as pessoas que, de alguma maneira, participaram, contribuíram, oraram pela elaboração e finalização desta tese.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.”

*“E em ti confiarão os que conhecem o Teu nome;
porque, tu, Senhor, nunca desamparaste os que te buscam”.*

Salmos 9:10

*“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar,
divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita
que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua
misterioso diante de meus olhos”.*

Isaac Newton

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS	xviii
RESUMO.....	xix
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivo Geral.....	23
2.2. Objetivos Específicos	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1. Níveis de Tratamento	25
3.2. Critérios de projeto para lagoas anaeróbias	26
3.2.1. Estimativa da DBO efluente da lagoa anaeróbia	28
3.3. Critérios de projeto para lagoas facultativas	28
3.4. Estimativa do valor de DBO efluente	31
3.4.1. Regime hidráulico de mistura completa	32
3.4.2. Regime hidráulico de fluxo disperso	33
3.5. Critérios de projeto para lagoas de maturação	35
3.6. Viabilidade econômica reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgoto tratado	36
3.6.1. Informações básicas sobre o transporte de efluente tratado de ETEs.....	38
3.6.2. Padrões de Qualidade da água de reúso.....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1. Critério de seleção das Estações de Tratamento de Esgoto	40
4.2. Estações de Tratamento de Esgoto selecionadas	41
4.3. Descrição do tratamento preliminar.....	42
4.4. Análises físico-químicas e microbiológicas	48
4.5. Tratamento e Análise dos Dados	48
4.6. Análise da viabilidade econômico financeira do reúso de efluente tratado de ETEs	49

4.6.1.	Valor presente líquido	49
4.6.2.	Estimativa da demanda de água de reúso	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1.	Caracterização da qualidade do esgoto bruto, afluente.....	55
5.2.	Caracterização da qualidade do esgoto tratado, efluente	61
5.3.	Avaliação do desempenho das ETEs em termos de eficiência de remoção de DBO ₅ 67	
5.3.1.	Tecnologia 1: Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa (LA+LF)	67
5.3.2.	Tecnologia 2: Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação (LF+LM).....	68
5.3.3.	Tecnologia 3: Reator UASB.....	74
5.3.4.	Tecnologia 4: Reator UASB + Biolfiltro Aerado Submerso (UASB + BAS) ...	81
5.3.5.	Tecnologia 5: Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário (UASB + FBP + DS)	82
5.3.6.	Tecnologia 6: Reator UASB + Físico-Químico + Decantador Secundário (UASB + FQ + DS)	89
5.3.7.	Tecnologia 7: Reator UASB + Físico-Químico + Desinfecção (UASB + FQ + DES) 91	
5.4.	Avaliação da Taxa de Aplicação Superficial (L _s) em lagoas facultativas seguidas por lagoas de maturação – estudo de caso da ETE 2A	92
5.4.1.	Memorial descritivo e dimensionamento	92
5.4.2.	Análise de correlações entre parâmetros de dimensionamento em lagoas facultativas.....	94
5.5.	Potencial da água de reúso de efluentes de ETEs	98
5.6.	Viabilidade econômico financeira de reúso de efluente tratado em ETEs no Estado de Mato Grosso do Sul	105
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
7.	REFERÊNCIAS	110
	ANEXO A	116
	Eficiências de remoção de coliformes para distintos valores de TDH, profundidade e relação L/B, para temperatura = 20°C	116
	ANEXO B	117
	Eficiências de remoção de coliformes para distintos valores de TDH, profundidade e relação L/B, para temperatura = 25°C	117
	ANEXO C	118
	Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2013	118
	ANEXO D	120
	Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2014	120
	ANEXO E.....	122
	Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2015	122

ANEXO F	124
Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da ETE 2A no ano de 2016	124
ANEXO G	126
Volumes estimados de água de reúso para limpeza de vias públicas	126
ANEXO H	129
Estimativa do potencial de demanda de água de reúso na construção civil	129
ANEXO I.....	132
Demanda de água de reúso para desobstrução da rede.....	132
ANEXO J.....	134
Estimativas das receitas arrecadadas com ou sem a prática do reúso nos municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul	134
ANEXO L.....	136
Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) da utilização de efluentes tratados de ETES	136
ANEXO K	139
Tecnologia de Tratamento 1	139
ANEXO M.....	140
Tecnologia de Tratamento 2	140
ANEXO N	142
Tecnologia de Tratamento 4	142
ANEXO O	143
Tecnologia de Tratamento 5	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Taxas de aplicação superficiais no Brasil, em função da temperatura média do ar no mês mais frio, de acordo com a equação 3.2. (Adaptado de von Sperling, 2017).	30
Figura 4.1. Fluxograma do Tratamento Preliminar das ETEs.	43
Tabela 4.2. Parâmetros analisados e métodos analíticos.	48
Tabela 4.3. Ranking de municípios de Mato Grosso do Sul em relação ao valor adicionado bruto a preços concorrentes da indústria.	53
Figura 5.1. a) Variação da relação DQO/DBO ₅ do esgoto bruto das 19 ETEs; b) box plot dos valores encontrados.	57
Figura 5.2. ETE 1A. a) comportamento das vazões entre os anos monitorados; (b) hidrograma das vazões médias mensais.	67
Figura 5.3. ETE 1A: a) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; b) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	68
Figura 5.4. ETE 2A. a) hidrograma das vazões médias mensais; b) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	69
Figura 5.5. ETE 2A: a) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; b) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	70
Figura 5.6. ETE 2B. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	71
Figura 5.7. ETE 2B: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	71
Figura 5.8. ETE 2C: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	72
Figura 5.9. ETE 2D: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	73
Figura 5.10. ETE 2E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	73
Figura 5.11. ETE 2E: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	74

Figura 5.12. ETE 3A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	75
Figura 5.13. ETE 3A: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	75
Figura 5.14. ETE 3B: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	76
Figura 5.15. ETE 3B: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	77
Figura 5.16. ETE 3C: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	77
Figura 5.17. ETE 3C: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais	78
Figura 5.18. ETE 3D: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	79
Figura 5.19. ETE 3D: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	79
Figura 5.20. ETE 3E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	80
Figura 5.21. ETE 3E: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	80
Figura 5.22. ETE 4A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	81
Figura 5.23. ETE 4A: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	82
Figura 5.24. ETE 5A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados	83
Figura 5.25. ETE 5A: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	83
Figura 5.26. ETE 5B: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados	84

Figura 5.27. ETE 5B: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	85
Figura 5.28. Vazões da ETE 5C: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	85
Figura 5.29. ETE 5C: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	86
Figura 5.30. ETE 5D: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	87
Figura 5.31. ETE 5D: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	87
Figura 5.32. ETE 5E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	88
Figura 5.33. ETE 5E: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	89
Figura 5.34. ETE 6A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	90
Figura 5.35. ETE 6A: A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	90
Figura 5.36. ETE 7A. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.	91
Figura 5.37. ETE 7A. A) valores de DBO ₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO ₅ e box plot das médias anuais.	92
Figura 5.38. Correlação entre TDH e vazão e entre TDH e taxa de aplicação superficial (L _s).	95
Figura 5.39. Correlações entre Vazão, TDH, L _s e DBO ₅ efl, eficiência de remoção de DBO ₅ afl e Unidades log removidas de <i>E. coli</i>	96
Figura 5.40. Comportamento dos parâmetros DBO ₅ afluyente e efluente, vazão, taxa de aplicação superficial (L _s) e eficiência de remoção de DBO ₅ ao longo dos 4 anos, nas lagoas facultativas.	97
Figura 5.41. Correlação entre vazão e DBO ₅ afluyente.	98

Figura 5.42. Variação da média anual do número de <i>E. coli</i> das ETEs e padrões de reúso do efluente tratado.	104
Figura 5.43. Box plot de <i>E. coli</i> efluente em unidades logarítmicas das 19 ETEs.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Número de ETEs em função da tecnologia de tratamento em amostragem realizada na América Latina.	24
Tabela 3.2. Concentrações típicas de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos domésticos.	24
Tabela 3.3. Taxas de aplicação volumétrica admissíveis para projeto de lagoas anaeróbias, em função da temperatura.	26
Tabela 3.4. Eficiências de remoção de DBO ₅ em função da temperatura, em lagoas anaeróbias.	28
Tabela 3.5. Características e equações para cálculo do valor de DBO ₅ solúvel efluente (S) dos modelos hidráulicos usualmente utilizados no dimensionamento e avaliação de desempenho das lagoas de estabilização.	31
Tabela 3.6. Relação entre a viscosidade cinemática e a temperatura da água.	35
Tabela 3.7. Faixas de valores de número de dispersão (d).	35
Tabela 3.8. Tarifas de água em função da fonte de abastecimento.	38
Tabela 3.9. Padrões de qualidade de água de reúso para irrigação paisagística, lavagem de logradouros, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos e lavagem de veículos.	39
Tabela 4.1. ETEs selecionadas, vazão e população de projeto e tecnologias de tratamento.	41
Figura 4.2. Corte esquemático do desarenador (tratamento preliminar).	44
Figura 4.3. Fluxograma da Tecnologia 1: Tratamento Preliminar + Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa.	45
Figura 4.4. Fluxograma da Tecnologia 2: Tratamento Preliminar + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação.	45
Figura 4.5. Fluxograma da Tecnologia 3: Tratamento Preliminar + Reator UASB.	46
Figura 4.6. Fluxograma da Tecnologia 4: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Biofiltro Aerado Submerso.	46
Figura 4.7. Fluxograma da Tecnologia 5: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário.	46

Figura 4.8. Fluxograma da Tecnologia 6: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Físico-químico + Decantador Secundário.	47
Figura 4.9. Fluxograma da Tecnologia 7: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Físico-químico + Desinfecção.	47
Tabela 5.1. Valores usuais e observados de DBO_5 (mg.L^{-1}) no esgoto bruto (afluente).....	56
Tabela 5.2. Valores usuais e observados de DQO (mg.L^{-1}) no esgoto bruto (afluente).....	57
Tabela 5.3. Concentrações usuais e observadas de nitrogênio amoniacal, N-NH_3 (mg.L^{-1}) no esgoto bruto (afluente).....	58
Tabela 5.4. Concentrações usuais e observadas de fósforo total, P-Total (mg.L^{-1}) no esgoto bruto (afluente).	59
Tabela 5.5. Concentrações usuais e observadas de <i>Escherichia coli</i> (org.100mL^{-1}) no esgoto bruto (afluente).	60
Tabela 5.6. Resumo comparativo da caracterização do esgoto bruto (afluente).	60
Tabela 5.7. Valores usuais e observados de DBO_5 (mg.L^{-1}) no esgoto tratado (efluente).	62
Tabela 5.8. Valores usuais e observados de DQO (mg.L^{-1}) no esgoto tratado (efluente).	62
Tabela 5.9 Concentrações usuais e observadas de N-NH_3 (mg.L^{-1}) no esgoto tratado (efluente).	63
Tabela 5.10. Concentrações usuais e observadas de fósforo total, P-Total (mg.L^{-1}) no esgoto tratado (efluente).....	64
Tabela 5.11. Estatística descritiva do número de <i>E. coli</i> no esgoto tratado das ETEs (efluente), em unidades logarítmicas e UFC.100 mL^{-1}	65
Tabela 5.12. Dimensionamento das lagoas facultativas e de maturação, dados de projeto.	93
Tabela 5.13. Eficiência de tratamento prevista no projeto.	94
Tabela 5.14. Parâmetros de projeto verificados.	94
Tabela 5.15. Análise da capacidade de tratamento das tecnologias utilizadas nas ETEs em estudo, para atingir os níveis indicados (valores de referência) de qualidade do efluente em termos de DBO , DQO, N-NH_3 , e Coliformes termotolerantes (CT_{er}) <i>E. coli</i>	101
Tabela 5.16. Diretrizes gerais para utilização de esgotos tratados.	102

Tabela 5.17. Avaliação do potencial de reúso do efluente tratado com base nas médias anuais do número de <i>E. coli</i>	103
Tabela 5.18. Ano de VPL>0 para os cenários com e sem reúso de água	105

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Afl.	Afluente
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (São Paulo)
C _{Ter}	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DS	Decantador secundário
Efl	Efluente
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FBP	Filtro biológico percolador
LA	Lagoa anaeróbia
LF	Lagoa facultativa
LM	Lagoa de maturação
L _s	Taxa de aplicação superficial
L _v	Taxa de aplicação volumétrica
MS	Mato Grosso do Sul
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

g.L^{-1}	grama por litro
L	litros
m	metro
m^3	metro cúbico
mL	Mililitro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius

RESUMO

Santos, L. S. (2018). Avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgoto para fins de reúso da água. Campo Grande, 2018. 143 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Neste trabalho foi avaliado o desempenho de 19 estações de tratamento de esgoto do Estado de Mato Grosso do Sul, de diferentes tecnologias de tratamento, com a finalidade de avaliar o potencial de reúso do efluente tratado. Também se realizou um estudo de viabilidade econômica do reúso de efluentes tratados de ETEs do Estado. Atualmente, o reúso da água vem sendo aplicado na indústria, na desobstrução de redes pluviais ou de esgoto, limpeza de vias públicas, rega de canteiros, entre outros fins não potáveis. Portanto, o objetivo desse estudo é compreender a relação entre parâmetros de dimensionamento e operação, buscando os arranjos mais eficientes para proposta de reúso do efluente tratado. O desempenho médio observado das ETEs, ficou abaixo do esperado para as tecnologias de tratamento, considerando as análises utilizadas no estudo. Contudo, resultados promissores foram obtidos por algumas ETEs, o que demonstra que as limitações não são somente dos processos de tratamento, mas também podem ser originárias de eventuais problemas de projeto, operação e manutenção dos sistemas. Resultados indicam que a prática do reúso de água melhora significativamente o período de retorno do investimento na universalização do serviço de esgotamento sanitário nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, com médias de melhoria do desempenho financeiro variando entre 10% e 15%, considerando o cenário mais pessimista e o cenário mais otimista, respectivamente.

Palavras-chave: desempenho de ETEs; lagoas de estabilização; reúso da água; tecnologias de tratamento.

ABSTRACT

Santos, L. S. (2018). Evaluation of the performance of wastewater treatment plants for water reuse purposes. Campo Grande, 2018.143 p. Thesis (PhD) – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).

This study evaluated the performance of 19 sewage treatment plants in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, from different treatment technologies, in order to evaluate the reuse potential of the treated effluent. An economic feasibility study was also carried out on the reuse of treated effluents from the State WWTP. Currently, the reuse of water has been applied in industry, in the clearing of rainwater or sewage networks, cleaning of public roads, irrigation of beds, among other non-potable purposes. Therefore, the objective of this study is to understand the relationship between sizing and operation parameters, seeking the most efficient arrangements for the proposed reuse of treated effluent. The mean performance of WWTP was lower than expected for treatment technologies, considering the analyzes used in the study. However, promising results were obtained by some WWTP, which demonstrates that the limitations are not only of the treatment processes, but can also originate from eventual system design, operation and maintenance problems. Results indicate that the practice of water reuse significantly improves the return period of the investment in the universalization of the sanitary sewage service in the municipalities of the State of Mato Grosso do Sul, with averages of improvement of financial performance ranging from 10% to 15%, considering the most pessimistic scenario and the most optimistic scenario, respectively.

Key-words: WWTP performance; stabilization ponds; water reuse; treatment technologies

1. INTRODUÇÃO

O reúso ou reutilização da água não consiste em uma prática recente, sendo realizada desde as antigas civilizações grega e romana. Há registros, por exemplo, de reutilização da água da chuva desde o período Minoico, durante a Idade do Bronze Grega, 2.600 a.C a 1.450 a.C (Angelakis & Spyridakis, 1996). Contudo, o reúso da água é considerado um conceito moderno, inserido no contexto do desenvolvimento sustentável, no âmbito do reaproveitamento de recursos hídricos.

Em muitas partes do mundo, o reúso da água tem sido realizado de forma não planejada na agricultura. Já o reúso planejado é menos comum, mas devido à demanda crescente por água, tem ganhado lugar de destaque no cenário atual, uma vez que se constitui em uma medida para reduzir a demanda por recursos hídricos. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2011), no Brasil, em 2011, cerca de 36 milhões de brasileiros não possuíam acesso à água tratada, 52% da população não tinha acesso à coleta de esgotos e somente 37,5% dos esgotos do país eram tratados.

No entanto, impedimentos financeiros e sociais, como o recurso para tratamento específico visando atingir a qualidade desejada e o transporte até o local de reutilização, a falta de aceitação social, especialmente na utilização de esgoto doméstico, podem limitar a adoção de tecnologias de reúso nos países onde as mesmas não são tradicionalmente aplicadas (Davis & Hirji, 2003).

Existem exemplos de reúso de águas residuárias /esgoto no mundo todo, desde sistemas controlados por rígidas diretrizes governamentais, altamente planejados e apoiados por políticas de gestão de recursos hídricos, a sistemas não controlados provenientes de iniciativas de pequenos agricultores, as quais envolvem riscos à saúde pública (Florencio *et al.*, 2006).

De forma geral, o reúso da água pode ser entendido como a recuperação de águas utilizadas, uma ou mais vezes, para suprir demandas de outros usos, ou até mesmo do uso original. É classificado nas modalidades de reúso potável e reúso não potável, este último inclui: (i) reúso para fins urbanos; (ii) reúso para fins agrícolas e florestais; (iii) reúso para fins ambientais; (iv) reúso para fins industriais; (v) reúso na aquicultura; (vi) reúso na recarga artificial de aquíferos (Florencio *et al.*, 2006).

29 As modalidades de reúso urbano, alguns dos quais serão abordados neste trabalho,
30 envolvem uma diversidade de aplicações, dentre elas: irrigação de campos de esportes, parques,
31 cemitérios, jardins, canteiros de rodovias, etc.; usos ornamentais e paisagísticos; descarga de
32 banheiros; lavagem de veículos; combate à incêndios; limpeza de ruas; usos na construção civil,
33 como a compactação do solo e o abatimento de poeira; desobstrução de redes de esgoto e de
34 drenagem pluvial.

35 No que tange à qualidade do esgoto tratado para fins de reúso, no Brasil, as tecnologias
36 de tratamento são desenvolvidas, em sua maioria, tendo por principal referência o lançamento
37 em corpos hídricos, os quais exigem padrões de qualidade devido à fragilidade dos ecossistemas
38 aquáticos e para a preservação dos usos múltiplos das águas.

39 Mesmo assim, é possível que sistemas de tratamento de esgoto projetados, implantados
40 e operados adequadamente possam garantir efluentes que atendam aos requisitos mínimos para
41 algumas modalidades de reúso urbano.

42 Desta forma, propõe-se neste trabalho, avaliar o desempenho de 19 estações de
43 tratamento de esgoto em operação no Estado de Mato Grosso do Sul, de diferentes arranjos
44 tecnológicos, para entender a relação entre parâmetros de dimensionamento e operação,
45 buscando os arranjos que apresentam maior potencial para utilização do efluente tratado em
46 algumas modalidades de reúso urbano.

47 Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas para verificar a qualidade
48 do efluente e os resultados obtidos foram comparados aos padrões de qualidade para algumas
49 modalidades de reúso urbano.

50 Espera-se com o estudo, contribuir para a preservação dos recursos hídricos, utilizando
51 o efluente tratado das estações de tratamento de esgoto, para outros usos que não necessitem de
52 água potável.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de diferentes arranjos tecnológicos de estações de tratamento de esgoto em operação no Estado de Mato Grosso do Sul visando compreender a relação entre parâmetros de dimensionamento, de operação e eficiência dos sistemas, buscando os arranjos mais eficientes para proposta de reúso do efluente tratado.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar em termos de operação e eficiência média de tratamento os diferentes arranjos tecnológicos de ETEs, com enfoque nos parâmetros de referência para reúso de efluente tratado;
- Avaliar a taxa de aplicação superficial (L_s) em lagoas facultativas seguidas por lagoas de maturação;
- Realizar estudo de viabilidade econômica para o reúso de efluente tratado para os municípios do Estado de Mato Grosso do Sul.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em países de clima tropical, os processos biológicos de tratamento de esgoto podem ser mais simples e econômicos pelo fato de que os micro-organismos se desenvolvem em uma taxa mais elevada em climas quentes. Noyola *et al.* (2012), realizaram uma amostragem de estações de tratamento de esgoto em função da tecnologia mais usada em seis países selecionados na América Latina: Brasil, Chile, Colômbia, Guatemala, México e República Dominicana (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Número de ETEs em função da tecnologia de tratamento em amostragem realizada na América Latina.

Tecnologia de Tratamento	Nº de ETEs (%)
Lagoas de estabilização	1.106 (38%)
Lodos ativados	760 (26%)
UASB	493 (17%)
Lagoas aeradas	140
Wetlands	137
Filtro biológico	125
Tanque Imhoff	84
Filtro anaeróbio	54
Tratamento primário avançado	18
Filtro submerso aeróbio	10
Biodisco	6

Noyola *et al.* (2012).

Os sistemas de lagoas possuem uma grande capacidade de remoção de patógenos. Em especial, quando se incluem as lagoas de maturação e de polimento, sendo possível reduzir a densidade de coliformes termotolerantes abaixo de 10^3 org./100mL⁻¹, que é o padrão de classificação de algumas águas naturais e para as utilizadas para irrigação (Santos *et. al.*, 2006). A Tabela 3.2 apresenta valores típicos de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos domésticos.

Tabela 3.2. Concentrações típicas de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos domésticos.

Micro-organismo	Concentração
<i>Escherichia coli</i>	$10^6 - 10^8$ 100 mL ⁻¹
<i>Salmonella</i> spp.	$1 - 10^4$ 100 mL ⁻¹
<i>Shigella</i> spp.	$1 - 10^3$ 100 mL ⁻¹
<i>Vibrio cholerae</i>	$10 - 10^4$ 100 mL ⁻¹
Cistos de <i>Giardia</i> sp.	$10^2 - 10^4$ L ⁻¹
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	$10^1 - 10^3$ L ⁻¹
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	$1 - 10^2$ L ⁻¹
Ovos de helmintos	$10^1 - 10^3$ L ⁻¹
Vírus	$10^2 - 10^5$ L ⁻¹

Fonte: adaptado de WHO (2006).

3.1. Níveis de Tratamento

O nível do tratamento e sua eficiência são função da destinação final do efluente, das características do uso da água à jusante do ponto de lançamento e capacidade de autodepuração e diluição do corpo hídrico quando for o caso e dos padrões de qualidade previstos na legislação ambiental. Existem várias alternativas para o tratamento de esgoto, com o uso de processos biológicos e físico-químicos, no entanto, atualmente, muitas estações de tratamento de esgotos domésticos são concebidas com base nos processos biológicos. Segundo Tchobanoglous *et al.* (2003) e Jordão & Pessôa (2017), os principais níveis utilizados para o tratamento de esgoto são:

- Preliminar: remoção de constituintes, como trapos, galhos, flotáveis, areia e graxa, que possam causar problemas operacionais ou de manutenção às operações e aos processos de tratamento e sistemas auxiliares;
- Primário: remoção de parte de sólidos suspensos e matéria orgânica (prioritariamente particulada) do esgoto. Refere-se aos processos de sedimentação, flotação, sistemas anaeróbios (lagoas anaeróbia, tanque séptico, tanque Imhoff, reator anaeróbio de fluxo ascendente), digestão do lodo e secagem do lodo. Refere-se à aplicação de processos unitários físicos;
- Primário avançado: remoção melhorada de sólidos suspensos e de matéria orgânica. Tipicamente realizado pela adição de compostos químicos ou filtração;
- Secundário: remoção de matéria orgânica biodegradável (solúvel ou particulada) e sólidos suspensos. Inclui os processos de filtração biológica, lodos ativados e lagoas de estabilização aeróbias (facultativa, aerada). Refere-se a processos unitários químicos e biológicos;
- Secundário com remoção de nutrientes: remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos);
- Terciário: remoção de sólidos suspensos residuais (após tratamento secundário), geralmente por filtros granulares, filtros de pano ou microtelas. Inclui processos de remoção de organismos patogênicos (desinfecção) e remoção de nutrientes. Refere-se à combinação de processos unitários físicos, químicos e biológicos;

- Avançado: Remoção de materiais, suspensos ou dissolvidos, que permanecem após tratamento biológico, quando requerido para aplicações diversas de reúso. Inclui os processos de filtração final, absorção por carvão e membranas.

Tchobanoglous *et al.* (2003) ressaltam que esses termos são arbitrários e, em muitas vezes, sem valor significativo. Um critério razoável seria o de estabelecer o nível de remoção do tratamento requerido antes que o esgoto possa ser reusado ou lançado no meio ambiente. Assim, os processos unitários necessários para obter o nível de tratamento requerido podem então, ser agrupados, com base em condições fundamentais, seguindo as recomendações das normativas vigentes.

3.2. Critérios de projeto para lagoas anaeróbias

Os principais parâmetros de projeto das lagoas anaeróbias são: (i) taxa de aplicação volumétrica; (ii) tempo de detenção hidráulica; (iii) profundidade e (iv) geometria (relação comprimento/largura).

A Taxa de Aplicação Volumétrica (L_v), principal parâmetro de projeto das lagoas anaeróbias, é função da temperatura. Em regiões mais quentes, pode-se utilizar uma taxa maior, o que implica em menor volume da lagoa.

A Tabela 3.2 apresenta a relação, proposta por Mara (1997), entre as taxas de aplicação volumétricas e a temperatura.

Tabela 3.3. Taxas de aplicação volumétrica admissíveis para projeto de lagoas anaeróbias, em função da temperatura.

Temperatura média do ar no mês mais frio T (°C)	Taxa de aplicação volumétrica admissível L_v (kgDBO ₅ .m ⁻³ .d ⁻¹)
10 a 20	0,02T – 0,10
20 a 25	0,01T + 0,10
>25	0,35

Fonte: Mara (1997).

O volume requerido é obtido pela equação 3.1:

$$V = \frac{L}{L_v} \quad (3.1)$$

onde:

V = volume requerido para a lagoa (m³)

55 L = carga de DBO total afluente (solúvel + particulada) (kgDBO₅.d⁻¹)

56 L_v = taxa de aplicação volumétrica (kgDBO₅.m⁻³.d⁻¹)

57 Para esgotos domésticos, o volume final a ser adotado para a lagoa anaeróbia é um acordo
58 entre os critérios de tempo de detenção e taxa volumétrica.

59 O *Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)* para esgotos domésticos usualmente é de 3 a
60 6 dias. No entanto há uma tendência de se diminuir os tempos de detenção nas lagoas
61 anaeróbias, para cerca de 2 dias, ou até mesmo 1 dia.

62 Para se alcançar esses tempos menores, deve-se aumentar o tempo de retenção da
63 biomassa, garantindo um íntimo contato biomassa-esgoto. Essas condições podem ser atingidas
64 através de uma distribuição do afluente em vários pontos no fundo da lagoa, buscando-se
65 aproximar a um reator anaeróbio de manta de lodo.

66 Von Sperling (2017) destaca que as lagoas anaeróbias têm de funcionar como lagoas
67 anaeróbias estritas, e não podem oscilar entre condições anaeróbias, facultativas e aeróbias.

68 O TDH pode ser obtido através da equação 3.2:

69
$$TDH = \frac{V}{Q} \quad (3.2)$$

70 onde:

71 TDH = tempo de detenção hidráulica (d)

72 V = volume da lagoa (m³)

73 Q = vazão média afluente (m³.d⁻¹)

74 A *profundidade (H)* das lagoas anaeróbias é elevada para garantir as condições
75 anaeróbias, evitando assim, que a lagoa trabalhe como facultativa. Dessa forma, quanto mais
76 funda a lagoa, melhor, porém escavações profundas tendem a ser mais caras. Geralmente,
77 adota-se H entre 3,5 m a 5,0 m.

78 A *geometria* das lagoas anaeróbias varia entre quadradas ou levemente retangulares,
79 com relação comprimento/largura (L/B) usuais entre 1 a 3.

3.2.1. Estimativa da DBO₅ efluente da lagoa anaeróbia

Por não haver ainda modelos matemáticos conceituais generalizados para estimar a DBO₅ efluente das lagoas anaeróbias, têm se utilizado de critérios empíricos. A Tabela 3.6 apresenta eficiências de remoção de DBO₅ em função da temperatura, propostas por Mara (1997).

Tabela 3.4. Eficiências de remoção de DBO₅ em função da temperatura, em lagoas anaeróbias.

Temperatura média do ar no mês mais frio T (°C)	Eficiência de remoção de DBO ₅ E (%)
10 a 25	2T + 20
>25	70

Fonte: Mara (1997).

Após estimar a eficiência de remoção (E), calcula-se a DBO efluente da lagoa anaeróbia utilizando as equações 3.3 e 3.4:

$$E = \frac{(S_0 - DBO_{efl}) \cdot 100}{S_0} \quad (3.3)$$

$$DBO_{efl} = S_0 \frac{1 - E}{100} \quad (3.4)$$

onde:

S_0 = DBO total afluente (mgO₂.L⁻¹)

DBO_{efl} = DBO total efluente (mgO₂.L⁻¹)

E = eficiência de remoção (%)

3.3. Critérios de projeto para lagoas facultativas

Os parâmetros de projeto das lagoas facultativas são: (i) taxa de aplicação superficial; (ii) profundidade; (iii) tempo de detenção hidráulica; e (iv) geometria (relação comprimento/largura).

A *Taxa de Aplicação Superficial (L_s)*, carga orgânica por unidade de área, é o item essencial de projeto, e apoia-se na necessidade de se ter uma área de exposição à luz solar na lagoa para que ocorra a fotossíntese, possibilitando a produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda para a estabilização da matéria orgânica (von Sperling, 2017).

A área requerida para a lagoa é calculada em função da taxa de aplicação superficial (equação 3.5):

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (3.5)$$

onde:

A = área requerida para a lagoa (ha)

L = carga de DBO total (solúvel + particulada) afluyente (kgDBO₅.d⁻¹)

L_s = taxa de aplicação superficial (kgDBO₅.ha⁻¹.d⁻¹).

A taxa de aplicação superficial a ser adotada varia com a temperatura, local, latitude, exposição solar, altitude entre outros. Tem-se adotado as seguintes taxas (von Sperling, 2017):

- Regiões com inverno quente e elevada insolação L_s = 240 a 350 kgDBO₅.ha⁻¹.d⁻¹
- Regiões com inverno quente e insolação moderada L_s = 120 a 240 kgDBO₅.ha⁻¹.d⁻¹
- Regiões com inverno frio e baixa insolação L_s = 100 a 180 kgDBO₅.ha⁻¹.d⁻¹

Diversas equações empíricas disponíveis na literatura, correlacionam a taxa de aplicação superficial L_s e a temperatura T. A equação 3.6, proposta por Mara (1997), utiliza a temperatura média do ar no mês mais frio e tem aplicabilidade global.

$$L_s = 350 \times (1,107 - 0,002 - T)^{(T-25)} \quad (3.6)$$

onde:

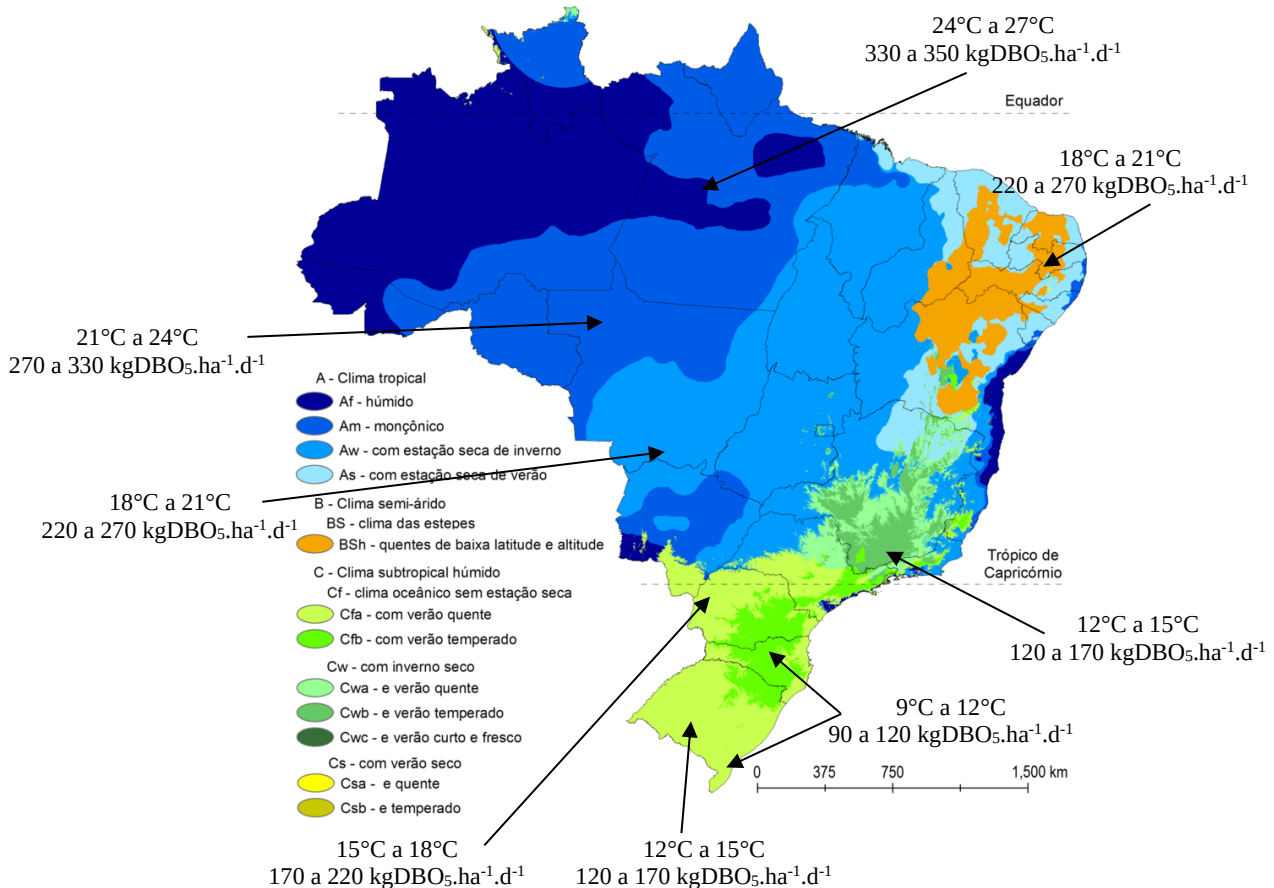
T = temperatura média do ar no mês mais frio (°C)

A Figura 3.1 apresenta as temperaturas médias no mês de julho e as taxas de aplicação superficial, de acordo com a equação 3.6.

A *profundidade (h)* influencia em aspectos físicos, biológicos e hidrodinâmicos da lagoa. Com o valor da área superficial, adotando um valor para a taxa de aplicação superficial e para a profundidade, têm-se o volume da lagoa.

A faixa de profundidades a serem adotadas no projeto situa-se entre 1,5m a 3,0m, porém, a faixa mais usual é 1,5m a 2,0m (von Sperling, 2017).

O *Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)* é o tempo necessário para que os micro-organismos estabilizem a matéria, e está associado ao volume e à vazão de projeto. Esse tempo não é necessariamente um parâmetro de projeto, mas um parâmetro de verificação, decorrente da determinação do volume da lagoa (equação 3.7) (von Sperling, 2017).



132 Imagem de CC BY-SA 4.0, arquivo: Clima do Brasil.png¹

133 Figura 3.1. Taxas de aplicação superficiais no Brasil, em função da temperatura média do ar
134 no mês mais frio, de acordo com a equação 3.2. (Adaptado de von Sperling, 2017).

135
$$TDH = \frac{V}{Q}$$
 (3.7)

136 onde:

137 V = volume da lagoa (m³)

138 Q = vazão média afluyente (m³.d⁻¹)

139 TDH = tempo de detenção hidráulica (d)

140 O TDH requerido para a oxidação da matéria orgânica é variável, e depende das
141 condições locais, especialmente a temperatura. No caso de lagoas facultativas primárias
142 tratando esgotos domésticos tem-se TDH variando entre 15 a 45 dias (von Sperling, 2017).

¹ Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Climate_of_Brazil.tif?uselang=en

A geometria da lagoa é a relação comprimento/largura (L/B), influencia no regime hidráulico da lagoa, e de acordo com o projeto, pode-se aproximar a condições de fluxo pistão ou mistura completa.

Sistemas com L/B elevado tendem ao fluxo pistão e lagoas com L/B próximo de 1,0 (lagoas quadradas) tendem ao regime de mistura completa. De acordo com EPA (1983) e AbdelRazik, 1991), a relação L/B das lagoas facultativas se situa na faixa de 2 a 4.

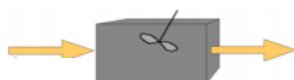
3.4. Estimativa do valor de DBO₅ efluente

A remoção da DBO₅ processa-se segundo uma reação de primeira ordem, onde a taxa de reação é diretamente proporcional à concentração do substrato. Assim, o regime hidráulico do reator (lagoa) influencia na eficiência do sistema (von Sperling, 2017).

A Tabela 3.5 apresenta os modelos hidráulicos utilizados no tratamento de esgoto por lagoas de estabilização.

Com relação à eficiência do sistema na remoção de poluentes modelados pela reação de primeira ordem, DBO₅ e coliformes, temos que: lagoa de fluxo pistão > série de lagoas de mistura completa > lagoa de única de mistura completa.

Tabela 3.5. Características e equações para cálculo do valor de DBO₅ solúvel efluente (S) dos modelos hidráulicos usualmente utilizados no dimensionamento e avaliação de desempenho das lagoas de estabilização.

Modelo hidráulico	Esquema do reator e equações do valor de DBO ₅ solúvel efluente (S)	Características
Fluxo em pistão	 $S = S_0 e^{-K.t}$ Equação 3.8	O Fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm a sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de detenção hidráulico. (tanques longos, elevada relação comprimento-largura).
Mistura completa (1 célula)	 $S = \frac{S_0}{1 + k.t}$ Equação 3.9	As partículas que entram no tanque são imediatamente dispersas em todo o corpo do reator. O fluxo de entrada e saída é contínuo (tanques circulares ou quadrados-).
Reatores de mistura completa em série (células iguais em série)	 $S = \frac{S_0}{\left(1 + k \frac{t}{n}\right)^n}$ Equação 3.10	Esses reatores são utilizados para modelar o regime hidráulico que existe entre os regimes ideais de fluxo em pistão e mistura completa. Se for uma unidade (mistura completa), se for série infinita (fluxo em pistão).

Modelo hidráulico	Esquema do reator e equações do valor de DBO ₅ solúvel efluente (S)	Características
Fluxo disperso	 $S = S_0 \frac{4ae^{\frac{1}{2}d}}{(1+a)^2 e^{\frac{a}{2d}} - (1-a)^2 e^{-\frac{a}{2d}}}$ Equação 3.11 $a = \sqrt{1 + 4k \cdot t \cdot d}$ Equação 3.12	O fluxo disperso é obtido em um sistema qualquer com grau de mistura intermediário entre os dois extremos de fluxo pistão e mistura completa. A maior parte dos reatores apresenta fluxo disperso. O fluxo de entrada e saída é contínuo.

161 S_0 = DBO₅ total afluente (mg.L⁻¹); S = DBO₅ solúvel efluente (mg.L⁻¹);
162 k = coeficiente de remoção de DBO₅ (d⁻¹);
163 t = tempo de detenção total (d);
164 n = número de lagoas em série;
165 d = número de dispersão (adimensional).
166 Fonte: von Sperling, 2017.

167 No caso do regime de fluxo disperso, ele representa bem reatores que se aproximam,
168 tanto de fluxo pistão, quanto de mistura completa.

169 3.4.1. Regime hidráulico de mistura completa

170 O valor do coeficiente de remoção de DBO (k) para esse modelo foi obtido por diversos
171 pesquisadores em diferentes lagoas existentes, em função da DBO de entrada e de saída e do
172 tempo de detenção.

173 O valor de k é calculado em função do modelo hidráulico assumido, e ao se calcular o
174 valor de k, os valores de DBO afluente, DBO total e DBO efluente solúvel devem ser
175 considerados.

176 A seguinte faixa de valores é utilizada no dimensionamento segundo o modelo de
177 mistura completa (Silva e Mara, 1979; Arceivala, 1981; EPA, 1983, von Sperling, 2001):

- 178 • Lagoas primárias² k (20°C) = 0,30 a 0,40 d⁻¹
- 179 • Lagoas secundárias³ k (20°C) = 0,25 a 0,32 d⁻¹

180 A equação 3.13 apresenta o cálculo do valor de K corrigido para diferentes temperaturas:

$$181 \quad k_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3.13)$$

182 onde:

² Lagoas primárias recebendo esgoto bruto;

³ Lagoas secundárias recebendo efluente de uma lagoa ou reator.

183 k_T = coeficiente de remoção da DBO em uma temperatura do líquido T qualquer (d^{-1});
 184 k_{20} = coeficiente de remoção da DBO na temperatura do líquido de 20°C (d^{-1});
 185 θ = coeficiente de temperatura, (para $k=0,35 d^{-1}$ tem-se $\theta=1,085$, EPA (1983); para $k=0,30 d^{-1}$
 186 tem-se $\theta=1,05$, Silva e Mara (1979);
 187 T = temperado do líquido em °C.

188 **3.4.2. Regime hidráulico de fluxo disperso**

189 O regime hidráulico em uma lagoa de estabilização segue um modelo intermediário
 190 entre os modelos ideais de reatores de mistura completa ou de fluxo em pistão. O modelo de
 191 mistura completa representa um extremo, dispersão longitudinal infinita, enquanto o modelo de
 192 fluxo em pistão representa o outro extremo (dispersão longitudinal nula).

193 Entre esses extremos estão os reatores modelados segundo o regime de fluxo disperso,
 194 que compreende todas as lagoas encontradas na prática. Esse regime é considerado uma melhor
 195 aproximação para o projeto de lagoas de estabilização.

196 A modelagem de uma lagoa segundo o fluxo disperso é mais complexa, pois necessita
 197 de dois parâmetros, o coeficiente de remoção da DBO₅ e o número de dispersão, enquanto os
 198 outros modelos necessitam apenas do coeficiente de remoção da DBO₅.

199 **3.4.2.1. Coeficiente de remoção de DBO (k)**

200 Esse coeficiente pode ser obtido através de uma das seguintes relações empíricas de
 201 estudos de lagoas modeladas segundo o regime de fluxo disperso:

$$202 \quad k = 0,132 \cdot \log L_s - 0,146 \quad (\text{Arceivala, 1981}) \quad (3.14)$$

$$203 \quad k = 0,091 + 2,05 \times 10^{-4} \cdot L_s, \quad (\text{Vidal, 1983}) \quad (3.15)$$

204 O coeficiente de temperatura θ (equação 3.9 de correção da temperatura) para a relação
 205 de Arceivala é 1,035 e para a relação de Vidal é inferior a 1,035.

206 **3.4.2.2. Número de dispersão (d)**

207 O número de dispersão (d) é expresso pela equação 3.16.

$$208 \quad d = \frac{D}{U \cdot L} = D \frac{t}{L^2} \quad \text{Equação 3.16}$$

209 onde:

210 d = Número de Dispersão (d);
 211 D = coeficiente de dispersão longitudinal ($m^2.d^{-1}$);
 212 U = velocidade média de percurso no reator ($m.d^{-1}$);
 213 L = comprimento do percurso longitudinal no reator (m).

214 Quando d tende a infinito, o reator tende ao regime de mistura completa. E quando d
 215 tende a zero, o reator tende ao regime de fluxo em pistão.

216 Algumas relações empíricas que podem ser utilizadas para a estimativa preliminar de d
 217 em projetos de novas instalações:

218 • Polprasert e Batharai (1985):

$$219 \quad d = \frac{0,184 \cdot t \cdot v (B + 2H)^{0,489} B^{1,511}}{(L \cdot H)^{1,489}} \quad (3.17)$$

220 • Agunwamba *et al.* (1992):

$$221 \quad d = 0,102 \left(\frac{3(B + 2H) \cdot t \cdot v}{4 \cdot L \cdot B \cdot H} \right)^{-0,410} \cdot \left(\frac{H}{L} \right) \cdot \left(\frac{H}{B} \right)^{-\left(0,981 + 1,385 \frac{H}{B}\right)} \quad (3.18)$$

222 • Yanez (1993):

$$223 \quad d = \frac{\left(\frac{L}{B}\right)}{-0,261 + 0,254 \cdot \frac{L}{B} + 1,014 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2} \quad (3.19)$$

224 • Von Sperling (1999):

$$225 \quad d = \frac{1}{\left(\frac{L}{B}\right)} \quad (3.20)$$

226 onde:

227 L = comprimento da lagoa (m);
 228 B = largura da lagoa (m);
 229 H = profundidade da lagoa (m);
 230 t = tempo de detenção (t);
 231 v = viscosidade cinemática da água ($m^2.d^{-1}$).

A viscosidade cinemática da água é função da temperatura, conforme a Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Relação entre a viscosidade cinemática e a temperatura da água.

Temperatura da água (°C)	Viscosidade cinemática (m ² .d ⁻¹)
10	0,113
15	0,098
20	0,087
25	0,077
30	0,069

Fonte: Metcalf & Eddy (1991).

Pode-se também utilizar a correlação de von Sperling (1999) para T = 10 °C a 30 °C, com R² = 0,986:

$$\nu = 0,325T^{-0,450} \quad (3.21)$$

Onde:

Y = viscosidade cinemática (m².d⁻¹);

T = temperatura (°C).

A Tabela 3.7 apresenta faixas de valores médio de **d** obtidos das equações 3.18, 3.19 e 3.20.

Tabela 3.7. Faixas de valores de número de dispersão (d).

Modelo	Comprimento (m)	Profundidade (m)	L/B = 1	L/B = 2 a 4	L/B= 5 a 10
Agunwamba (Eq. 3.14)	L ≤ 100	1,5	0,4 – 0,7	0,1 – 0,4	0,03 – 0,17
		2,5	0,5 – 0,9	0,1 – 0,5	0,02 – 0,22
	L > 100	1,5	0,6 – 1,1	0,2 – 0,5	0,07 – 0,23
		2,5	0,7 – 1,3	0,2 – 0,7	0,10 – 0,30
Yanez (Eq. 3.15)	-	-	1,0	0,24 – 0,46	0,1 – 0,2
von Sperling (Eq. 3.16)	-	-	1,0	0,25 – 0,5	0,1 – 0,2

Limites da equação de Agunwamba nesta tabela: t = 20 a 40 d; L ≤ 300 m; T = 20°C.

Em cada coluna, para cada faixa de relações L/B, o menor valor de **d** corresponde ao maior valor de L/B.

As equações de Agunwamba e de Yanez apresentam resultados similares para lagoas com comprimentos superiores a 100 m. A equação de von Sperling é uma simplificação da equação de Yanez, que conduz praticamente aos mesmos valores.

3.5. Critérios de projeto para lagoas de maturação

As lagoas de maturação são projetadas para se obter elevadas eficiências na remoção de coliformes assim o regime hidráulico adotado deve ser tal que favoreça essa maior eficiência. Essas lagoas devem ser projetadas de acordo com uma das seguintes configurações:

- Lagoas com chicanas, percurso predominantemente longitudinal que pode ser alcançado numa lagoa com chicanas através de defletores que forcem um percurso em zig-zag;
- Células em série, preferencialmente três ou mais.

Os principais parâmetros de projeto são: (i) tempo de detenção hidráulica (TDH); profundidade da lagoa (H); número de lagoas (n); e relação comprimento/largura (L/B).

- O *Tempo de detenção hidráulica (TDH)* é um parâmetro de verificação. Segundo von Sperling (2002), o TDH mínimo é 3 dias. Para Jordão (1995), esse tempo é de 2 dias.
- A *Profundidade (H)*. As lagoas são projetadas com baixas profundidades com o objetivo de maximizar a penetração dos raios ultravioleta e a produção fotossintética. A profundidade nas lagoas de maturação costuma variar entre:
 $h = 0,8 \text{ a } 1,0 \text{ m}$ (von Sperling, 2002)
 $h = 0,6 \text{ e } 1,5 \text{ m}$ (Jordão e Pessoa, 1995).
- A Geometria da lagoa influencia o seu regime de escoamento, podendo este se aproximar mais do fluxo em pistão ou de mistura completa. A relação L/B é um importante critério para o dimensionamento de lagoas. von Sperling (2002) diz que para lagoas chicaneada em célula única essa relação deve ser maior que 10; para sistemas com mais de três lagoas, essa deve variar entre 1 e 3.

3.6. Estudo de viabilidade econômico financeira do reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgoto tratado

De acordo com o balanço proposto por Hutton *et al.* (2007), os benefícios de uma série de intervenções para melhorar o acesso à sistemas de água e saneamento somam pelo menos US\$ 5 para cada US\$ 1 investido. Porém, alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável relacionados ao acesso a água e saneamento para todos até 2030 ainda continua sendo um desafio, principalmente para os países em desenvolvimento, uma vez que a capacidade dos

governos para expandir o acesso é limitada por recursos financeiros limitados (Evans, 2005; Ndikumana & Pickbourn, 2015).

Diante dessa escassa disponibilidade de fundos, o custo destes serviços muitas vezes é inacessível aos usuários (Santos *et al.*, 2011). Por isso, a rentabilidade do serviço de esgotamento sanitário, e sua consequente expansão de cobertura, pode produzir um efeito positivo inclusive na saúde e produtividade da população, bem como no meio ambiente (Barrington *et al.*, 2016; Gopalan & Rajan, 2016; Ndikumana & Pickbourn, 2015; Garfi & Ferrer-Martí, 2011).

A viabilidade financeira do serviço de esgotamento sanitário pode ser entendida pelo somatório entre custos com a coleta, transporte, tratamento do esgoto, despesas com funcionários e rendimentos acumulados pela prestação do serviço (arrecadação das tarifas segundo o princípio do poluidor-pagador). Com isso, o reúso de água é uma alternativa para incremento na receita das prestadoras de serviço, e consequentemente, de melhoria do desempenho financeiro.

Existem diversos fatores com potencial de influenciar na viabilidade financeira do reúso de água, incluindo custos de investimento necessários (em caso de demanda de instalações físicas como redes de distribuição), custos das fontes alternativas de água, proporção dos benefícios gerados (dependendo dos parâmetros qualidade), etc.

Por isso, dados locais devem ser considerados para se estimar o benefício financeiro obtido através da redução do consumo de água pela prática do reúso. De forma geral, se existirem redes no local devem ser providenciados os pedidos de ligação oficiais na concessionária, de forma que a tarifa de água varia de acordo com as diferentes categorias e faixas de consumo.

Neste caso a leitura da quantidade de água consumida é feita por hidrômetros. Outra opção é a utilização de poços artesianos, que mesmo sendo uma alternativa de maior investimento inicial, devido ao alto custo de perfuração, proporciona uma maior economia ao longo do tempo.

Por outro lado, vale ressaltar que sua implantação envolve um procedimento de solicitação de outorga de direito de uso da água, além de que nenhum método de perfuração garante 100% os parâmetros necessários, como profundidade, vazão a ser disponibilizada, qualidade da água e quantidade de revestimento demandado. Outro ponto importante é que, caso o poço seja perfurado e venha a ser inutilizado, deve ser providenciado seu tamponamento.

Por fim, a opção de abastecimento de água por meio de caminhões pipa é atrativa principalmente para localidades remotas ou para suprir necessidades de caráter temporário, como em canteiros de obra. Além disso, existem ainda casos excepcionais em que se destacam outras formas de abastecimento de água, como no caso do Polo Petroquímico da Região do Grande ABC, que conta com uma rede de aproximadamente 17 km exclusiva para transporte de água de reúso (Sabesp, 2017).

A Tabela 3.8 mostra as tarifas de água de acordo com as diferentes fontes de abastecimento de água. Vale ressaltar que a tarifa de água de reúso não contempla seu transporte, que é por conta do usuário, e no caso do estudo de viabilidade financeira, o investimento em estruturas físicas e custos de operação devem ser contabilizados.

Diante disso, nos casos de tarifas mais elevadas como aquelas aplicadas ao poder público, por exemplo, o reúso de água pode ser uma opção bastante atrativa, desde que sua qualidade atenda aos padrões de qualidade exigidos pela legislação.

Tabela 3.8. Tarifas de água em função da fonte de abastecimento.

Fonte de abastecimento	Volume/qualidade	Custo (R\$/m ³)
Tarifa de água da rede – comercial ^a	0 a 10 m ³	5,74
	Acima de 10 m ³	11,93
Tarifa de água da rede – industrial ^a	0 a 10 m ³	8,98
	Acima de 10 m ³	17,45
Tarifa de água da rede – poder público ^a	0 a 20 m ³	5,84
	Acima de 20 m ³	24,26
Tarifa caminhão pipa ^b	Capacidade de 10 m ³	25,00
	Capacidade de 15 m ³	23,34
Tarifa água de reúso ^c	Menor qualidade	1,50
	Maior qualidade	5,08

Fonte: ^aMédia entre os municípios operados pela Sanesul (2017) e Águas Guariroba (2017); ^bMédia de levantamento realizado em empresas locais; ^cValores praticados pela Sabesp (2017).

No Brasil, ainda não existem normas e resoluções que determinam padrões de qualidade de água de reúso a âmbito Nacional, porém, nesse sentido se destaca o Governo do Estado de São Paulo, que através da resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 29 de junho de 2017, disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas, conforme mostrado na Tabela 3.9.

3.6.1. Informações básicas sobre o transporte de efluente tratado de ETEs

Segundo a SABESP, o transporte da água de reúso é de responsabilidade do cliente, e não da empresa fornecedora, independente da aplicação pretendida (uso industrial, por prefeituras, etc.). Basicamente todos os caminhões tanques trabalham com bombas, seja de alta

ou baixa pressão. Os caminhões podem ter capacidades variando entre 6 m³ e superior a 30 m³. Os mais comuns estão entre 10 m³ e 20 m³ de capacidade volumétrica.

Os caminhões com maiores capacidades (>20 m³) podem atingir vazão de até >100 m³/h. Já as vazões mínimas podem estar em torno de 15 m³/h, uma vez que em geral, os tanques são equipados com esguicho regulável. Porém, é mais comum encontrar vazões máximas por volta de 50 m³/h. Isso vai depender da aplicação pretendida. No caso de irrigação de jardins, por exemplo, utiliza-se o aspersor com baixa vazão para não danificar as plantas. Já na lavagem de ruas, a vazão é maior para retirada de lama/sujeira. A altura manométrica da bomba está em torno de 60 m.c.a., podendo ser maior ou menor. O comprimento da mangueira pode variar, por exemplo, de 15 a 50 m, também dependendo da aplicação, sendo equipada com jato ou aspersor.

3.6.2. Padrões de Qualidade da água de reúso

A Tabela 3.9 apresenta os Padrões de qualidade de água de reúso para irrigação paisagística, lavagem de logradouros, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos e lavagem de veículos.

Tabela 3.9. Padrões de qualidade de água de reúso para irrigação paisagística, lavagem de logradouros, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos e lavagem de veículos.

Parâmetro	Padrões de qualidade
pH	6 a 9
DBO _{5,20} (mg.L ⁻¹)	≤ 30
Turbidez (UNT)	-
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	< 30
Coliformes termotolerantes (UFC.100mL ⁻¹)	< 200
Ovos helmintos (ovo.L ⁻¹)	1
Cloro residual total (mg.L ⁻¹)	< 1
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	< 3,0
RAS	3 – 9
Sólidos dissolvidos totais (mg.L ⁻¹)	< 2.000
Cloreto (mg.L ⁻¹)	< 350
Boro (mg.L ⁻¹)	< 2,0
Distâncias de precaução (m)	70 (para poços de captação de água potável)
Tipo de tratamento	Secundário, desinfecção e filtração

Fonte: Resolução publicada no DOE de 29-06-2017 Seção I.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os objetos de estudo deste trabalho foram 19 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) em operação no Estado de Mato Grosso do Sul, especificamente, no que diz respeito ao desempenho dessas estações para fins de reúso da água proveniente do efluente tratado.

As ETEs em estudo são de concessão da empresa concessionária de esgoto que opera e mantém 46 sistemas de esgotamento sanitário no Estado. A empresa possui ainda, mais 17 sistemas em fase de implantação e 6 sistemas em fase de projeto.

4.1. Critério de seleção das Estações de Tratamento de Esgoto

Primeiramente foi verificado no banco de dados da empresa, as ETEs que possuíam maior base de dados, sendo o critério essencial, a existência de um número mínimo de 10 análises microbiológicas da bactéria *Escherichia coli* em amostras de esgoto tratado/efluente e de esgoto bruto/afluente. Dados esses, primordiais para avaliação da qualidade microbiológica do efluente e consequentemente o potencial de reúso da água, além é claro, dos parâmetros físico-químicos.

A legislação ambiental, Resolução CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011) e Deliberação CECA/MS 36/2012 (MS, 2012), não estabelecem padrões de lançamento do esgoto tratado para parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes ou *E. coli*).

A Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) prevê padrões de qualidade da água para o parâmetro coliformes termotolerantes com intuito de verificar alterações na classe de uso com vista ao enquadramento dos corpos receptores, ou seja, esses padrões referem-se aos pontos à montante e à jusante do lançamento do esgoto tratado.

Por essa razão, as análises microbiológicas de esgoto bruto e tratado não são realizadas em todas as ETEs, ou quando são, ocorrem em períodos muito espaçados. O estabelecimento dos parâmetros a serem monitorados nas ETEs do estado de MS é de responsabilidade do órgão ambiental, IMASUL.

Assim sendo, foram selecionadas 19 ETEs para o estudo. A coleta de dados se restringiu ao período de 2013 a 2016.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas e as informações de projeto e operação referentes às ETEs foram obtidos de memoriais descritivos de projetos, planilhas do sistema de informações e relatórios de monitoramento da empresa concessionária de esgoto.

4.2. Estações de Tratamento de Esgoto selecionadas

A Tabela 4.1 apresenta as 19 ETEs selecionadas para o estudo, as tecnologias de tratamento, vazão nominal e população de projeto. As ETEs possuem capacidade nominal de tratamento variando entre 5 a 120 L.s⁻¹, com atendimento de 3.600 a 86.400 habitantes.

Tabela 4.1. ETEs selecionadas, vazão e população de projeto e tecnologias de tratamento.

ETE	Projeto		Tecnologia de Tratamento	Siglas	ID ⁽¹⁾	Nº de ETEs/ Tecnologia
	Vazão (L.s ⁻¹)	Pop. (hab.)				
1A	90	64.800	Lagoa Anaeróbia + Lagoa	LA + LF	1	1
1B	5	3.600	Facultativa			
2A	20	14.400	Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	LF + LM	2	5
2B	6	4.320				
2C	36	25.920				
2D	20	14.400				
3A	10	7.200	Reator UASB	UASB	3	5
3B	10	7.200				
3C	5	3.600				
3D	5	3.600				
3E	10	7.200				
4A	10	7.200	Reator UASB + Biofiltro Aerado Submerso	UASB + BAS	4	1
5A	80	57.600	Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário	UASB + FBP + DS	5	5
5B	120	86.400				
5C	100	72.000				
5D	80	57.600				
5E	20	14.400				
6A	100	72.000	Reator UASB + Físico-químico + Decantador Secundário	UASB + FQ + DS	6	1
7A	80	57.600	Reator UASB + Físico-químico + Desinfecção	UASB + FQ + DES	7	1
19						

⁽¹⁾ Identificação da tecnologia de tratamento; LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; LM = Lagoa de Maturação; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reator (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

O tratamento preliminar dessas ETEs é similar, composto por gradeamento, desarenação e calha Parshall. Essa unidade de tratamento é também conhecida como desarenador. Dependendo das condições topográficas do terreno da ETE, há também uma estação elevatória de esgoto (EEE) a montante do desarenador que tem por objetivo recalcar o esgoto bruto que

chega até a ETE até ao desarenador. Outra situação que pode ocorrer no *layout* da ETE é ter também uma EEE no final do tratamento para recalcar o esgoto tratado até um ponto em que o mesmo possa ser encaminhado por gravidade até ao corpo receptor.

4.3. Descrição do tratamento preliminar

O gradeamento é composto por grades de barras retas, em duas configurações: grossa e média, com abertura de 5 cm e de 2 cm, respectivamente, nos projetos mais antigos; e média e fina, abertura de 2 cm e 1 cm, respectivamente, nos projetos mais recentes. Atualmente, o padrão de projeto de gradeamento adotado na empresa é a utilização de grades média e fina, as quais colaboram para a melhoria de eficiência de tratamento das unidades posteriores. A limpeza é manual com a utilização de rastelo. Os sólidos grosseiros retidos na grade são manualmente transportados até a caçamba de detritos e posteriormente encaminhados ao aterro sanitário (Figura 4.1).

A unidade de desarenação fica a jusante à saída do gradeamento, onde o canal se divide em dois que funcionam de forma alternada, podendo cada um ser isolado através de comportas de acionamento manual.

Cada canal representa uma célula de desarenação disposta ao longo do mesmo. A alternância no uso dos canais é para prover a limpeza sem que a ETE cesse o funcionamento, pois sempre terá um canal em operação. A areia depositada no canal é descarregada através de registros e segue em tubulações até a caixa de areia para secagem e posterior remoção em caçambas e disposição final em aterros sanitários.

Após a desarenação, o esgoto passa por um medidor de vazão Parshall, em fibra de vidro, o qual também controla o nível da água a montante. A dimensão da garganta do medidor é em função da vazão de projeto adotada. Algumas ETEs também possuem medidor ultrassônico.

A NBR/ABNT 12.209/1992 fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto hidráulico-sanitário de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE).

A Figura 4.2 apresenta o corte esquemático de um desarenador.

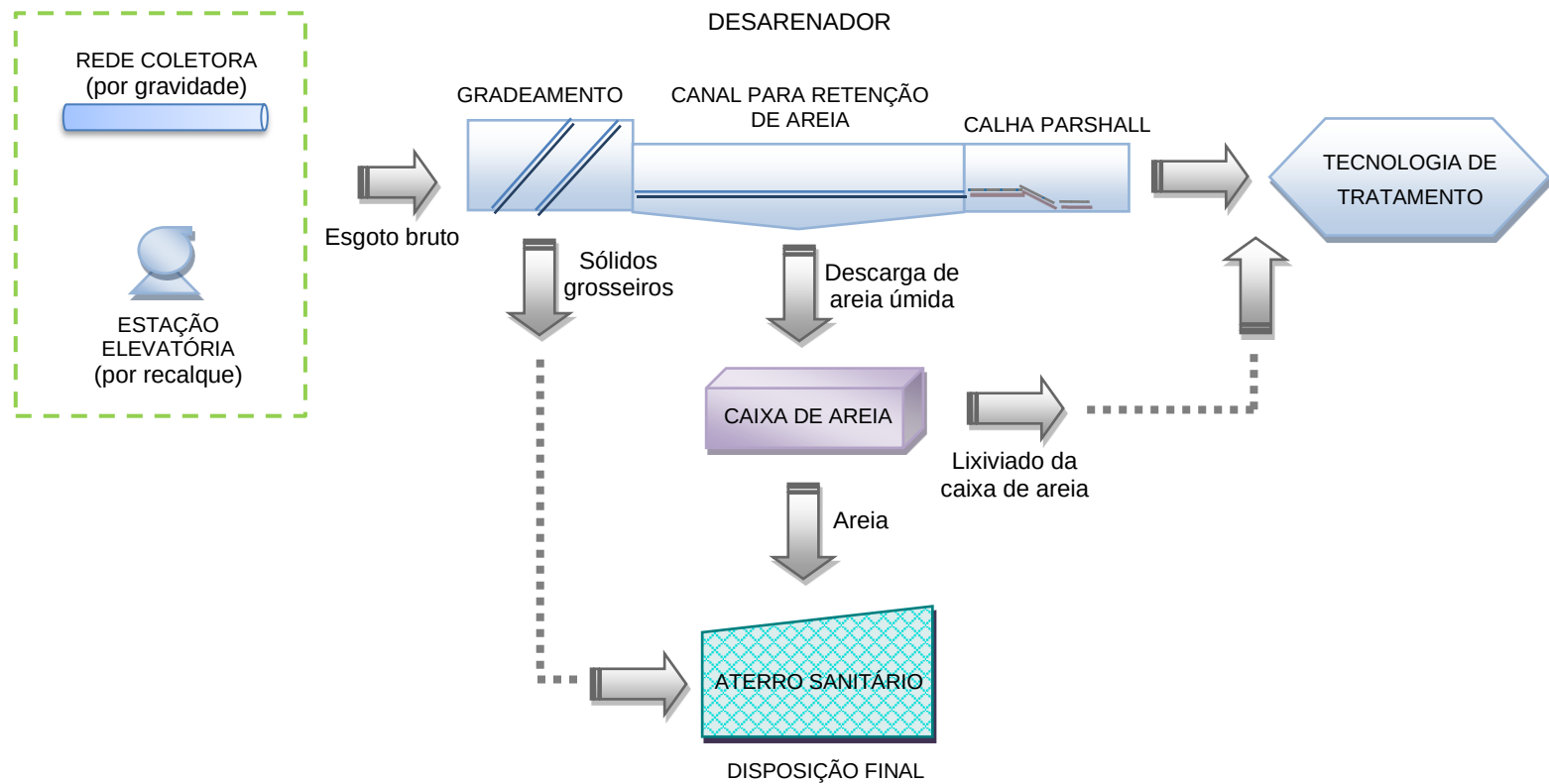


Figura 4.1. Fluxograma do Tratamento Preliminar das ETEs.

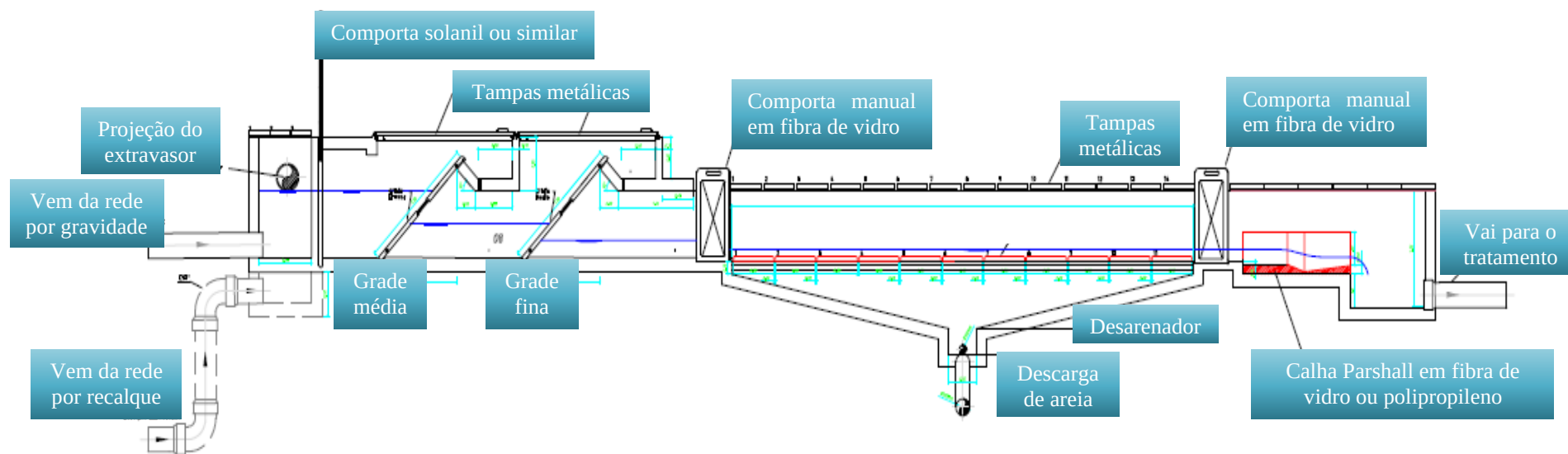
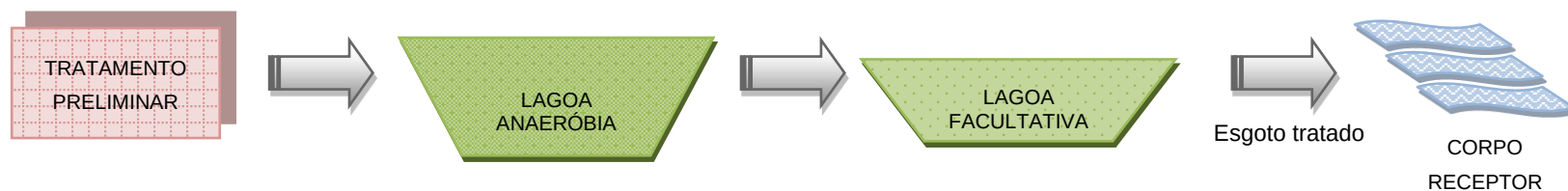
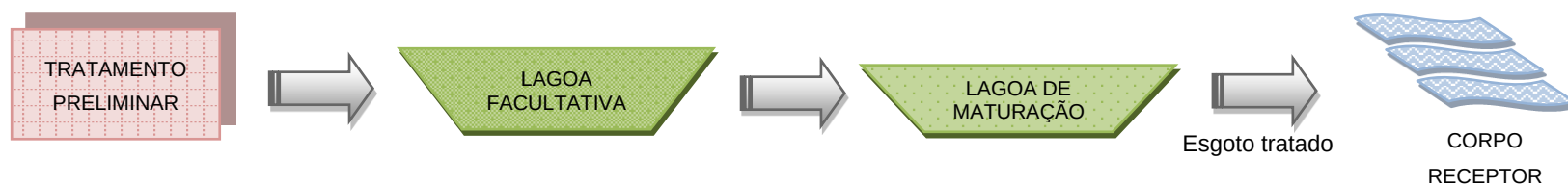


Figura 4.2. Corte esquemático do desarenador (tratamento preliminar).

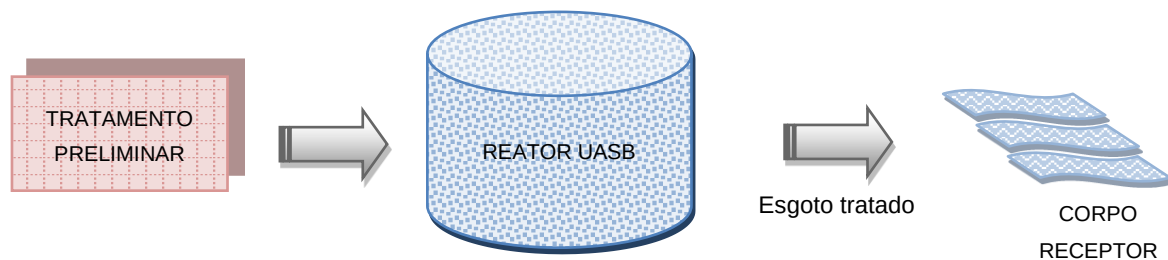
73 As Figuras 4.3 a 4.9 apresentam os fluxogramas das tecnologias de tratamento das ETEs selecionadas.



74 Figura 4.3. Fluxograma da Tecnologia 1: Tratamento Preliminar + Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa.

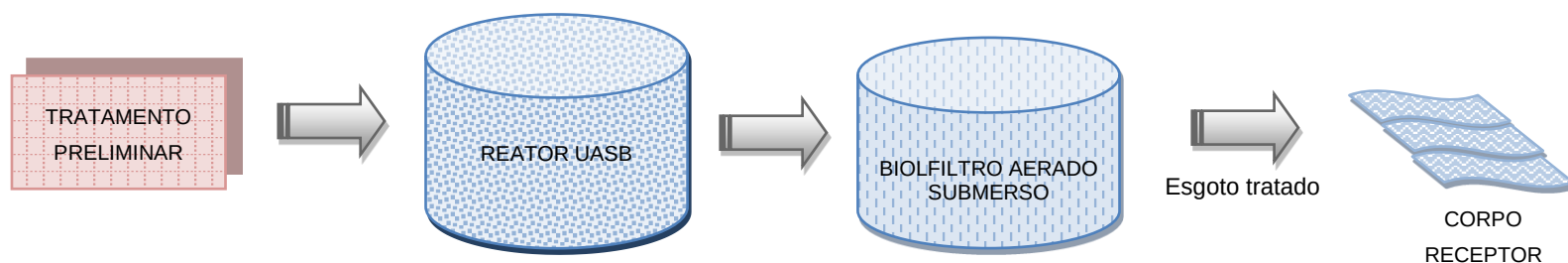


75 Figura 4.4. Fluxograma da Tecnologia 2: Tratamento Preliminar + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação.



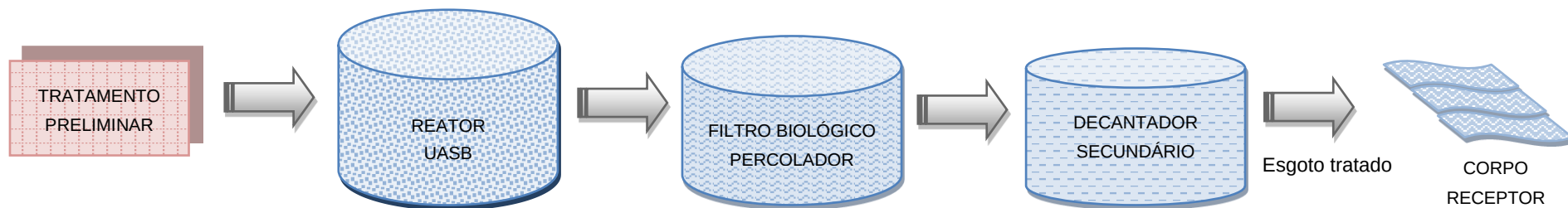
76

Figura 4.5. Fluxograma da Tecnologia 3: Tratamento Preliminar + Reator UASB.



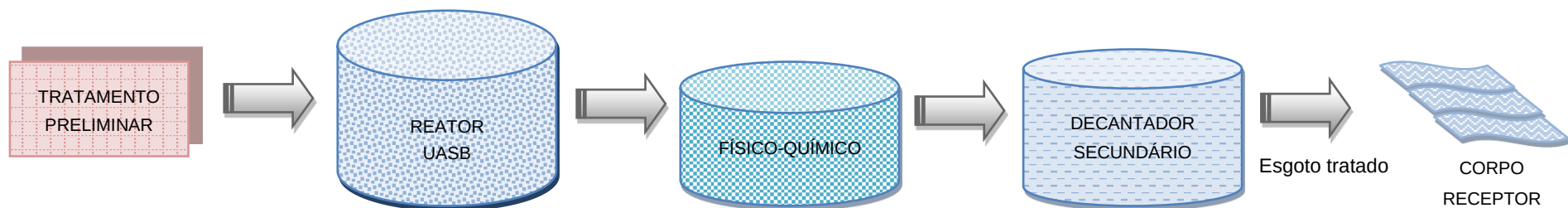
77

Figura 4.6. Fluxograma da Tecnologia 4: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Biofiltro Aerado Submerso.



78

Figura 4.7. Fluxograma da Tecnologia 5: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário.



79 Figura 4.8. Fluxograma da Tecnologia 6: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Físico-químico + Decantador Secundário.



80 Figura 4.9. Fluxograma da Tecnologia 7: Tratamento Preliminar + Reator UASB + Físico-químico + Desinfecção.

4.4. Análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação do desempenho das ETEs

As análises físico-químicas e microbiológicas (Tabela 4.2) foram realizadas em laboratórios da empresa concessionária de esgoto, sendo que o laboratório matriz possui certificado de acreditação do INMETRO, ISO 17025/2005⁴.

Tabela 4.2. Parâmetros analisados e métodos analíticos.

Parâmetro	Método Analítico
DBO _{5,20}	Manométrico/Respirométrico
DQO	Espectrofotometria
<i>Escherichia coli</i>	Plaqueamento em superfície em meio Chromocult® Coliform Agar (Merck)
Óleos e Graxas	Extração
pH	Eletrométrico
Sólidos Sedimentáveis	Cone Imhoff
Temperatura	Termométrico

A metodologia de coleta, preservação e análises foram realizadas conforme técnicas preconizadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23nd ed (APHA; AWWA; WEF, 2017).

4.5. Tratamento e Análise dos Dados

A análise estatística foi realizada com auxílio do programa Statistics®, através do teste ANOVA – análise de variância. Este é um teste de hipóteses que fornece a probabilidade dos grupos (tratamentos) apresentarem médias iguais ou diferentes. Existem duas hipóteses: H₀: as médias são iguais, isto é, não há diferença entre os tratamentos e H₁: as médias são diferentes, ou seja, há diferença entre os tratamentos.

Portanto, o objetivo do teste é determinar a probabilidade (p) que permite aceitar ou rejeitar H₀. Se $p < \alpha$ se aceita H₀ e se $p > \alpha$ rejeita-se H₀. No presente estudo, o teste de variância ANOVA foi aplicado com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Através deste programa também se pode obter um gráfico do tipo *box plot*, onde são determinadas a média, o erro médio, o desvio padrão e os valores discrepantes e extremos.

⁴ Acreditação de Laboratórios ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005.

4.6. Análise da viabilidade econômico financeira do reúso de efluente tratado de ETEs

4.6.1. Valor presente líquido – VPL

Foi calculado o retorno financeiro decorrente do investimento em acesso a esgotamento sanitário através da metodologia do Valor Presente Líquido (VPL), conforme mostrado na Equação 1, onde "VPL" é o valor presente líquido, "i" é a taxa mínima de atratividade (sendo considerada a taxas de 12%) e "y" o ano, , considerando um período de 20 anos.

$$VPL = \sum_{y=0}^n \frac{VPL_y}{(1+i)^y} \quad (4.1)$$

Três cenários foram levados em conta considerando variações na arrecadação pelo serviço de esgotamento sanitário e, conseqüentemente, refletindo em melhorias no desempenho do VPL. No primeiro cenário, a arrecadação anual por esgotamento sanitário é decoorente somente da cobrança de tarifas aplicada aos usuários do serviço.

No segundo cenário, além da arrecadação anual pelas tarifas, considerou-se também o potencial mínimo de incremento na receita anual do serviço proveniente pela prática de reúso de água, assumindo uma demanda de água de menor qualidade e baixo custo.

Por fim, no terceiro cenário, considerou-se a arrecadação anual pelas tarifas e o potencial máximo de incremento na receita anual proveniente pela prática de reúso de água, levando em consideração a demanda de água de reúso de melhor qualidade e custo mais expressivo.

O custo da água de reúso considerado, teve como base um levantamento realizado junto a Sabesp (companhia de saneamento básico do Estado de São Paulo), com valores variando entre 1,5 R\$/m³ e 5,08 R\$/m³ a depender da qualidade requerida.

Para a estimativa da arrecadação pelo serviço de esgotamento sanitário desconsiderando a prática do reúso de água, foram levantados dados do SNIS (2015) referentes ao volume de esgoto faturado e a tarifa média de esgoto, conforme mostrado na Equação 4.2 (correspondendo respectivamente aos indicadores do SNIS IN006 – tarifa média de esgoto, expresso em R\$/m³ e ES007 – volume de esgoto faturado, expresso em 1000 m³/ano).

$$R = IN006 \times ES007 \quad (4.2)$$

Onde R é a receita proveniente do serviço de esgotamento sanitário, IN006 é o volume de esgoto faturado e ES007 é a tarifa média de esgoto. Seguindo a mesma lógica, para a

estimativa da arrecadação total pelo serviço de esgotamento sanitário considerando o reúso de água, a arrecadação pelas tarifas (conforme mostrado na Equação 2) foi somada com a receita proveniente da prática do reúso de água, conforme mostrado na Equação 4.3.

$$RT = (IN006 \times ES007) + (VR \times TR)$$

Onde RT é a receita total de esgotamento sanitário, IN006 é o volume de esgoto faturado, ES007 é a tarifa média de esgoto, VR é o volume de água de reúso faturado e TR é a tarifa média de água de reúso.

Ao decorrer dos anos do projeto, a população atendida pelo serviço de esgotamento sanitário aumenta, bem como as tarifas sofrem um reajuste, e com isso, há uma variação na arrecadação pela prestadora de serviço. Assim, foram consideradas as taxas anuais de aumento de 3% e 10% na arrecadação pelo serviço de esgotamento sanitário, tendo como base a arrecadação estimada para o ano de 2015, conforme as Equações 4.2 e 4.3.

Por fim, dados provenientes do atlas de saneamento foram utilizados referentes ao investimento necessário, por município do Estado de Mato Grosso do Sul, para a universalização do serviço de esgotamento sanitário em até 2035 (ANA, 2017).

4.6.2. Estimativa da demanda de água de reúso

As seguintes finalidades de reúso de água foram consideradas na análise: limpeza de vias públicas, desobstrução de rede de esgoto e reúso industrial (para a construção civil). Foram selecionados os municípios do Estado de Mato Grosso do Sul que já possuem serviço de esgotamento sanitário, independentemente da natureza jurídica do prestador de serviço (sociedade de economia mista com administração pública, autarquia, administração pública direta ou empresa privada).

Muitos dos municípios que não apresentam dados ainda estão em fase de implantação do sistema de esgotamento sanitário e geralmente contam com soluções individuais de tratamento de efluente (principalmente tanques sépticos).

4.6.2.1. Limpeza de vias públicas

Neste estudo, foi considerado que somente uma parcela de 15% do total de vias públicas pavimentadas por município seriam limpas utilizando-se água de reúso, já que essa prática é

realizada em complementação à simples varrição, sendo necessária somente em ruas de grande fluxo de pessoas ou feiras livres, onde há excesso de sujeira.

Para a estimativa do volume de água de reúso necessário para atender essa demanda em cada município, foram utilizados dados do IBGE (2010) referentes a quantidade de domicílios na área urbana providos de pavimentação asfáltica, e abastecidos com rede de distribuição de água. Além disso, também foram considerados dados sobre a extensão da rede de água por ligação, provenientes de SNIS (2015), de forma a obter uma estimativa do comprimento total das vias públicas asfaltadas.

Foi assumido que cada domicílio da área possui uma ligação de água, e que a largura média das vias públicas é de 8 m, com um rendimento de limpeza das vias de aproximadamente 100 m.m⁻³. A frequência de lavagem das ruas é quinzenal. A limpeza das vias é executada por uma equipe de 4 funcionários, incluindo 3 garis e um motorista, portando todos os EPIs necessários (luvas, botas, roupa adequada e capacete).

Na lavagem também são utilizados materiais como vassourões e detergente líquido. O horário de limpeza das ruas com água de reúso deve ser quando há o menor índice de circulação de pessoas. O Anexo G mostra os volumes de água de reúso estimados para limpeza de vias públicas em cada um dos municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul, bem como os dados utilizados nessa estimativa. O transporte da água de reúso é feito por caminhões tanques, mas não foi contabilizado na análise já que é por conta do consumidor final.

4.6.2.2. Reúso industrial na construção civil

Para fins de discussão sobre o reúso de água na indústria, considerou-se somente a demanda para a construção civil, que mais precisamente, se trata do amassamento em concreto não estrutural, cura de concreto em obras, umectação para compactação em terraplenagens, lamas de perfuração em métodos não destrutivos para escavação de túneis, resfriamento de rolos compressores em pavimentação e controle de poeira em obras e aterros na construção civil, conforme definido pela Resolução publicada no DOE de 29-06-2017 Seção I da Sabesp.

Mesmo considerando que a água de reúso será utilizada somente para fins não potáveis, ainda assim, sua qualidade deve atender a uma série de requisitos químicos e físicos que afetam a produção de concreto, de forma que não deve conter impurezas que afetem as reações de hidratação do cimento e a formação dos seus compostos.

Testes em amostras de concreto produzidas com efluente tratado (água de reúso) mostram que não há diferenças significativas de resistência e durabilidade quando comparados com amostras feitas com água potável, satisfazendo inclusive as normas técnicas norte americanas ASTM C191, ASTM C94, ASTM C192 (Asadollahfardi *et al.*, 2016).

No Brasil, embora a NBR 15900:2009 (que estabelece os parâmetros para a mistura de água de concreto) cita que até a data da publicação da norma não haviam antecedentes suficientes para garantir viabilidade do reúso de água para a mistura de concreto, esta prática vem sendo realizada com resultados satisfatórios em relação aos padrões de qualidade exigidos (Oliveira *et al.*, 2016).

É notável que a prática do reúso de água na construção civil apresente grande potencial na redução dos impactos ambientais e consumo de recursos do setor, já que somente para lavagem de caminhões, por exemplo, consome-se aproximadamente 100 litros de água por metro cúbico de concreto utilizado (Mehta, 2001).

Porém, existe uma variação da quantidade de água consumida por obra em função de diversos fatores, como a experiência dos trabalhadores, ou o tipo de edificação, incluindo suas características de estrutura, revestimento, fundação, etc., com valores flutuando entre 0,02 m³ e 0,28 m³ de água por metro quadrado de área construída (Marques *et al.*, 2017).

Diante dessas questões, para a estimativa da demanda de água de reúso na construção civil nos municípios selecionados, foram considerados dados do SNIS (2015) referentes aos volumes de água produzido, assumindo que no Brasil em torno de 17% do consumo de água é destinado à indústria (FAO, 2010) e que apenas uma parcela de 0,35% (em média) se refere ao setor da construção civil (EUROSTAT, 2010).

Do total consumido pelo setor da construção, foi assumido que apenas uma parcela de 30% das construtoras de cada município fará uso da água de reúso. Além disso, foi levado em conta que a água de reúso não é destinada aos funcionários da obra, que podem consumir mais de 50,0% da demanda total de água utilizada numa construção, de forma que uma parcela de 25% do total destina-se a atividades indiretas (tais como limpeza de equipamentos ou controle de poeira) e apenas 17% é aplicada diretamente na construção (mistura de concreto, argamassa, entre outros) (Santos *et al.*, 2015).

Vale ressaltar que os dados considerados do SNIS (2015) se referem à quantidade de água produzida e distribuída por rede abastecimento público, porém existem outras formas de abastecimento de água na indústria.

Além disso, considerou-se nessa análise somente o reúso de água na construção civil sem considerar sua aplicação em outras indústrias, de forma que a demanda de água de reúso pode ser ainda maior em municípios com potencial para a indústria têxtil, petroquímica, entre outras.

A Tabela 4.3 mostra o ranking dos 10 primeiros municípios de acordo com suas respectivas participações de valor adicionado bruto a preços concorrentes da indústria em relação ao valor total do Estado de MS, evidenciando um maior potencial de demanda de água de reúso na indústria nos municípios selecionados.

Tabela 4.3. Ranking de municípios de Mato Grosso do Sul em relação ao valor adicionado bruto a preços concorrentes da indústria

Ranking	Município	Participação do valor adicionado bruto (%) ³	População (hab) ²
1	Campo Grande	26,17	874.210
2	Três Lagoas	21,83	117.477
3	Selvíria	9,96	6.482
4	Dourados	6,32	218.069
5	Corumbá	5,77	109.899
6	Nova Andradina	2,26	52.625
7	Naviraí	2,08	53.188
8	Rio Brillhante	1,75	36.144
9	Aparecida do Taboado	1,57	25.072
10	Ponta Porã	1,47	89.592

Fonte: ¹IBGE (2014); ²IBGE (2017).

³ Participação do valor adicionado bruto a preços correntes da indústria no valor adicionado bruto (indústria) total de Mato Grosso do Sul (%)¹

O Anexo H mostra a estimativa de demanda de água de reúso nos municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul.

4.6.2.3. Desobstrução de rede de esgoto

A desobstrução de rede de esgoto e foi feita considerando informações provenientes de EPA (1999), de forma que a necessidade de desobstrução ocorre principalmente nas tubulações mais antigas (principalmente se susceptível a corrosão), ou em tubulações com pouca declividade e alto índice de inundação, ou quando há uma demanda de transporte de esgoto maior do que a capacidade do diâmetro da tubulação, e com isso, a frequência de desobstrução se concentra numa pequena parcela da rede que geralmente apresenta esses problemas, não sendo normal isso ocorrer com frequência na rede toda.

Embora existam diversos métodos para desobstrução de redes, incluindo descargas acumuladas de água em grande quantidade com o uso de equipamentos específicos, ou até mesmo o uso de produtos químicos, o método adotado neste estudo é por simples descarga de água de reúso na rede com pressão controlada pelo caminhão pipa (com altura manométrica da bomba em torno de 60 m.c.a.), não requerendo o uso eletricidade nem outros insumos que não seja a própria água de reúso, permitindo uma boa eficiência com redução de custos.

Portanto, considerando que a frequência de desobstrução pode variar de 1 vez a cada 6 meses a 2 vezes ao mês, assumiu-se uma frequência média de desobstrução da rede de esgoto de 4 meses, de forma que em apenas 3% do comprimento da rede de cada município este serviço será executado. Por fim, foi levado em conta que para diâmetros de até 500 mm, o volume médio demandado de água de reúso é o equivalente à três vezes o volume linear da tubulação, ou seja, para cada metro linear de rede de esgoto com volume útil de aproximadamente $0,8 \text{ m}^3$, o volume de água de reúso necessário para desobstrução é de $2,4 \text{ m}^3$.

O Anexo I mostra o volume de água de reúso estimado em cada município para desobstrução de rede de esgoto. Conforme pode ser notado, as estimativas de demanda de água de reúso para desobstrução de rede de esgoto não são apresentadas para os municípios do Estado que ainda não apresentam rede coletora de esgoto, pois ainda não operam este serviço que muitas vezes está em processo de implantação.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é avaliar o potencial de melhoria do desempenho financeiro do serviço de esgotamento sanitário em relação ao investimento necessário para a universalização deste serviço.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados a estatística descritiva dos resultados do esgoto bruto afluente às ETEs dos parâmetros DBO₅, DQO, Nitrogênio Amoniacal e *E. coli*. Em seguida, os resultados de vazão, DBO e *E. coli* do efluente tratado e análise de eficiência de remoção desses parâmetros.

Posteriormente, tem-se a comparação de dimensionamento de lagoas de estabilização, parâmetros de projeto e operação.

No item 5.5 tem-se a análise da qualidade do efluente tratado para fins de reúso; e no item 5.6, uma análise econômico financeira do reúso do esgoto tratado no Estado de Mato Grosso do Sul.

5.1. Caracterização da qualidade do esgoto bruto (afluente)

As Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os valores usuais de DBO₅ e DQO reportados na literatura (von Sperling, 2014) e os encontrados no presente estudo. Para determinação da faixa de valores reais, considerou-se como critério os percentis 10% e 90%. A média obtida nas 19 ETEs, 380 mg.L⁻¹, foi próximo ao valor referência da literatura, 350 mg.L⁻¹, e faixa variando entre 255 e 528 mg.L⁻¹ (Tabela 5.1).

A ETE 5A foi a que apresentou os menores valores de DBO₅, caracterizando um esgoto muito diluído, que para Jordão & Pessoa, (2017), é considerado como esgoto fraco. Tal fato é explicado pela característica do lençol freático da região, que é raso e pela presença de solo rochoso, que implicam em uma taxa de infiltração elevada na rede coletora, em especial nos poços de visita.

A NBR ABNT 9649/1986 relata que a taxa contribuição de infiltração, depende de condições locais tais como o nível do lençol freático (NA), natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizada. Em geral, adota-se valor entre 0,05 a 1,0 L.s⁻¹.km⁻¹ em projetos, o qual deve ser justificado.

No caso das ETEs que apresentaram valores elevados de DBO₅ e DQO e demais parâmetros, possíveis causas seriam contribuições industriais não relatadas pelas estações de

tratamento, amostragens simples coletadas em horários de pico, baixo consumo per capita de água e existência de menores coeficientes de retorno (Oliveira & von Sperling, 2005).

Tabela 5.1. Valores usuais e observados de DBO₅ (mg.L⁻¹) no esgoto bruto (afluente).

Literatura ^(a)			Observados				
ETE	Faixa	Referência ^(b)	Faixa ^(c)	Médio	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
1A	200 – 500	350	432 – 714	586	182	325	1309
2A			269 – 494	366	105	62	534
2B			288 – 508	382	101	208	697
2C			263 – 507	379	162	41	970
2D			112 – 336	238	97	37	437
2E			326 – 661	513	146	144	794
3A			253 – 623	441	144	136	812
3B			359 – 1198	679	358	288	1515
3C			232 – 464	355	119	45	612
3D			212 – 465	328	116	115	594
3E			208 – 437	318	103	152	600
4A			329 – 559	428	94	226	606
5A			20 – 88	57	31	9	148
5B			302 – 490	389	108	72	636
5C			200 – 404	301	85	122	488
5D			144 – 375	259	93	67	420
5E			379 – 572	473	81	318	690
6A			194 – 434	300	107	103	597
7A			265 – 546	419	163	102	936
	200 – 500	350	255 – 528	380	134	57	679

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Valor referência;

^(c) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C e 2D = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D, 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reator (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Os valores obtidos de DQO variaram na faixa de 437 a 960 mg.L⁻¹ e valor médio de 668±229 mg.L⁻¹, também similar à faixa citada na literatura de 400 a 800 mg.L⁻¹ e valor referência de 700 mg.L⁻¹. Novamente, os menores valores de DQO foram observados no afluente da ETE 5A, pela mesma razão descrita para DBO₅.

A relação DQO/DBO₅ do esgoto bruto (Figura 5.1) foi calculada utilizando as médias de DQO e DBO₅ (Tabelas 5.1 e 5.2). Os valores encontrados variaram entre 1,4 e 2,7, média de 1,8±0,3, mediana de 1,7, sendo que a faixa central com 50% dos valores ficou entre 1,6 a 1,9. Tal relação é considerada baixa (< cerca de 2,5), isto é, fração biodegradável elevada com indicação para tratamento biológico. Von Sperling (2014) relata que essa relação em esgotos domésticos brutos varia em torno de 1,7 a 2,4. Estudos conduzidos pelo mesmo, resultaram em relação de 2,1 (mediana) e faixa central variando entre 1,9 a 2,3.

50

Tabela 5.2. Valores usuais e observados de DQO (mg.L^{-1}) no esgoto bruto (afluente).

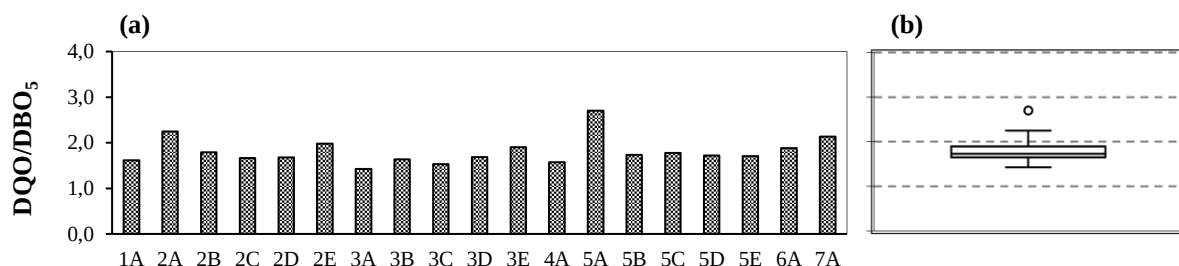
Literatura ^(a)				Observados			
ETE	Faixa	Referência ^(b)	Faixa ^(c)	Médio	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
1A	400 – 800	700	777 – 1129	947	170	680	1240
1B			297 – 892	631	243	263	935
2A			623 – 1121	822	210	574	1130
2B			315 – 1095	683	383	281	1410
2C			193 – 514	399	171	131	740
2D			732 – 1400	1014	344	500	1610
3A			411 – 928	627	228	356	930
3B			801 – 1506	1113	358	797	1550
3C			410 – 712	544	148	325	810
3D			411 – 669	552	134	276	670
3E			403 – 806	604	269	375	1246
4A			361 – 1034	674	342	265	1380
5A			81 – 218	154	88	68	360
5B			572 – 845	674	121	524	860
5C			457 – 640	534	84	456	658
5D			221 – 611	446	167	143	661
5E			662 – 900	808	116	644	902
6A			347 – 736	565	181	318	898
7A			662 – 1187	893	283	540	1439
	400 – 800	700	437 – 960	668	229	154	1113

^(a) von Sperling (2014);^(b) Valor referência;^(c) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D, 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.



1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D e 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Figura 5.1. a) Variação da relação DQO/DBO₅ do esgoto bruto das 19 ETES; b) box plot dos valores encontrados.

O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento de micro-organismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos, sendo as formas predominantes nos esgotos brutos, o nitrogênio orgânico e a amônia (nitrogênio amoniacal). O nitrogênio orgânico corresponde a

grupamentos amina e a amônia tem sua sua origem especialmente da ureia, que é rapidamente hidrolisada e dificilmente encontrada no esgoto bruto. São determinados pelo método Kjeldahl e formam o parâmetro NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl). A origem da maior parcela de NTK nos esgotos é fisiológica. As demais parcelas de nitrogênio são geralmente de menor importância nos esgotos afluentes às ETEs (von Sperling, 2014).

O nitrogênio amoniacal variou na faixa de 44 a 71 mg.L⁻¹ e média de 55±13 mg.L⁻¹ (Tabela 5.3). A literatura reporta uma faixa de 20 a 35 mg.L⁻¹. Oliveira & von Sperling (2005), analisaram NTK em diversas ETEs e obtiveram concentrações variando entre 43 e 78 mg.L⁻¹ no afluente. Esses autores relatam uma diferença muito acentuada nas concentrações afluentes e efluentes das diversas tecnologias de tratamento, especialmente nos constituintes DBO, DQO, SST e NTK.

Tabela 5.3. Concentrações usuais e observadas de nitrogênio amoniacal, N-NH₃ (mg.L⁻¹) no esgoto bruto (afluente).

Literatura ^(a)			Observadas				
ETE	Faixa	Referência ^(b)	Faixa ^(c)	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
1A	20 – 35	25	32 – 73	58	17	25	75
2A			43 – 117	79	33	37	138
2B			23 – 66	47	21	1	72
2C			18 – 70	47	24	9	102
2D			26 – 110	73	36	9	112
2E			35 – 77	65	18	30	94
3A			35 – 84	55	22	9	95
3B			29 – 69	49	19	1	71
3C			24 – 69	51	21	13	91
3D			11 – 81	53	28	1	96
3E			34 – 78	62	23	20	115
4A			22 – 69	46	22	13	96
5A			9 – 35	23	12	3	46
5B			24 – 62	45	16	20	65
5C			31 – 72	53	18	23	87
5D			16 – 55	42	16	13	55
5E			38 – 77	62	17	28	83
6A			47 – 89	70	21	21	106
7A			40 – 94	71	25	24	116
	20 – 35	25	44 – 71	55	13	23	79

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Valor referência;

^(c) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D e 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reator (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

As concentrações de fósforo total no esgoto bruto estiveram dentro da faixa relatada pela literatura, de 4 a 15 mg.L⁻¹, porém, a média encontrada, 12±3 mg.L⁻¹, foi superior à concentração de referência, de 7 mg.L⁻¹ (von Sperling, 2014).

Tabela 5.4. Concentrações usuais e observadas de fósforo total, P-Total (mg.L⁻¹) no esgoto bruto (afluente).

Literatura ^(a)			Observadas				
ETE	Faixa	Referência ^(b)	Faixa ^(c)	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
1A	4-15	7	6 – 17	13	12	3	56
2A			5 – 22	12	9	1	49
2B			5 – 22	12	12	4	50
2C			4 – 24	11	9	2	41
2D			4 – 21	11	9	3	40
2E			8 – 25	16	14	6	71
3A			5 – 20	14	15	2	62
3B			4 – 35	17	16	3	57
3C			4 – 22	11	10	2	40
3D			5 – 22	13	12	3	51
3E			4 – 21	11	10	3	46
4A			6 – 29	14	15	3	71
5A			2 – 10	5	6	0,4	26
5B			5 – 23	14	16	5	81
5C			6 – 29	13	11	4	48
5D			4 – 22	9	8	2	34
5E			6 – 30	15	11	3	50
6A			6 – 25	12	9	4	35
7A			5 – 28	14	9	3	35
	4 – 15	7	11 – 15	12	3	5	17

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Valor referência;

^(c) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D e 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reator (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Segundo Jordão & Pêssoa (2017), esgoto bruto considerado forte, possui concentrações de fósforo total de aproximadamente 20 mg.L⁻¹, esgoto médio de aproximadamente 10 mg.L⁻¹ e fraco de aproximadamente 5 mg.L⁻¹. Dessa maneira, em geral, o esgoto das ETEs estudadas poderia ser classificado como um intermediário entre médio e forte.

A quantidade de bactérias *E. coli* detectadas nos esgotos das ETEs foi similar aos valores de literatura, entre 10⁶ e 10⁹ org.100mL⁻¹ (Tabela 5.5). O valor mínimo de *E. coli* foi detectado na ETE 2A, 9,0 x 10³ org.100 mL⁻¹ e máximo de 6,5 x 10¹⁰ org.100mL⁻¹ na ETE 3B. O baixo número de organismos encontrados na ETE 2A pode ser justificado por uma amostragem simples, em vez de composta. Contudo, apresentou-se como um caso isolado.

Tabela 5.5. Concentrações usuais e observadas de *Escherichia coli* (org.100mL⁻¹) no esgoto bruto (afluente).

Literatura ^(a)		Observadas				
ETE	Faixa	Faixa ^(b)	Média ^(c)	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
1A	10 ⁶ - 10 ⁹	-	-	-	-	-
2A		9,3 x 10 ⁶ – 3,3 x 10 ⁸	4,5 x 10 ⁷	6,4 x 10 ⁸	9,0 x 10 ³	3,9 x 10 ⁹
2B		6,7 x 10 ⁶	6,7 x 10 ⁶	-	6,7 x 10 ⁶	6,7 x 10 ⁶
2C		1,1 x 10 ⁷ – 1,2 x 10 ⁹	6,4 x 10 ⁷	5,3 x 10 ⁸	5,0 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁹
2D		5,7 x 10 ⁶ – 2,9 x 10 ⁸	2,2 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁸	3,3 x 10 ⁶	6,5 x 10 ⁸
2E		-	-	-	-	-
3A		7,6 x 10 ⁶ – 6,1 x 10 ⁸	5,9 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁹	3,9 x 10 ⁶	6,9 x 10 ⁹
3B		8,5 x 10 ⁶ – 9,4 x 10 ⁸	9,2 x 10 ⁷	1,9 x 10 ¹⁰	1,1 x 10 ⁶	6,5 x 10 ¹⁰
3C		1,1 x 10 ⁷ – 1,1 x 10 ⁸	3,5 x 10 ⁷	8,9 x 10 ⁸	6,8 x 10 ⁶	3,8 x 10 ⁹
3D		9,5 x 10 ⁶ – 9,9 x 10 ⁸	7,4 x 10 ⁷	1,6 x 10 ⁹	8,0 x 10 ⁶	5,1 x 10 ⁹
3E		9,8 x 10 ⁶ – 2,9 x 10 ⁸	3,2 x 10 ⁷	1,5 x 10 ⁸	7,8 x 10 ⁶	6,1 x 10 ⁸
4A		1,5 x 10 ⁷ – 3,7 x 10 ⁸	6,3 x 10 ⁷	1,5 x 10 ⁹	4,4 x 10 ⁶	6,4 x 10 ⁹
5A		1,0 x 10 ⁶ – 9,5 x 10 ⁸	1,7 x 10 ⁷	1,5 x 10 ⁹	4,8 x 10 ⁵	6,1 x 10 ⁹
5B		7,7 x 10 ⁶ – 1,2 x 10 ⁹	5,2 x 10 ⁷	3,4 x 10 ⁹	4,3 x 10 ⁶	1,4 x 10 ¹⁰
5C		9,0 x 10 ⁶ – 3,2 x 10 ⁸	4,2 x 10 ⁷	2,2 x 10 ⁹	7,2 x 10 ⁶	9,3 x 10 ⁹
5D		6,6 x 10 ⁶ – 1,7 x 10 ⁸	3,0 x 10 ⁷	6,9 x 10 ⁷	5,2 x 10 ⁶	2,1 x 10 ⁸
5E		1,6 x 10 ⁶ – 1,9 x 10 ⁸	1,3 x 10 ⁸	1,1 x 10 ⁹	1,5 x 10 ⁷	3,4 x 10 ⁹
6A		8,0 x 10 ⁶ – 6,1 x 10 ⁸	3,3 x 10 ⁷	3,1 x 10 ⁸	6,3 x 10 ⁶	9,8 x 10 ⁸
7A		2,1 x 10 ⁷ – 6,9 x 10 ⁸	1,0 x 10 ⁸	2,1 x 10 ⁹	1,2 x 10 ⁷	9,2 x 10 ⁹
	10 ⁶ - 10 ⁹	6,2 x 10⁶ – 1,2 x 10⁹	4,3 x 10⁷	4,4 x 10⁹	9,0 x 10³	6,5 x 10¹⁰

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo;

^(c) Para *E. coli*, os valores referem-se à média geométrica das concentrações;

- não analisado.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D e 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

A Tabela 5.6 apresenta um resumo comparativo da caracterização do esgoto bruto em estudo (Tabelas 5.1 a 5.5) em termos de DBO₅, DQO, N-NH₃ e P-Total com os valores usuais da literatura.

Tabela 5.6. Resumo comparativo da caracterização do esgoto bruto (afluente).

Parâmetro	Literatura ^(a)		Valores Observados				
	Faixa	Ref. ^(b)	Faixa ^(c)	Média ^(d)	Desv. P.	Mínimo	Máximo
DBO (mg.L ⁻¹)	200 – 500	350	255 – 528	380	134	57	679
DQO (mg.L ⁻¹)	400 – 800	700	437 – 960	668	229	154	1113
N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	20 – 35	25	44 – 71	55	13	23	79
PT	4 – 15	7	11 – 15	12	3	5	17
<i>E.coli</i> (org.100mL ⁻¹)	10 ⁶ - 10 ⁹	-	6,2 x 10 ⁶ – 1,2 x 10 ⁹	4,3 x 10 ⁷	4,4 x 10 ⁹	9,0 x 10 ³	6,5 x 10 ¹⁰

^(a) von Sperling (2014); ^(b) Valor referência; ^(c) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo; ^(d) Para *E. coli*, os valores referem-se à média geométrica das concentrações.

De acordo com Tchobanoglous (2013), dependendo da natureza dos contribuintes ao sistema de esgotamento sanitário, podem ocorrer variações nas concentrações dos constituintes

dos esgotos. Além do que, as concentrações se modificam constantemente durante o dia, por exemplo, o pico de concentração de DBO (matéria orgânica) ocorre tipicamente à noite. O horário no qual os picos ocorrem variam em função dos dias da semana e dos dias de final de semana.

A infiltração, conforme discutido anteriormente, também é outra fonte de contribuição ao sistema de coleta. Em geral, dependendo das características dessas águas externas que entram na tubulação, essas tendem a reduzir os valores de DBO₅. Já em outros casos, as concentrações de alguns constituintes inorgânicos podem aumentar quando a água subterrânea contém teores elevados de constituintes dissolvidos.

5.2. Caracterização da qualidade do esgoto tratado (efluente)

As concentrações efluentes apresentaram uma grande variabilidade ao longo do monitoramento, tanto com relação ao mesmo tipo de tratamento, quanto entre as tecnologias. Observaram-se episódios de concentrações muito abaixo ou acima da média observada, demonstrando a heterogeneidade dos dados.

A Tabela 5.7 apresenta a faixa reportada pela literatura de DBO₅ presente em efluente de ETEs de acordo com a tecnologia de tratamento adotada. Também são apresentadas, a faixa de DBO₅ observada no estudo, média, desvio padrão, mínimo e máximo.

A tecnologia 2, lagoa facultativa seguida por lagoa de maturação, mostrou-se bem promissora na produção de efluente com menores valores de DBO₅, com exceção da ETE 2C. Essa ETE, está em processo de início de operação, apresentando alguns picos atípicos em suas análises.

Os UASBs, tecnologia 3, apresentaram, em geral, valores máximos muito superiores aos de literatura, o mesmo ocorrendo para os valores mínimos. A tecnologia 5 também mostrou estabilidade em termos de DBO₅ efluente, com exceção da ETE 5E, que apresentou alguns problemas de execução em sua ampliação, os quais impactaram na eficiência de seu tratamento. A tecnologia 7 foi a que apresentou menor valor de DBO₅. Dentre as tecnologias estudadas, a 7 é a que possui maiores custos de operação.

Com relação à DQO efluente, verificou-se que as tecnologias 3 (exceto ETE 3C), 5 e 7 foram as que apresentaram faixas de valores condicentes com as de literatura (Tabela 5.8).

Tabela 5.7. Valores usuais e observados de DBO₅ (mg.L⁻¹) no esgoto tratado (efluente).

ETE	Tecnologia	Literatura ^(a)		Observados			
		Faixa	Faixa ^(b)	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo
1A	LA + LF	50 – 80	58 – 144	92	33	24	155
2A	LF + LM	40 – 70	16 – 53	34	21	11	124
2B	LF + LM	40 – 70	29 – 76	54	32	24	163
2C	LF + LM	40 – 70	45 – 189	110	59	27	251
2D	LF + LM	40 – 70	17 – 46	30	14	2	56
2E	LF + LM	40 – 70	29 – 76	49	23	21	143
3A	UASB	70 – 100	38 – 119	68	31	29	152
3B	UASB	70 – 100	55 – 114	86	32	45	173
3C	UASB	70 – 100	161 – 277	208	59	15	347
3D	UASB	70 – 100	51 – 157	98	49	17	252
3E	UASB	70 – 100	44 – 101	74	33	39	218
4A	UASB + BAS	20 – 50	103 – 246	173	52	81	288
5A	UASB + FBP + DS	20 – 60	5 – 19	12	6	2	27
5B	UASB + FBP + DS	20 – 60	15 – 78	43	30	8	146
5C	UASB + FBP + DS	20 – 60	13 – 70	40	23	1	84
5D	UASB + FBP + DS	20 – 60	20 – 39	32	23	14	162
5E	UASB + FBP + DS	20 – 60	12 – 352	173	140	7	374
6A	UASB + FQ + DS	–	43 – 115	79	30	23	159
7A	UASB + FQ + DS +DES	–	2 – 16	8	7	2	37

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo;

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Tabela 5.8. Valores usuais e observados de DQO (mg.L⁻¹) no esgoto tratado (efluente).

ETE	Tecnologia	Literatura ^(a)		Observados			
		Faixa	Faixa ^(b)	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo
1A	LA + LF	120 – 200	223 – 451	328	113	216	522
2A	LF + LM	100 – 180	134 – 267	190	56	101	274
2B	LF + LM	100 – 180	59 – 262	183	97	48	368
2C	LF + LM	100 – 180	102 – 420	252	153	101	510
2D	LF + LM	100 – 180	119 – 284	183	73	112	303
2E	LF + LM	100 – 180	276 – 396	348	60	240	401
3A	UASB	180 – 270	89 – 230	148	74	67	311
3B	UASB	180 – 270	132 – 237	168	47	127	247
3C	UASB	180 – 270	298 – 621	431	151	230	663
3D	UASB	180 – 270	177 – 243	213	30	171	255
3E	UASB	180 – 270	101 – 300	204	208	99	754
4A	UASB + BAS	60 – 150	273 – 534	405	123	213	577
5A	UASB + FBP + DS	70 – 180	10 – 66	38	23	5	80
5B	UASB + FBP + DS	70 – 180	46 – 87	65	28	4	121
5C	UASB + FBP + DS	70 – 180	51 – 133	84	36	50	156
5D	UASB + FBP + DS	70 – 180	42 – 99	71	23	36	120
5E	UASB + FBP + DS	70 – 180	60 – 128	143	207	34	763
6A	UASB + FQ + DS	–	42 – 209	136	75	33	276
7A	UASB + FQ + DS +DES	–	20 – 81	44	30	13	87

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo;

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Os valores de DQO efluente das lagoas de estabilização foram bem elevados, sendo que nenhuma das ETEs se enquadrou na faixa da literatura. Já para DBO₅, as lagoas se mostraram eficientes na remoção desse parâmetro.

As concentrações de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) foram bem elevadas, em geral, muito superiores a 15 mg.L⁻¹ (Tabela 5.9), apresentando valores máximos de até 133 mg.L⁻¹ em um UASB (ETE 3A).

Tabela 5.9 Concentrações usuais e observadas de N-NH₃ (mg.L⁻¹) no esgoto tratado (efluente).

ETE	Tecnologia	Literatura ^(a)		Observadas			
		Faixa	Faixa ^(b)	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo
1A	LA + LF	> 15	17 – 71	47	20	13	79
2A	LF + LM	10 – 15	13 – 44	28	13	13	54
2B	LF + LM	10 – 15	13 – 40	29	13	1	55
2C	LF + LM	10 – 15	15 – 67	46	21	9	71
2D	LF + LM	10 – 15	10 – 48	29	15	9	51
2E	LF + LM	10 – 15	5 – 29	21	10	4	38
3A	UASB	> 15	30 – 87	66	30	24	133
3B	UASB	> 15	34 – 95	71	31	2	115
3C	UASB	> 15	28 – 55	46	14	18	74
3D	UASB	> 15	48 – 82	59	21	1	86
3E	UASB	> 15	31 – 81	61	20	24	95
4A	UASB + BAS	5 – 15	15 – 73	45	19	4	79
5A	UASB + FBP + DS	> 15	5 – 31	16	10	4	32
5B	UASB + FBP + DS	> 15	18 – 56	42	17	10	69
5C	UASB + FBP + DS	> 15	21 – 55	41	16	15	72
5D	UASB + FBP + DS	> 15	18 – 58	40	18	13	69
5E	UASB + FBP + DS	> 15	28 – 63	47	15	22	73
6A	UASB + FQ + DS	–	32 – 82	60	21	25	91
7A	UASB + FQ + DS +DES	–	59 – 82	72	11	51	84

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo;

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

A Tabela 5.10 apresenta as concentrações de fósforo total (P-Total) do efluente das ETEs. Também, para esse parâmetro verificou-se concentrações elevadas de até 54 mg.L⁻¹ em um sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa. A literatura reporta valores inferiores a 4 para efluentes da tecnologia 2 e valores superiores a 4 para efluentes das tecnologias 1, 3 e 5.

Para as tecnologias 6 e 7 não foram apresentadas faixas de concentrações de P-Total e N-NH₃ (Tabelas 5.9 e 5.10). Nenhum dos sistemas citados por von Sperling (2014) se comparou a esses. As variações de concentrações desses dois parâmetros nessas ETEs foram similares à outras tecnologias.

195 Tabela 5.10. Concentrações usuais e observadas de fósforo total, P-Total (mg.L⁻¹) no esgoto
196 tratado (efluente).

ETE	Tecnologia	Literatura ^(a)		Observadas			
		Faixa	Faixa ^(b)	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo
1A	LA + LF	> 4	4 – 16	9	11	1	54
2A	LF + LM	< 4	3 – 7	5	4	2	20
2B	LF + LM	< 4	2 – 21	8	8	2	31
2C	LF + LM	< 4	2 – 13	6	5	1	21
2D	LF + LM	< 4	3 – 13	7	6	3	28
2E	LF + LM	< 4	4 – 24	10	10	3	37
3A	UASB	> 4	5 – 15	10	11	0,2	56
3B	UASB	> 4	4 – 18	11	11	1	49
3C	UASB	> 4	4 – 18	9	9	2	41
3D	UASB	> 4	4 – 17	9	9	3	39
3E	UASB	> 4	3 – 18	8	10	3	47
4A	UASB + BAS	> 4	4 – 18	8	8	3	35
5A	UASB + FBP + DS	> 4	1 – 11	4	4	1	14
5B	UASB + FBP + DS	> 4	3 – 15	7	7	2	27
5C	UASB + FBP + DS	> 4	3 – 16	7	6	2	28
5D	UASB + FBP + DS	> 4	3 – 13	6	5	2	25
5E	UASB + FBP + DS	> 4	3 – 19	9	7	0,2	27
6A	UASB + FQ + DS	–	2 – 14	6	6	1	24
7A	UASB + FQ + DS +DES	–	3 – 18	9	8	0,3	24

^(a) von Sperling (2014);

^(b) Percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) como critério para as faixas reais; percentil inclusivo;

LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

O número de bactérias *E. coli* no esgoto tratado das ETEs variou entre 10⁰ e 10⁸ UFC.100mL⁻¹. A ETE 7A apresentou valor mínimo de *E. coli* de 1,0 x 10⁰ UFC.100 mL⁻¹ e o valor máximo de 7,0 x 10⁸ UFC.100mL⁻¹ foi detectado na ETE 2C.

A Tabela 5.11 apresenta a estatística descritiva do número de *E. coli* no esgoto tratado das ETEs em estudo, em unidades logarítmicas e UFC.100 mL⁻¹.

Tabela 5.11. Estatística descritiva do número de *E. coli* no esgoto tratado das ETEs (efluente), em unidades logarítmicas e UFC.100 mL⁻¹.

Estatística	1A, n=10		2A, n=43		2B, n=10		2C, n=28		2D, n=45	
	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹
Mínimo	5,1761	1,50E+05	3,0000	1,00E+03	4,0000	1,00E+04	4,0000	1,00E+04	3,5682	3,70E+03
Média	5,6901	4,90E+05	4,4320	2,70E+04	5,4391	2,75E+05	6,6986	5,00E+06	4,8754	7,51E+04
Mediana	5,6231	4,20E+05	4,1461	1,40E+04	5,4698	2,95E+05	6,6021	4,00E+06	4,7404	5,50E+04
Máximo	6,5185	3,30E+06	7,6128	4,10E+07	6,6021	4,00E+06	8,8451	7,00E+08	6,3802	2,40E+06
Desvio Padrão	0,1397	1,38E+00	0,1732	1,49E+00	0,1998	1,58E+00	0,1946	1,57E+00	0,0967	1,25E+00
Estatística	2E, n=7		3A, n=12		3B, n=12		3C, n=18		3D, n=11	
	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹
Mínimo	2,0000	1,00E+02	5,4771	3,00E+05	5,7076	5,10E+05	6,6902	4,90E+06	6,5185	3,30E+06
Média	4,3972	2,50E+04	6,2009	1,59E+06	6,2967	1,98E+06	7,1509	1,42E+07	7,1513	1,42E+07
Mediana	4,9542	9,00E+04	5,9073	8,08E+05	6,1240	1,33E+06	6,9933	9,85E+06	7,0374	1,09E+07
Máximo	5,4914	3,10E+05	7,5441	3,50E+07	7,5798	3,80E+07	7,9638	9,20E+07	7,7076	5,10E+07
Desvio Padrão	0,5065	3,21E+00	0,2098	1,62E+00	0,1617	1,45E+00	0,0838	1,21E+00	0,1283	1,34E+00
Estatística	3E, n=18		4A, n=17		5A, n=16		5B, n=18		5C, n=18	
	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹
Mínimo	6,3979	2,50E+06	3,4771	3,00E+03	3,5798	3,80E+03	5,5441	3,50E+05	4,9085	8,10E+04
Média	6,8391	6,90E+06	6,5723	3,73E+06	4,6393	4,36E+04	6,1055	1,27E+06	5,8744	7,49E+05
Mediana	6,7159	5,20E+06	6,6532	4,50E+06	4,6048	4,02E+04	5,9845	9,65E+05	5,8938	7,83E+05
Máximo	7,4914	3,10E+07	7,7924	6,20E+07	5,3424	2,20E+05	6,7482	5,60E+06	6,7076	5,10E+06
Desvio Padrão	0,0810	1,21E+00	0,2430	1,75E+00	0,1455	1,40E+00	0,0886	1,23E+00	0,1122	1,29E+00
Estatística	5D, n=34		5E, n=12		6A, n=25		7A, n=46			
	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹
Mínimo	3,0000	1,00E+03	5,4472	2,80E+05	3,6021	4,00E+03	0,000	1,00E+00		
Média	6,1308	1,35E+06	6,0386	1,09E+06	6,0850	1,22E+06	2,619	4,16E+02		
Mediana	6,1300	1,35E+06	5,8602	7,25E+05	5,9868	9,70E+05	3,000	1,00E+03		

209 Continuação Tabela 5.11.

Estatística	5D, n=34		5E, n=12		6A, n=25		7A, n=46		Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹
	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹	Log ₁₀	UFC.100 mL ⁻¹		
Máximo	8,1790	1,51E+08	7,7709	5,90E+07	7,5051	3,20E+07	6,602	4,00E+06		
Desvio Padrão	0,1411	1,38E+00	0,2012	1,59E+00	0,1618	1,45E+00	0,281	1,91E+00		

210 1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C, 2D e 2E = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D e 3E = UASB; 4A = UASB + BAS;

211 5A, 5B, 5C, 5D e 5E = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES.

212 LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado

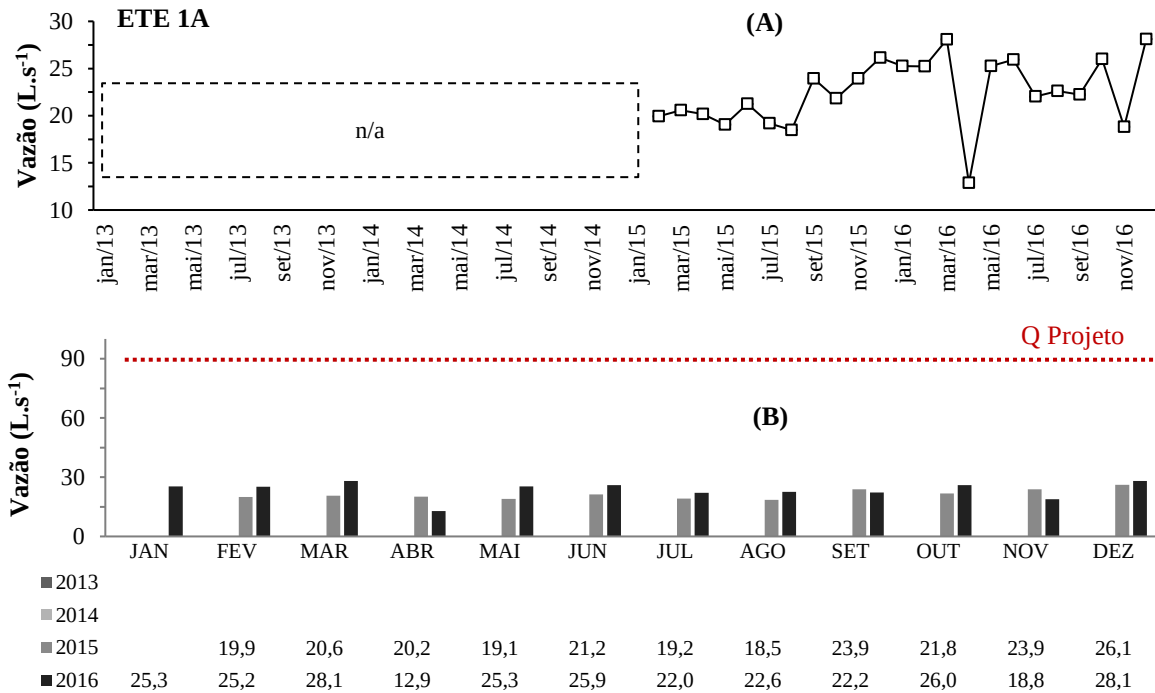
213 Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

5.3. Avaliação do desempenho das ETEs em termos de eficiência de remoção de DBO₅

Neste item, o desempenho das ETEs foi avaliado através dos valores de DBO₅ efluente e da eficiência de remoção de DBO₅. Também foi analisada a variabilidade das vazões afluentes à ETE. Primeiramente foram apresentados os resultados para cada ETE e em seguida realizou-se uma discussão geral sobre as tecnologias estudadas e as eficiências de tratamento obtidas.

5.3.1. Tecnologia 1: Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa (LA+LF)

Para a tecnologia 1, foi avaliado um sistema de tratamento, com vazão de projeto para final de plano de 90 L.s⁻¹ e eficiência de projeto de 94%. A ETE 1A foi implantada no ano de 2003. Em 2016, a ETE operou com vazão média de 23,5±4,3 L.s⁻¹. Em 2015, a vazão média foi de 21,3±2,4 L.s⁻¹. Os dados de 2013 e 2014 estavam inconsistentes, por isso não foi apresentado graficamente (Figura 5.2).



n/a – vazões médias não disponibilizadas ou não monitoradas; inconsistentes ou instantâneas.

Figura 5.2. ETE 1A. a) comportamento das vazões entre os anos monitorados; (b) hidrograma das vazões médias mensais.

A média de DBO₅ efluente foi de 82±34 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de 85±6% (Figura 5.3). A eficiência do sistema esteve dentro da faixa esperada para esse tipo de tratamento, praticamente em quase todas amostras, exceto em agosto de 2014 que apresentou eficiência de 68,43%, indicando estabilidade do sistema, mesmo com a alta variabilidade de DBO₅ afluente.

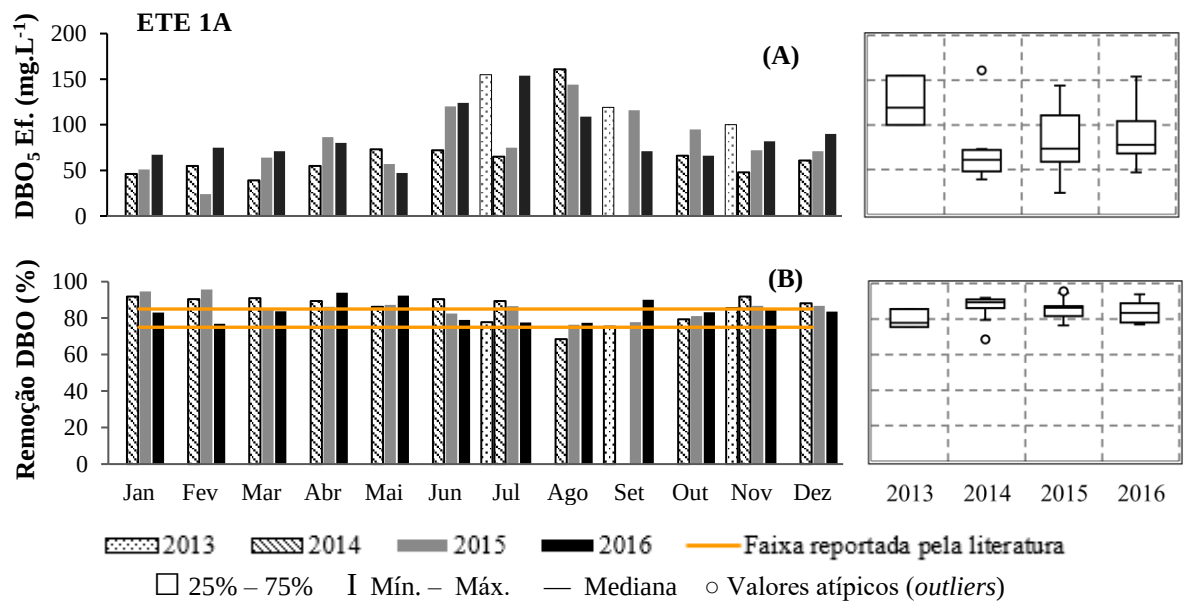


Figura 5.3. ETE 1A: a) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; b) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A DBO₅ afluente à ETE variou entre 320 mg O₂.L⁻¹ e 1309 mg O₂.L⁻¹ e média de 574±173 mg O₂.L⁻¹, valores esses, atípicos, e provavelmente, responsáveis pela variabilidade de DBO₅ efluente.

5.3.2. Tecnologia 2: Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação (LF+LM)

Para a tecnologia 2, lagoa facultativa seguida por lagoa de maturação, foram estudados 5 sistemas de tratamentos, com vazões de projeto variando entre 6 L.s⁻¹ e 36 L.s⁻¹.

A ETE 2A, implantada no ano de 2003, foi projetada para atender uma vazão de final de plano de 20 L.s⁻¹ e eficiência de 93%. Em 2016, a vazão média de operação da ETE foi de 11,6 ± 3,1 L.s⁻¹. Não se observou uma tendência de aumento nas vazões afluentes à ETE no período da pesquisa de 2013 a 2016. Ocorreu um pico em janeiro de 2016, o qual registrou 19,4 L.s⁻¹, porém as planilhas de monitoramento não acusaram o motivo desse aumento de

vazão. Os meses subsequentes seguiram com valores de vazões similares às anteriores ao pico. Outro valor de vazão média anormal para essa ETE ocorreu em dezembro de 2016, o qual registrou 6,6 L.s⁻¹. Caso também não elucidado nos relatórios de monitoramento.

A Figura 5.4b apresenta o comportamento das vazões entre os anos monitorados. Observa-se que as vazões oscilaram entre 5% e 30% para o mesmo mês nos quatro anos, contudo, em geral a ETE operou com vazões médias similares entre os anos.

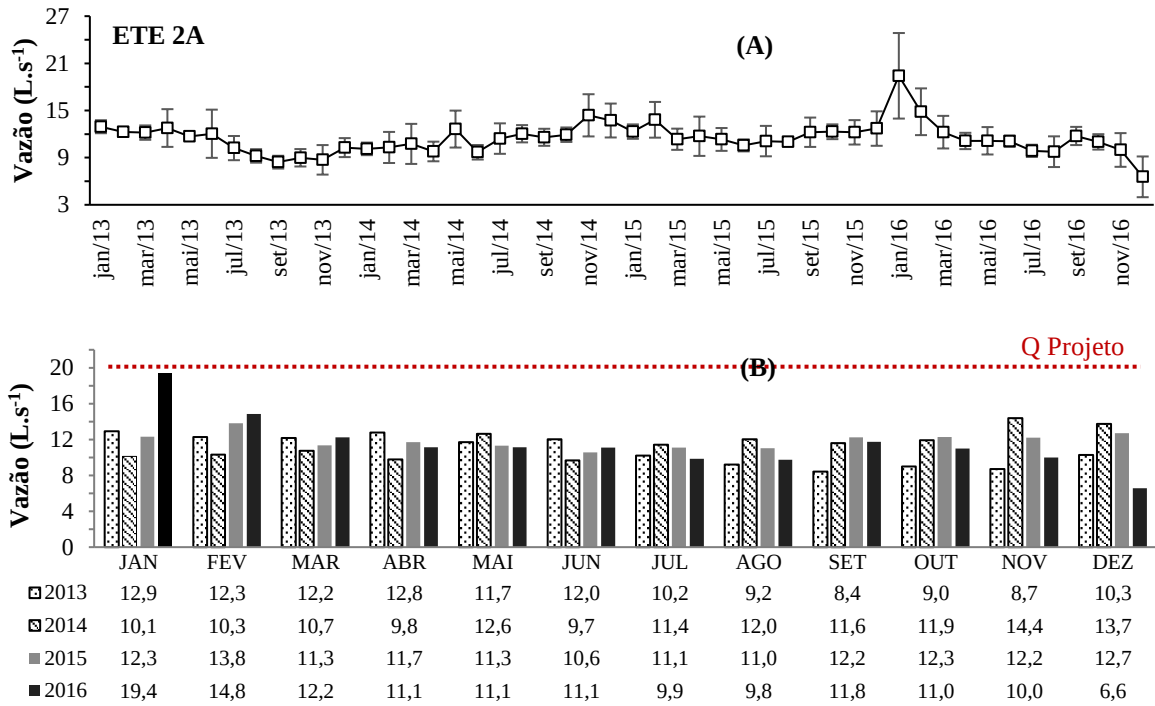


Figura 5.4. ETE 2A. a) hidrograma das vazões médias mensais; b) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A DBO₅ efluente foi de 34 ± 21 mg O₂.L⁻¹ no período de 2013 a 2016, com DBO₅ afluente a ETE de 366 ± 105 mg O₂.L⁻¹ (Figura 5.5a). A remoção de DBO₅ ficou na faixa de 24 mg O₂.L⁻¹ a 97 mg O₂.L⁻¹ com média de 88 ± 13 mg O₂.L⁻¹. A literatura reporta eficiência de 80% a 85% de remoção de DBO₅ em lagoas facultativas seguidas por lagoa de maturação.

Observa-se na Figura 5.5.b que os meses que apresentaram eficiência abaixo de 80% foram junho de 2013 e 2015, julho de 2013 e outubro de 2015.

Dos dados que foram possíveis calcular a eficiência (dados afluentes e efluentes), 48,6% apresentaram eficiência acima do valor de projeto de 93%. Os box plots das médias anuais indicam uma certa estabilidade no desempenho das lagoas, especialmente, nos anos de 2014 e

2016, os quais apresentaram eficiência de $94,9 \pm 1,5\%$ e $88,8 \pm 4,8\%$, respectivamente (Figura 5.5).

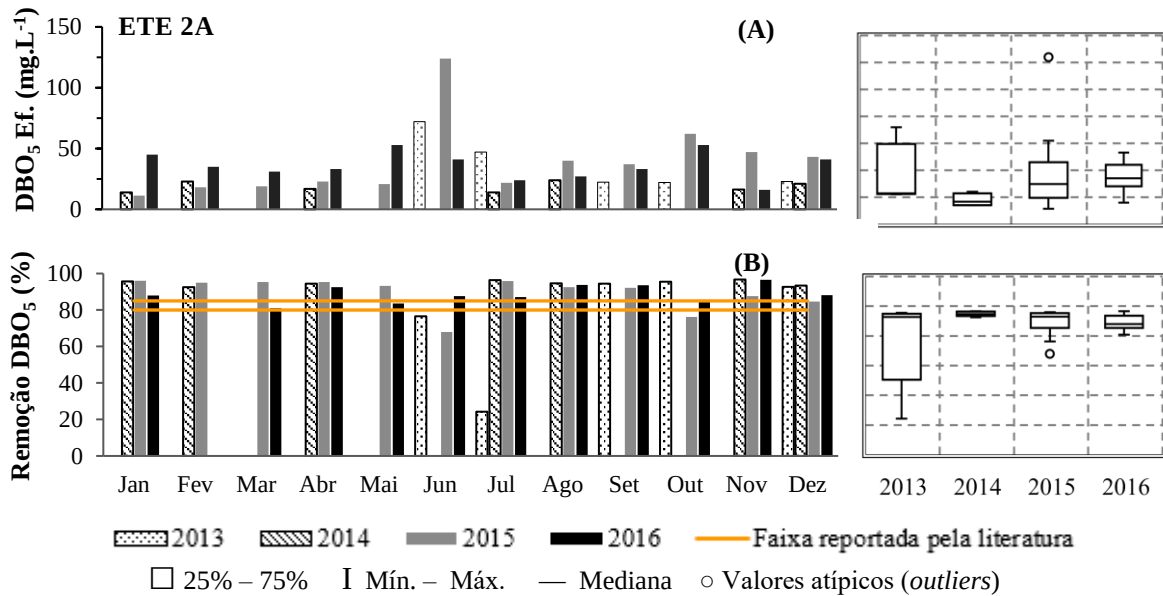


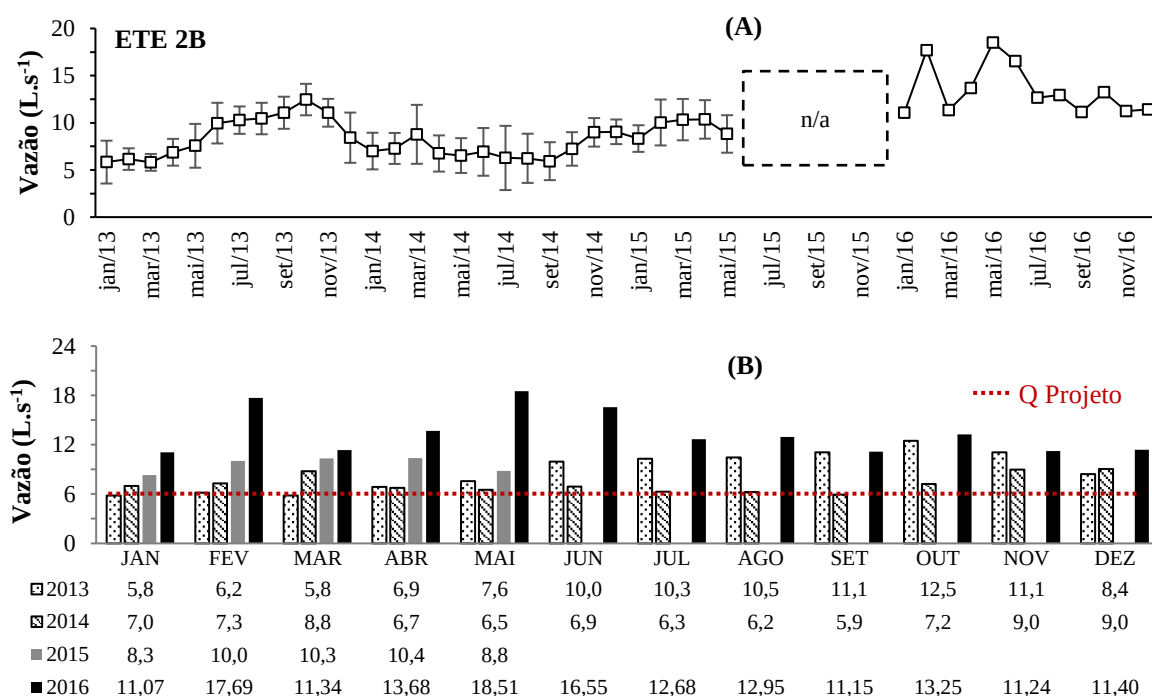
Figura 5.5. ETE 2A: a) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; b) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A ETE 2B, implantada em 2008, com uma vazão de projeto de 6 L/s, atualmente está operando em situação de sobrecarga (Figura 5.6b). No ano de 2013 a média de vazão foi de $8,8 \pm 2,3 \text{ L.s}^{-1}$, em 2014 de $7,2 \pm 1,1 \text{ L.s}^{-1}$ e em 2015 de $9,6 \pm 0,9 \text{ L.s}^{-1}$. Em 2016, as vazões variaram entre $11,07 \text{ L.s}^{-1}$ e $18,51 \text{ L.s}^{-1}$ e média de $13 \pm 2,7 \text{ L.s}^{-1}$. Porém essas vazões são instantâneas e não refletem o comportamento médio de vazões afluentes à ETE.

A DBO₅ efluente da ETE 2B obteve média de $54 \pm 32 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e variação entre $24 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e $163 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$. A eficiência de remoção foi de $86 \pm 7\%$, com mínimo de 58% e máximo de 95% (Figura 5.7). A eficiência de projeto desse sistema é de 89%.

Mesmo a ETE 2B estando em sobrecarga, ela vem apresentando uma boa remoção de DBO₅, mostrando o potencial que as lagoas possuem de absorver cargas hidráulicas. Essa ETE tem sido objeto de estudo da área de projeto da empresa concessionária, inclusive foi realizado uma análise de batimetria nas lagoas para verificar a espessura da camada de lodo.

A Figura 5.7 apresenta os valores de DBO₅ efluente e as eficiências de remoção de DBO₅ da ETE 2B.



n/a – vazões médias não disponibilizadas ou não monitoradas; inconsistentes ou instantâneas.

Figura 5.6. ETE 2B. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

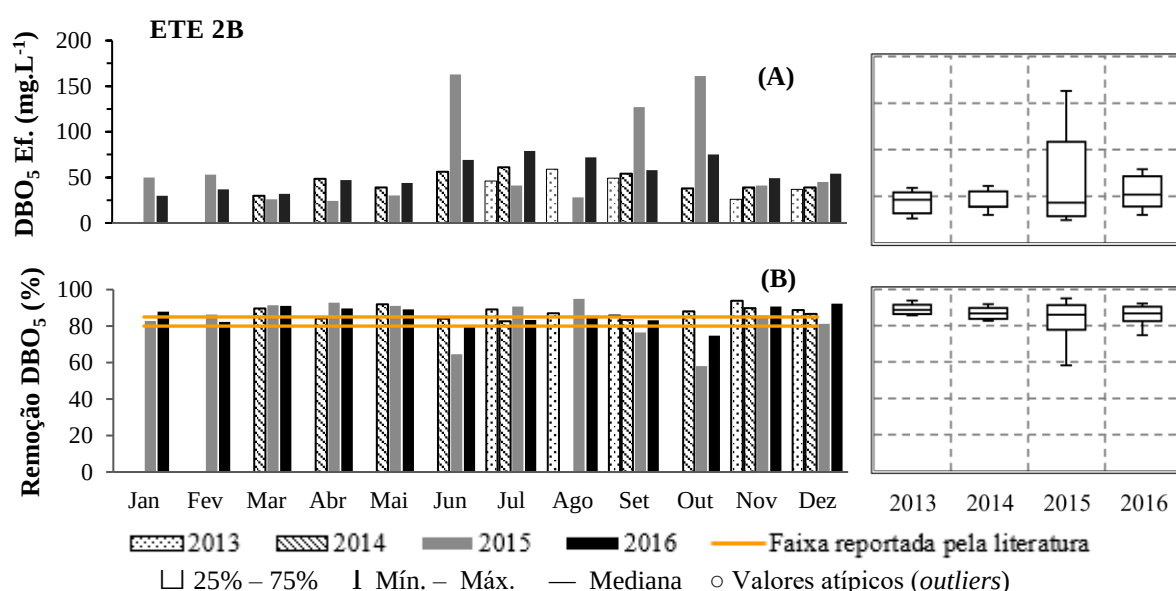


Figura 5.7. ETE 2B: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A ETE 2C possui vazão de projeto de 10 L.s⁻¹, com eficiência de projeto de 81%, foi implantada em 2005. O comportamento das vazões ao longo dos anos não foi apresentado devido à inexistência de dados consistentes.

A média de DBO₅ efluente foi de 110±59 mg O₂.L⁻¹ e média de eficiência de remoção de 68±16 %. Os dados mostram a instabilidade desse sistema, com uma alta variabilidade nos dados de DBO₅ efluente e baixa eficiência de tratamento quando comparado aos valores de referência dessa tecnologia (Figura 5.8).

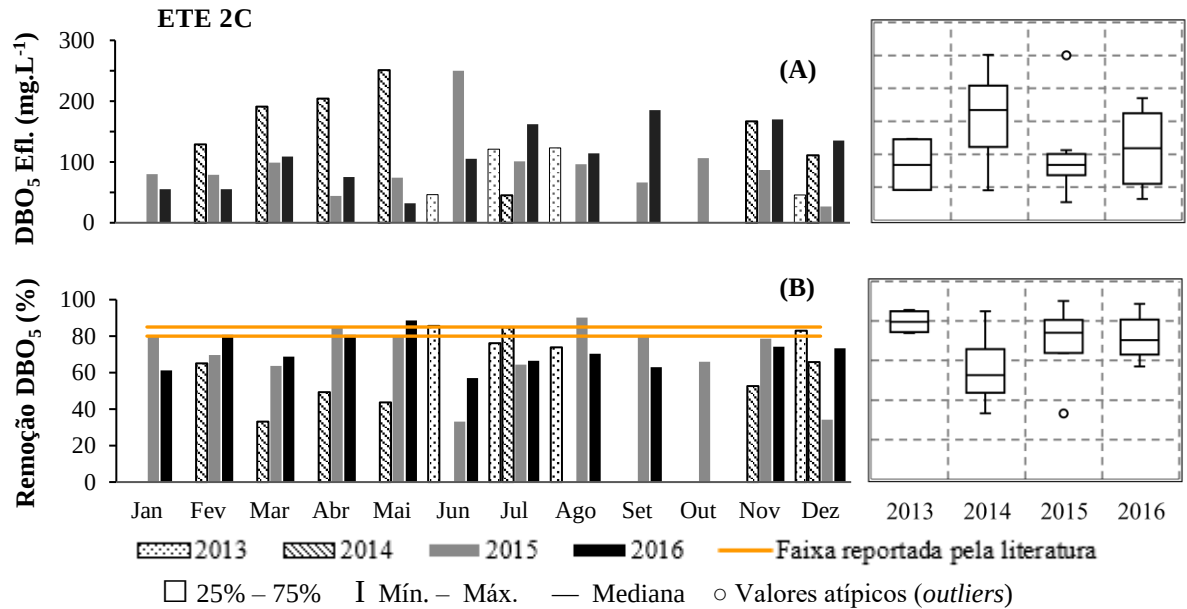


Figura 5.8. ETE 2C: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A ETE 2D foi implantada no ano de 2003, com vazão e eficiência de projeto de, respectivamente, 36 L.s⁻¹ e 96%. Como os dados de vazões estavam inconsistentes, foram apresentados somente os dados de desempenho. A DBO₅ efluente apresentou média de 30±14 mg O₂.L⁻¹ e eficiência média de remoção de DBO₅ de 84±11% (Figura 5.9).

A ETE 2E, com vazão de projeto de 20 L.s⁻¹ e eficiência de projeto de 90%, foi implantada no ano de 2011. Os dados de vazões, na ocasião da pesquisa, não estavam sendo monitorados continuamente conforme pode ser observado na Figura 5.10.

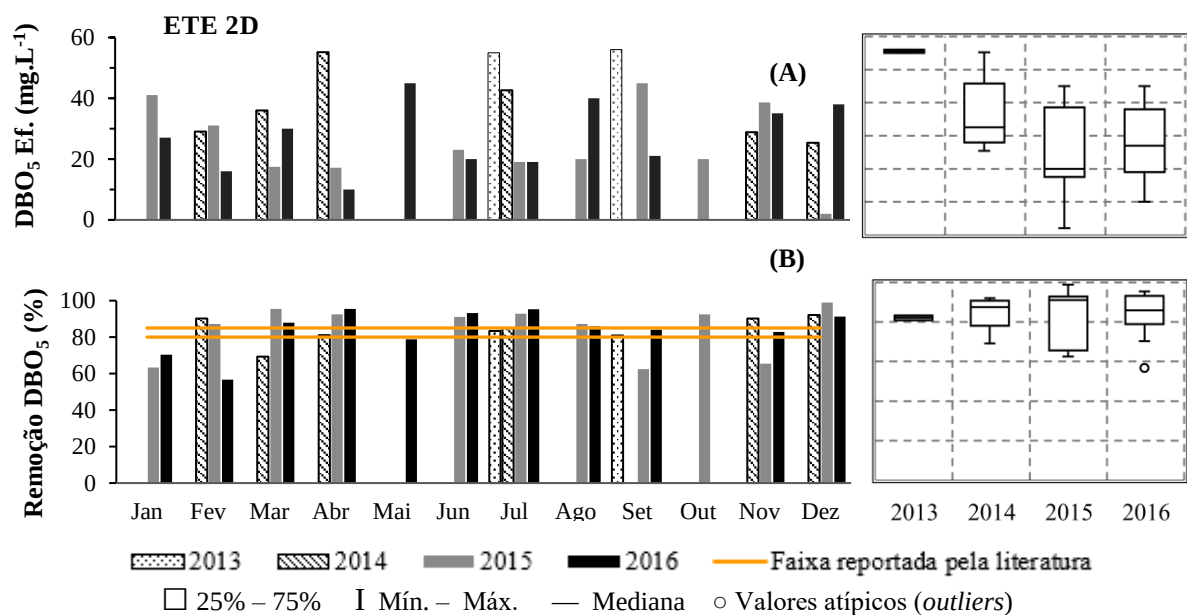
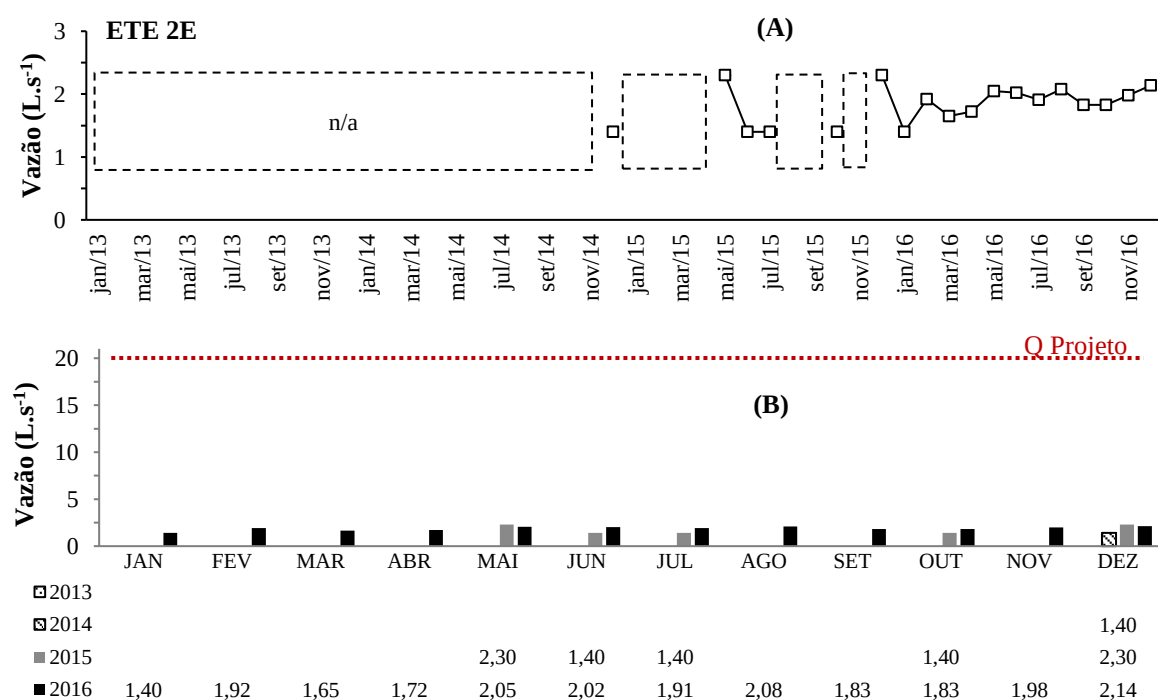


Figura 5.9. ETE 2D: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.



n/a – vazões médias não disponibilizadas ou não monitoradas; inconsistentes ou instantâneas.

Figura 5.10. ETE 2E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A Figura 5.11 apresenta os valores de DBO₅ efluente e o percentual de remoção de DBO₅ da ETE 2E.

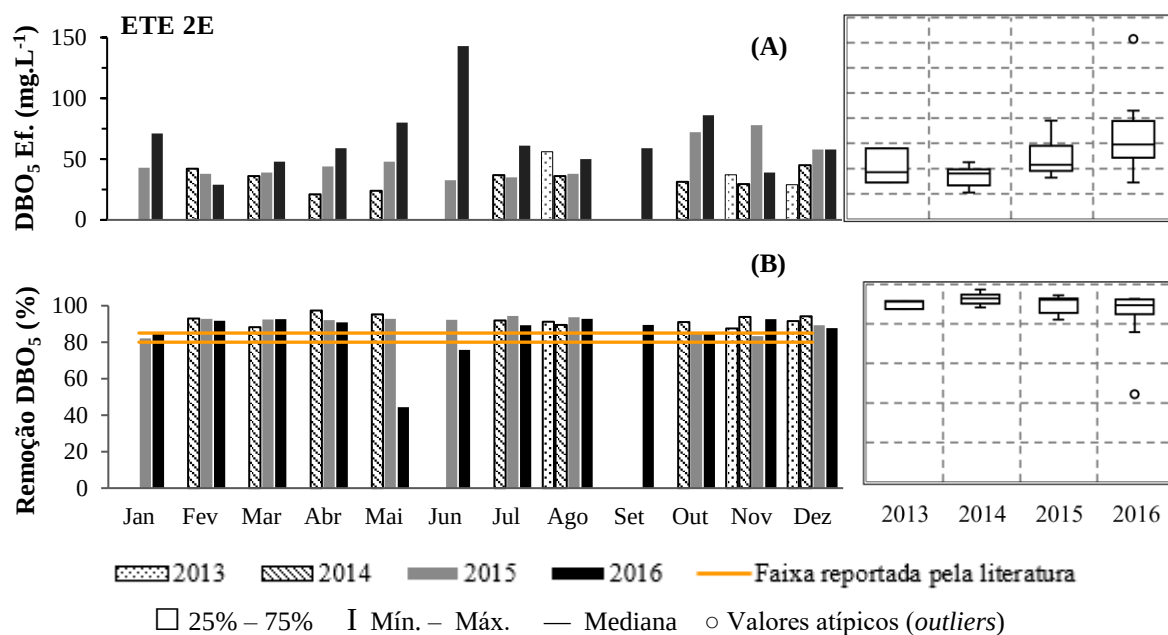


Figura 5.11. ETE 2E: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

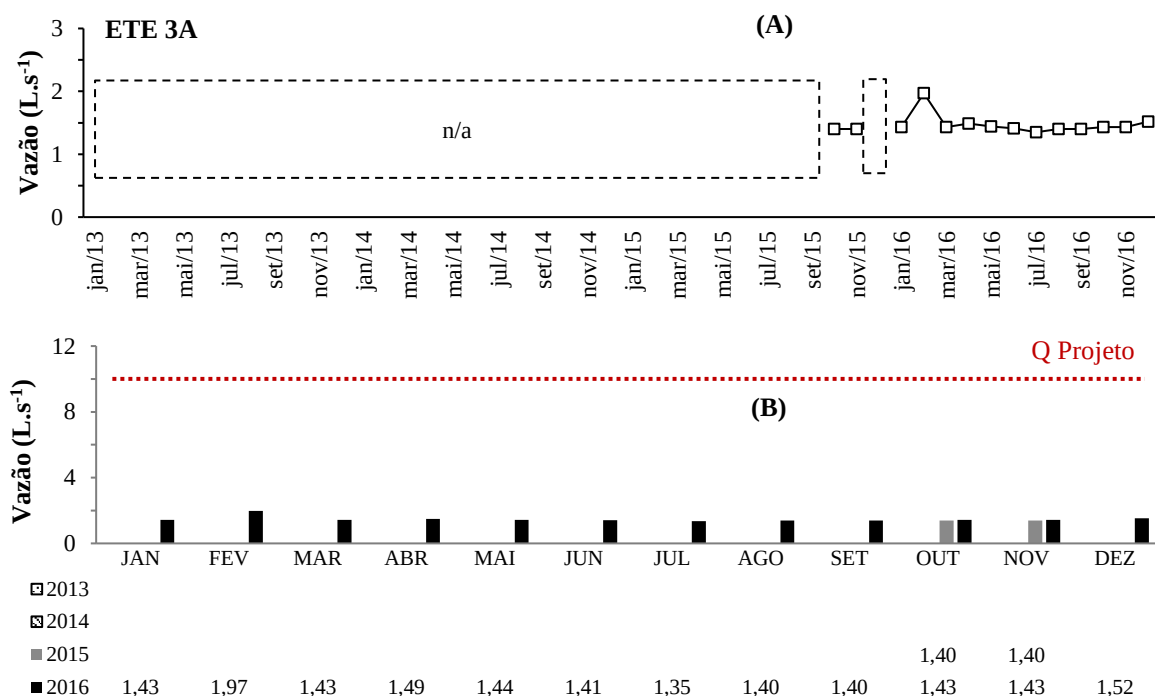
A média de DBO₅ efluente foi de 49±23 mg O₂.L⁻¹ e eficiência média de 89±9%. A DBO₅ afluenta à ETE apresentou valores de 513±146 mg O₂.L⁻¹ com pico de 794 mg O₂.L⁻¹, superiores aqueles reportados em literatura.

5.3.3. Tecnologia 3: Reator UASB

Para a tecnologia 3, reator UASB, foram estudados 5 sistemas de tratamento, com vazões de projeto variando entre 5 L.s⁻¹ e 10 L.s⁻¹.

A ETE 3A, implantada no ano de 2007, possui vazão de projeto de 10 L.s⁻¹ e eficiência de tratamento de 83%. O monitoramento de vazões no período da pesquisa foi inconsistente, sendo que em boa parte do período não houve medições.

Somente no ano de 2016 que as medições foram realizadas continuamente, contudo não representam a média (Figura 5.12).



n/a – vazões médias não disponibilizadas ou não monitoradas; inconsistentes ou instantâneas.

Figura 5.12. ETE 3A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A média de DBO₅ efluente foi de 68±31 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de remoção de 83±11%. (Figura 5.13).

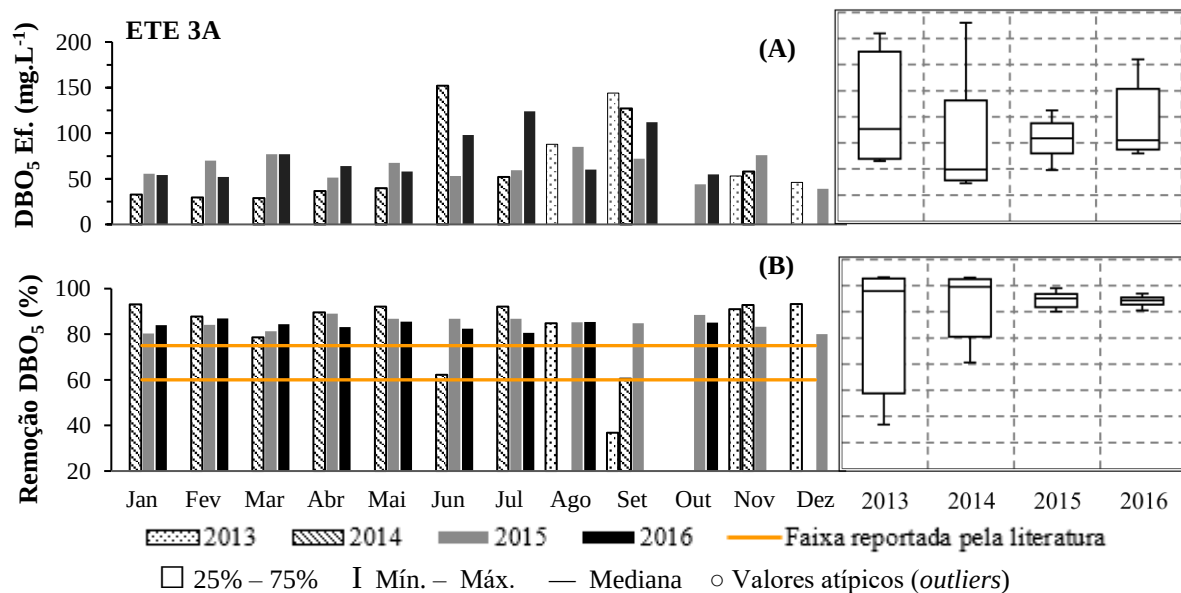
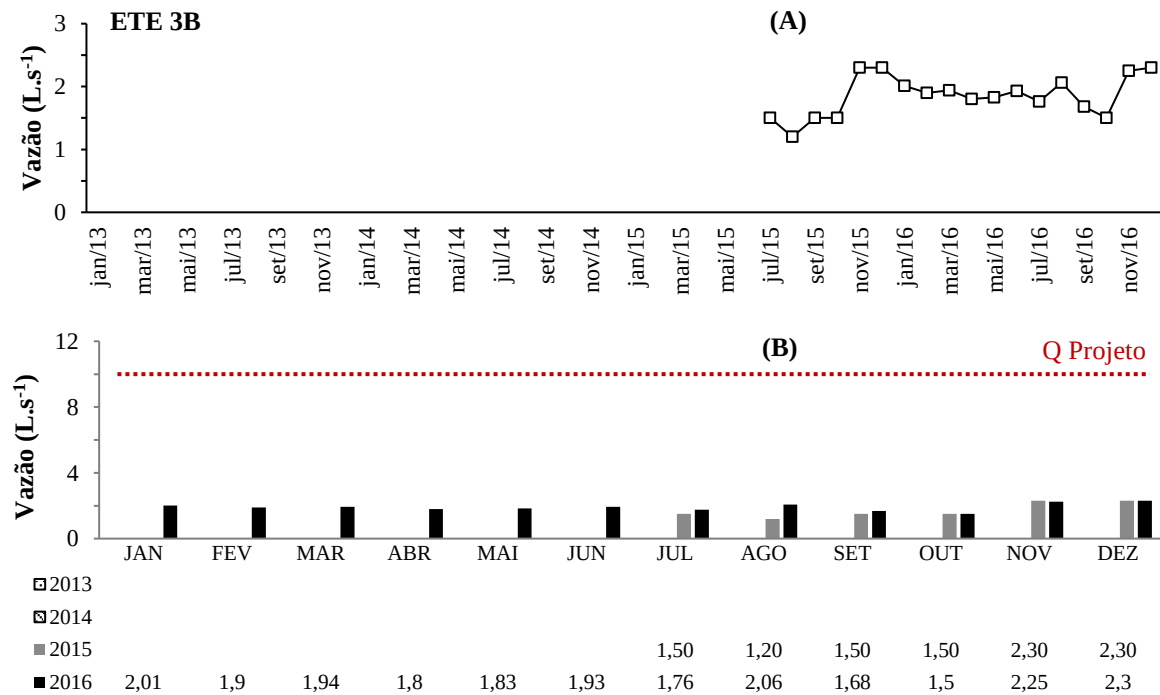


Figura 5.13. ETE 3A. A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

O box plot de DBO₅ efluente mostrou uma alta variabilidade nos dados de 2013, 2014 e 2016. Já para os dados de remoção de DBO₅ da ETE 3A, a variabilidade foi menor para os anos de 2015 e 2016, o que pode indicar uma estabilidade na eficiência de tratamento.

A ETE 3B foi implantada no ano de 2015, com vazão de projeto de 10 L.s⁻¹ e eficiência de remoção de DBO₅ de 80%. As vazões apresentadas na Figura 5.14 são instantâneas e não representam a média mensal.



n/a – vazões médias não disponibilizadas ou não monitoradas; inconsistentes ou instantâneas.

Figura 5.14. ETE 3B. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A média de DBO₅ efluente da ETE 3B foi de 86±32 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de 86±5%. O box plot de DBO₅ indica que a ETE vem apresentando estabilidade após a sua partida em 2015. Já o box plot de eficiência indica uma menor variabilidade nos dados de remoção, o que também indica, estabilidade no desempenho da ETE em remover DBO₅ (Figura 5.15).

A ETE 3C apresentou vazões variando entre 1,6 L.s⁻¹ e 3,8 L.s⁻¹ e média dos 4 anos de 2,7±0,5 L.s⁻¹. Implantada no ano de 2003, essa ETE possui vazão de projeto de 5 L.s⁻¹ e eficiência de remoção de DBO₅ de 50%. A Figura 5.16a apresenta o hidrograma das vazões mensais, onde pode-se notar um decréscimo nas vazões no período de abril a setembro de 2015, não observado nos demais anos, e não elucidado nos relatórios de monitoramento.

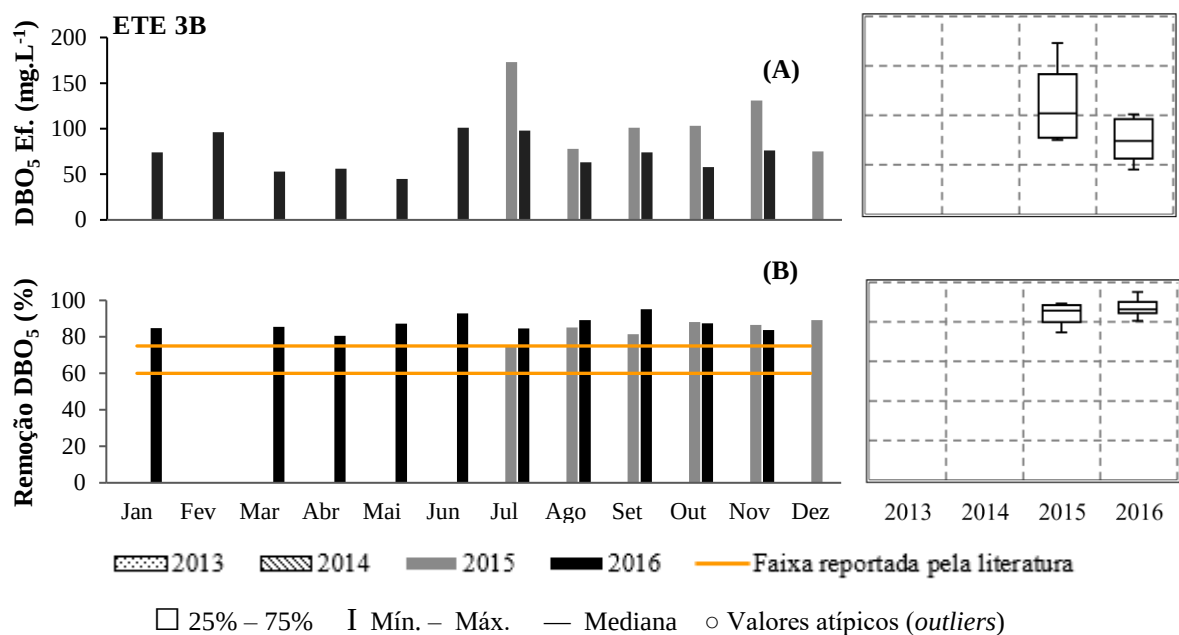


Figura 5.15. ETE 3B: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

Não foi observada tendência de aumento nas vazões da ETE 3C no período analisado (Figura 5.16b).

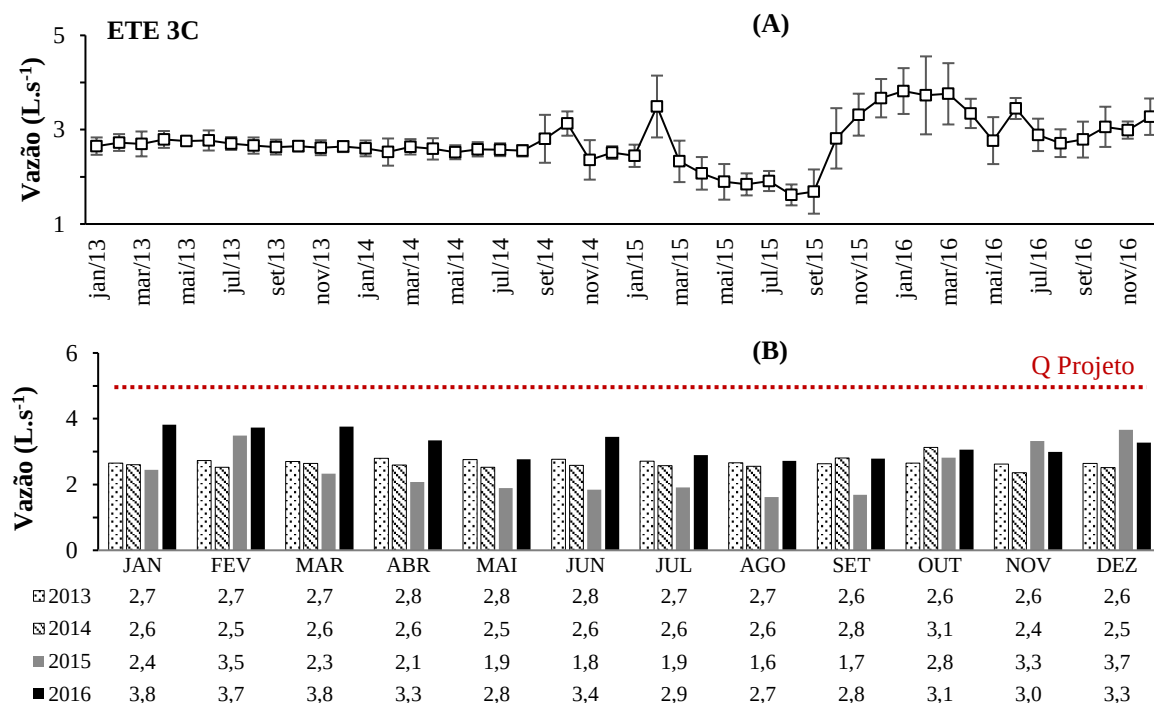


Figura 5.16. ETE 3C: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A DBO₅ efluente da ETE 3C foi de 208±59 mg O₂.L⁻¹ e remoção de 39±15%, o que já demonstra a má eficiência de tratamento da ETE 3C. A faixa de remoção para esse tipo de tecnologia é de 60% a 75%. Tanto o box plot de DBO₅, como o de remoção, mostram a alta variabilidade dos dados, indicando que a operação do reator se encontrava instável no período analisado (Figura 5.17).

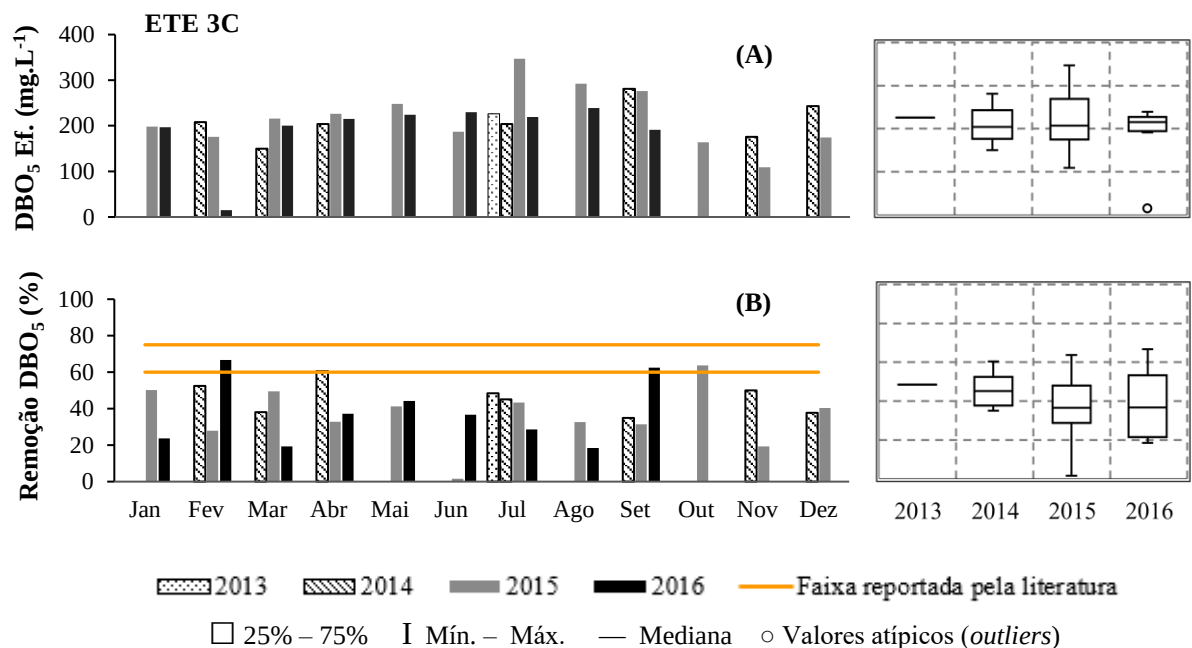


Figura 5.17. ETE 3C: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais

A ETE 3D, de vazão de projeto de 5 L.s⁻¹ e eficiência de projeto de 60%, foi implantada no ano de 2003. Com vazões de operação variando entre 4,8 L.s⁻¹ e 10,6 L.s⁻¹ nos anos de 2013 a 2016 (Figura 5.18), essa ETE se encontrava em situação de sobrecarga hidráulica.

A vazão média no ano de 2016 foi de 7,3±2,0 L.s⁻¹. Nos anos de 2013 a 2015 observou-se valores similares de vazão. Em 2016, ocorreu incremento nas vazões no período de janeiro a junho, e decrescendo aos valores observados anteriormente.

A média de DBO₅ efluente foi de 98±49 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de remoção de 68±18%. Os box plots mostram que os dados de DBO₅ efluente possuem alta variabilidade, demonstrando instabilidade no tratamento, quer seja devido à variabilidade da DBO₅ afluenta ou do próprio processo de tratamento (Figura 5.19).

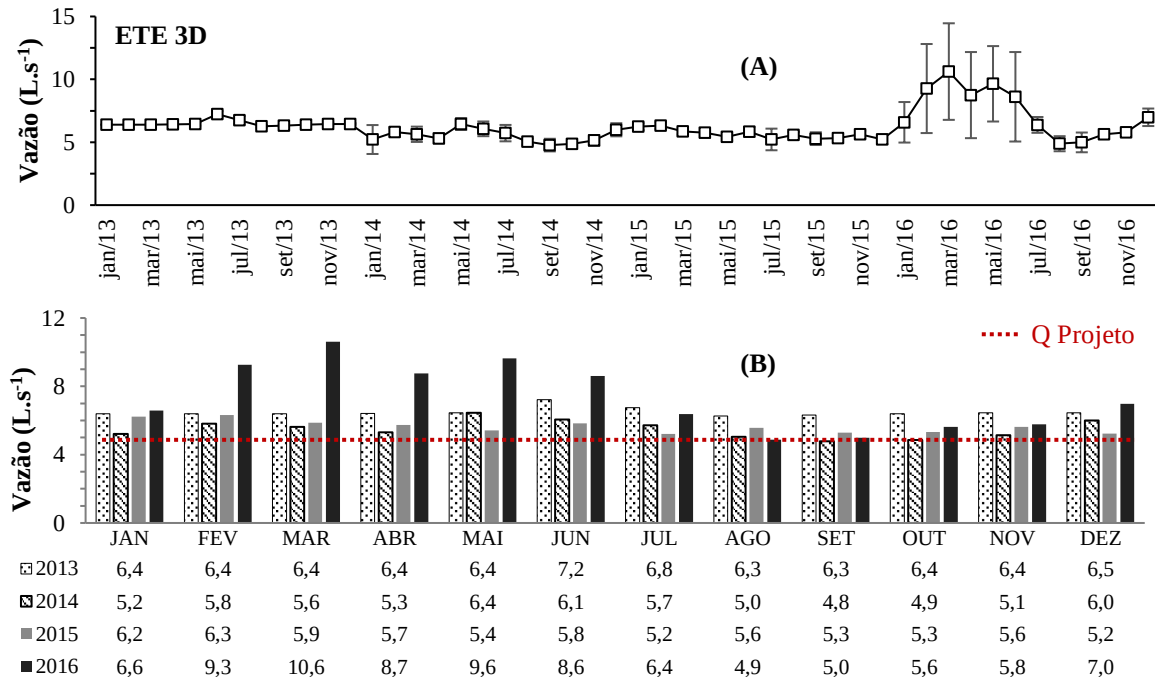


Figura 5.18. ETE 3D: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

O box plot de remoção de DBO_5 mostrou que a eficiência do tratamento foi mais estável no ano de 2015 e 2016, com a eficiência de operação superando a de projeto em boa parcela do período analisado.

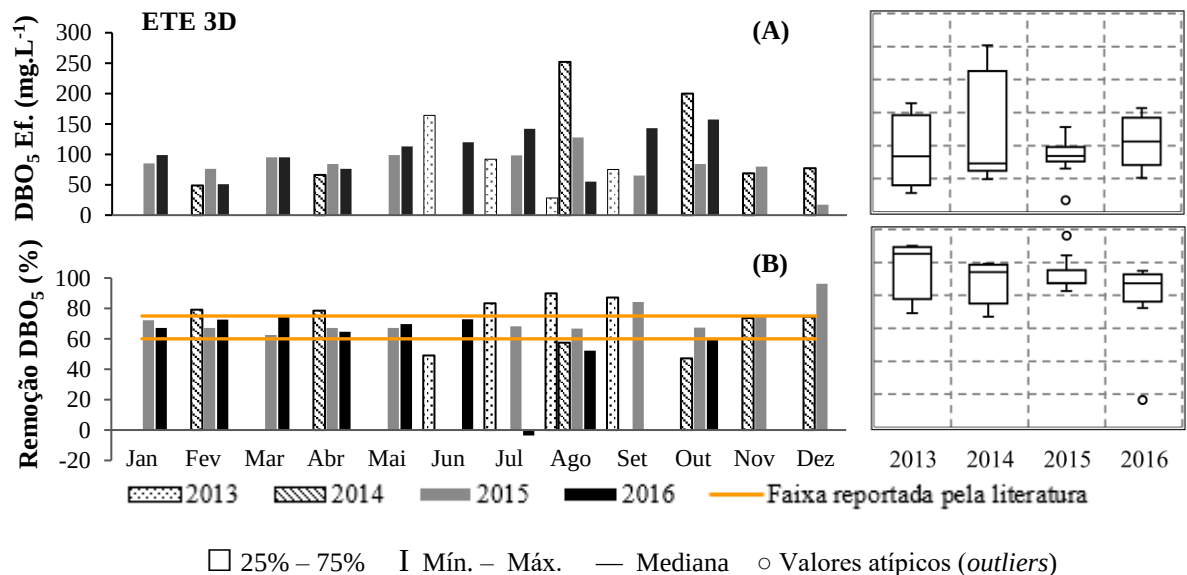


Figura 5.19. ETE 3D: A) valores de DBO_5 efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO_5 e box plot das médias anuais.

A ETE 3E, de vazão de projeto de 10 L.s⁻¹ e eficiência de projeto de 84%, foi implantada no ano de 2005. A vazão média nos 4 anos analisados foi de 8,1±2,4 L.s⁻¹ e em 2016 foi de 10,0±1,4 L.s⁻¹ (Figura 5.20).

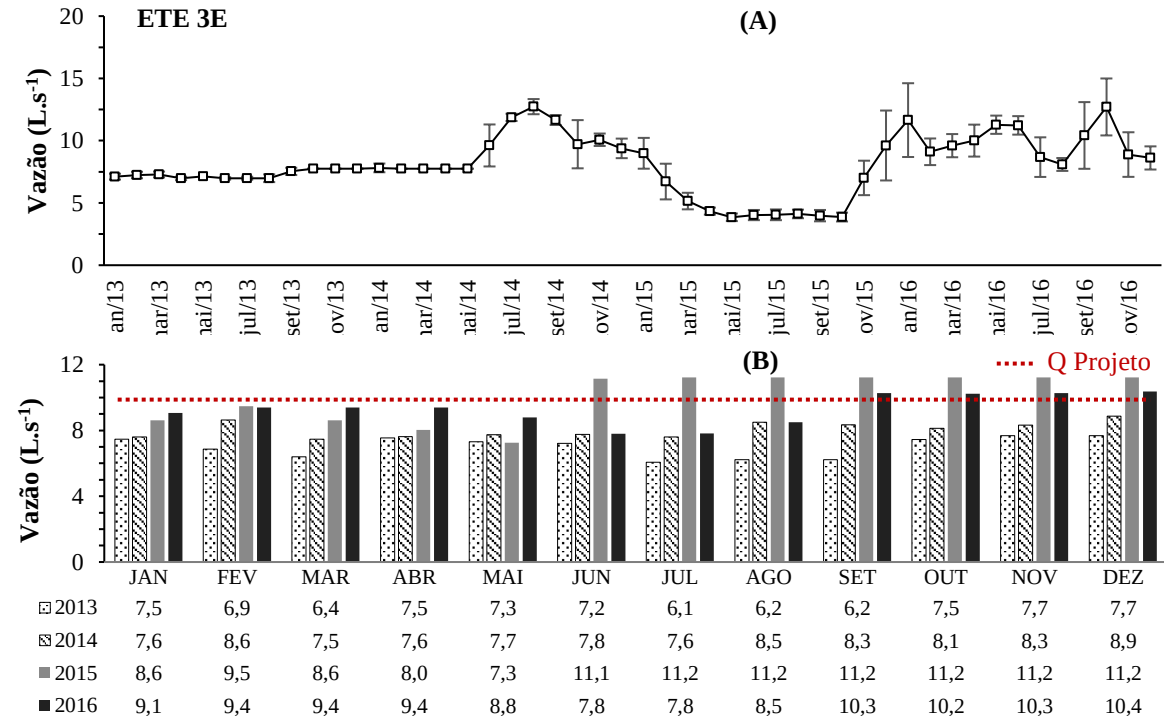


Figura 5.20. ETE 3E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A média de DBO₅ efluente da ETE 3E foi de 74±33 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de remoção de DBO₅ de 76±9% (Figura 5.21).

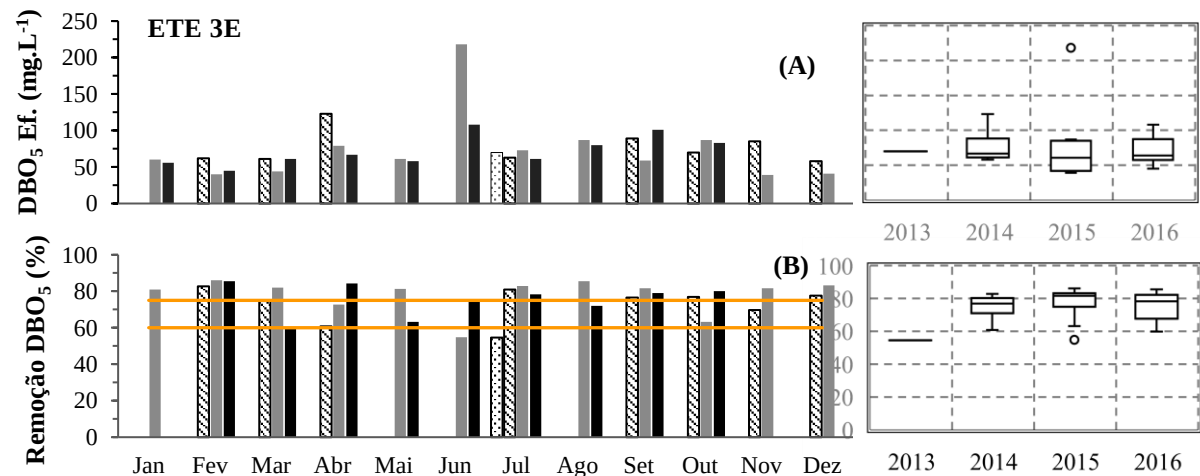


Figura 5.21. ETE 3E: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

O box plot de DBO5 efluente mostra pouca variabilidade nos dados de DBO5 e o de eficiência de remoção mostra que a variabilidade dos dados ficou acima de 60% de remoção, que é o referencial mínimo de remoção para reatores UASB, contudo inferior à eficiência de projeto de 84%.

5.3.4. Tecnologia 4: Reator UASB + Biolfiltro Aerado Submerso (UASB + BAS)

Para a tecnologia 4, foi estudado 1 sistema de tratamento, com vazão de 10 L.s⁻¹ e eficiência de remoção de DBO₅ de 65%. A ETE 4A foi implantada no ano de 2003.

A vazão média de operação nos 4 anos foi de 7,4±1,1 L.s⁻¹, apresentando vazões similares para um mesmo ano (Figura 5.22).

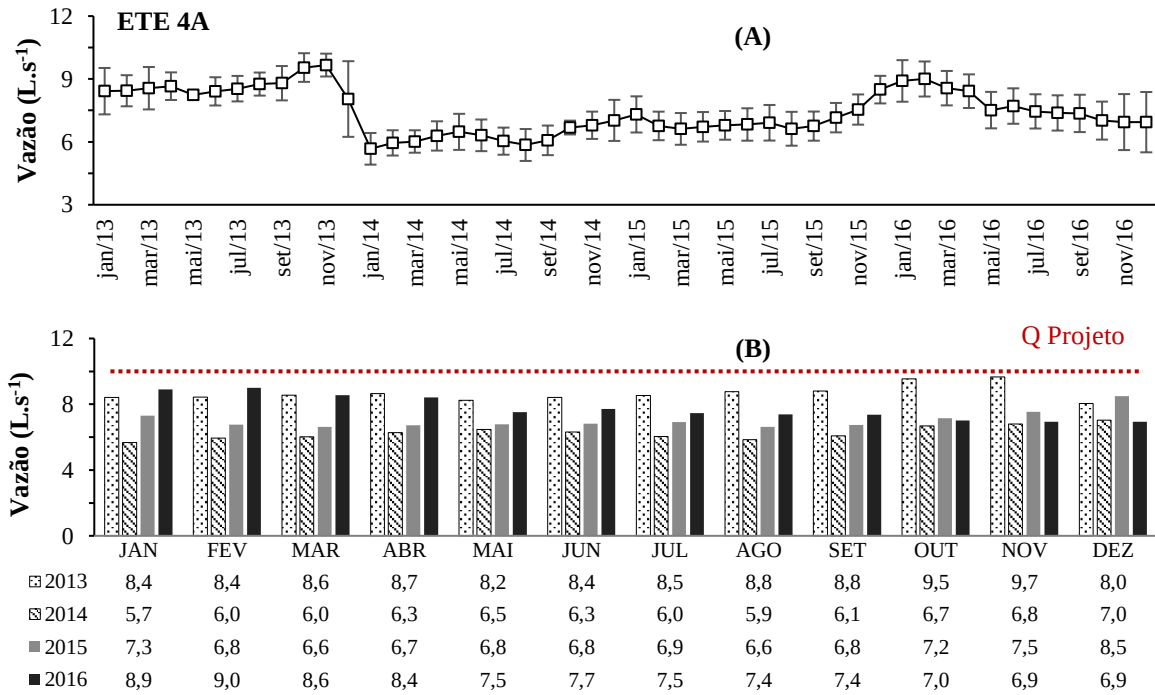


Figura 5.22. ETE 4A. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A média de DBO₅ efluente foi de 173±52 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de remoção de 58±15% (Figura 5.23). Dos dados observados, apenas 2 alcançaram a faixa de remoção da literatura, de 83 a 93%. Contudo o sistema da ETE 4A foi projetado para atingir eficiência de 65%.

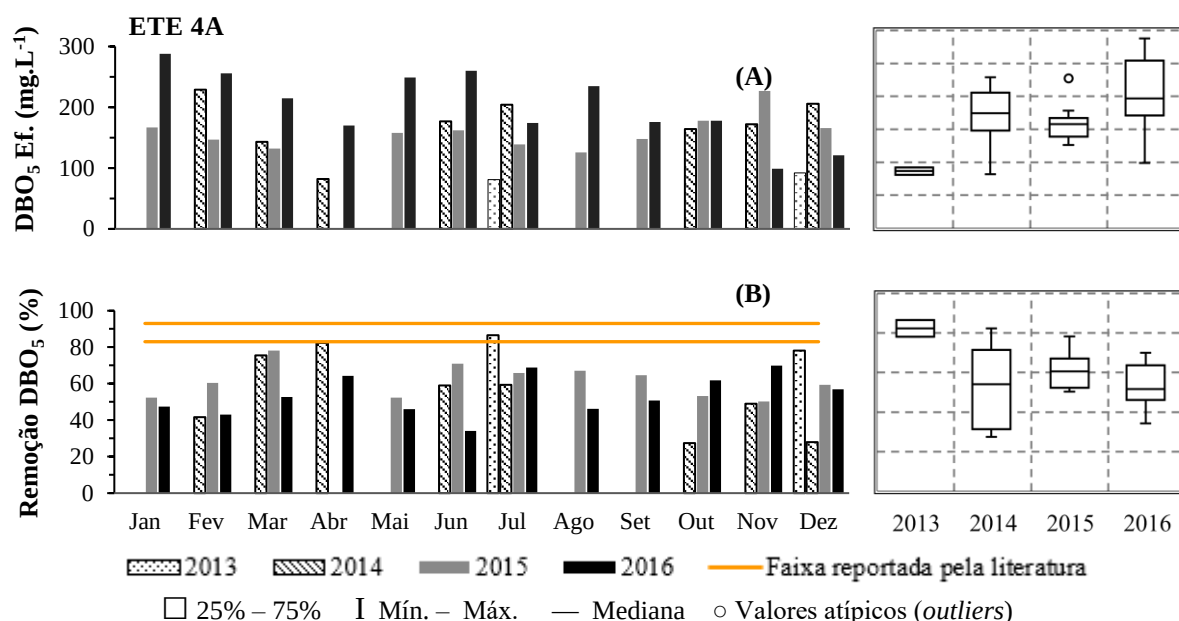


Figura 5.23. ETE 4A: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

Os box plots tanto de DBO₅ efluente quanto o de remoção de DBO₅, mostraram que o sistema se encontrava instável no período estudado.

5.3.5. Tecnologia 5: Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário (UASB + FBP + DS)

Para a tecnologia 5, foram estudados 5 sistemas de tratamento, com vazões de projeto variando entre 20 L.s⁻¹ e 120 L.s⁻¹.

A ETE 5A foi implantada no ano de 2012. Projetada para atender uma vazão de final de plano de 80 L.s⁻¹ e eficiência de remoção de DBO₅ de 91%. A vazão média de operação no ano de 2016 foi de 20,73 L.s⁻¹ (Figura 5.24).

Devido à característica do solo da região e a posição do lençol freático ser alto, chega até à ETE 5A uma quantidade de água de infiltração superior às outras cidades, o que resulta na diluição do esgoto e consequente redução nas concentrações dos poluentes.

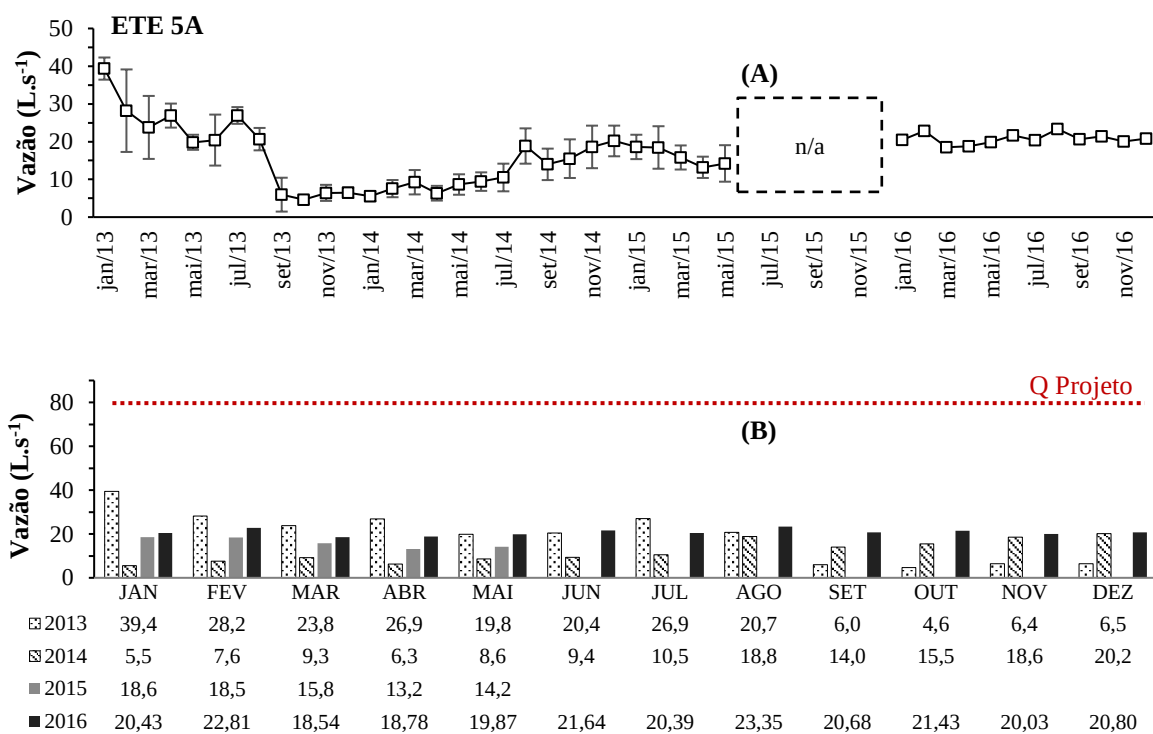


Figura 5.24. ETE 5A. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados

A Figura 5.25 apresenta os valores de DBO₅ eficiência de remoção de DBO₅.

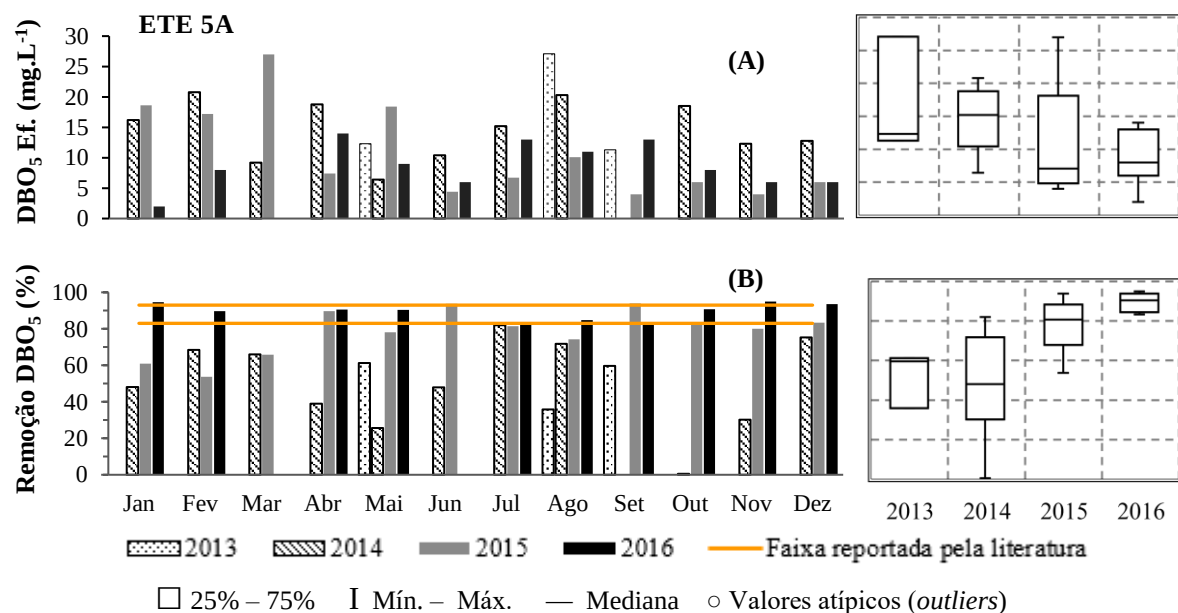


Figura 5.25. ETE 5A. A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A DBO₅ efluente da ETE 5A variou entre 2 mg O₂.L⁻¹ e 27 mg O₂.L⁻¹ e média de 12±6%. O valor de DBO₅ afluente à ETE é considerada atípica, com valores variando entre 9 mg O₂.L⁻¹ e 148 mg O₂.L⁻¹. A eficiência de remoção de DBO₅ foi de 71±23%. A literatura reporta eficiência de 83% a 93% para esse tipo de tecnologia.

O box plot mostrou a variabilidade dos dados, especialmente nos anos de 2013 a 2015, sendo que em 2016, o sistema aparentava estar mais estável.

A ETE 5B foi projetada para atender uma vazão de 120 L.s⁻¹ no final de plano, e eficiência de 96%. Foi implantada em 2003. A vazão média de operação nos 4 anos foi de 78,9± 5,9 L.s⁻¹ (Figura 5.26).

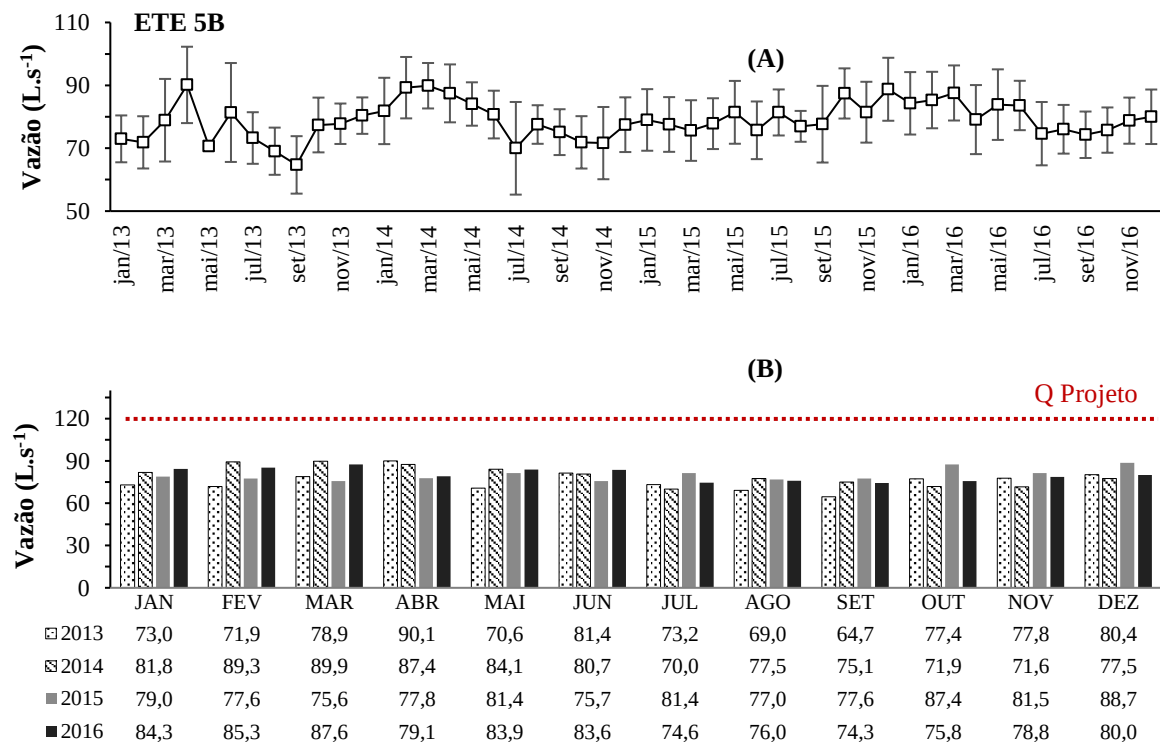


Figura 5.26. ETE 5B: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados

A média de DBO₅ efluente foi de 43±30 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de remoção de 88±9%. O box plot de DBO₅ efluente mostrou variabilidade, contudo, verificou-se estabilidade ao longo dos anos, sendo que em 2016, os valores de DBO₅ ficaram todos abaixo de 50 mg O₂.L⁻¹ (Figura 5.27a). No caso da remoção de DBO₅, observou-se aumento da eficiência. Em 2016 a eficiência da ETE ficou acima de 90% (Figura 5.27b).

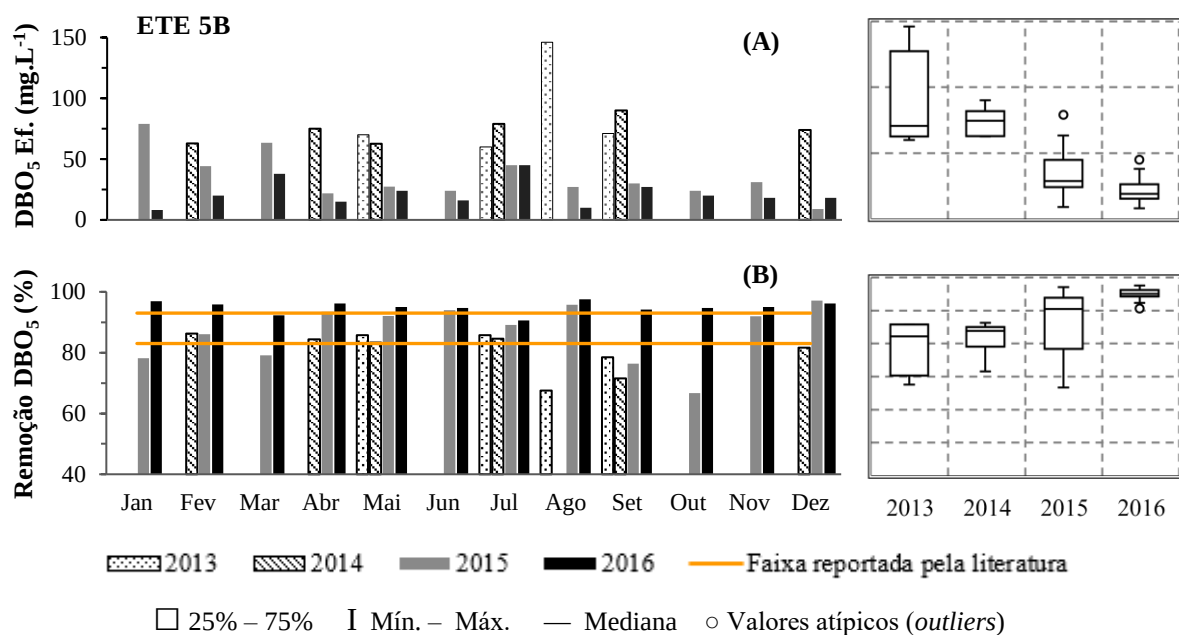


Figura 5.27. ETE 5B: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A ETE 5C, também implantada no ano de 2003, possui vazão de projeto de 100 L.s⁻¹ e eficiência de 80%. A Figura 5.28 apresenta a variação de vazões afluentes à ETE.

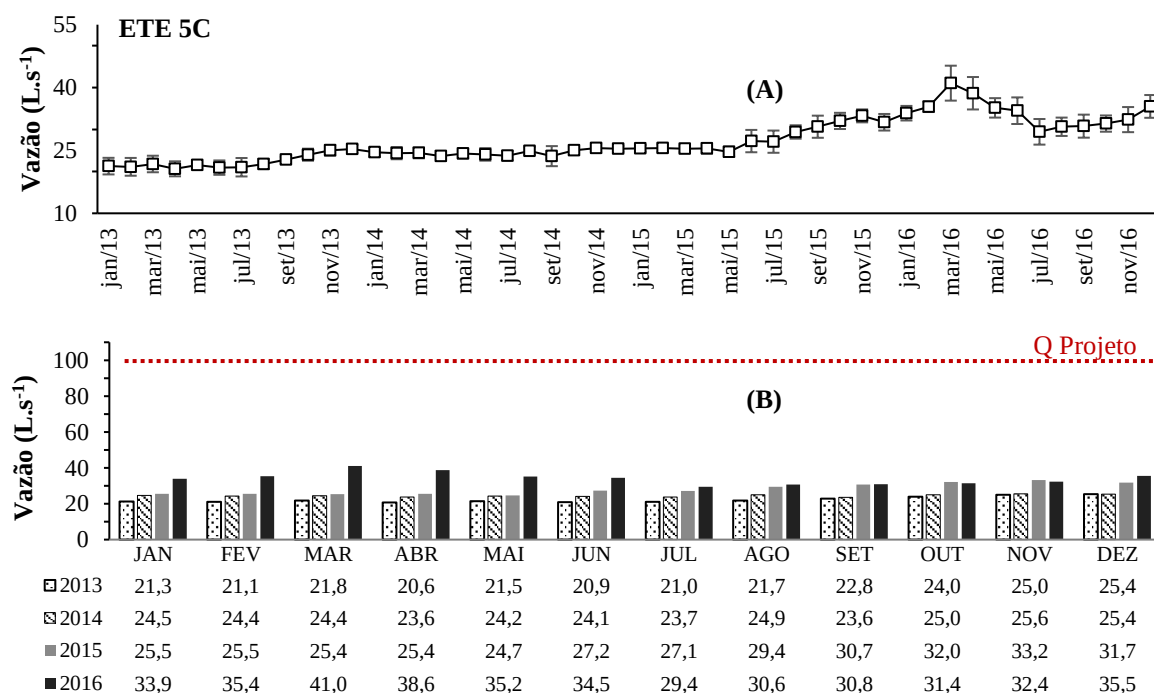


Figura 5.28. Vazões da ETE 5C: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A vazão média da ETE 5C no ano de 2016 foi de $34,1 \pm 3,4 \text{ L.s}^{-1}$ e vazão média nos quatro anos de $27,2 \pm 5,1 \text{ L.s}^{-1}$. Observou-se aumento gradual das vazões da ETE ao longo dos anos em função do aumento de ligações domiciliares.

A DBO₅ efluente nos 4 anos variou entre $1 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e $84 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e média de $40 \pm 23 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$. A eficiência média no período foi de $86 \pm 8\%$. Para o ano de 2016, a DBO₅ efluente obteve média de $28 \pm 24 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e eficiência média de $89 \pm 9\%$ (Figura 5.29).

Apesar da alta variabilidade dos dados, observou-se redução nos valores de DBO₅ ao longo dos 4 anos e aumento da eficiência de tratamento da ETE.

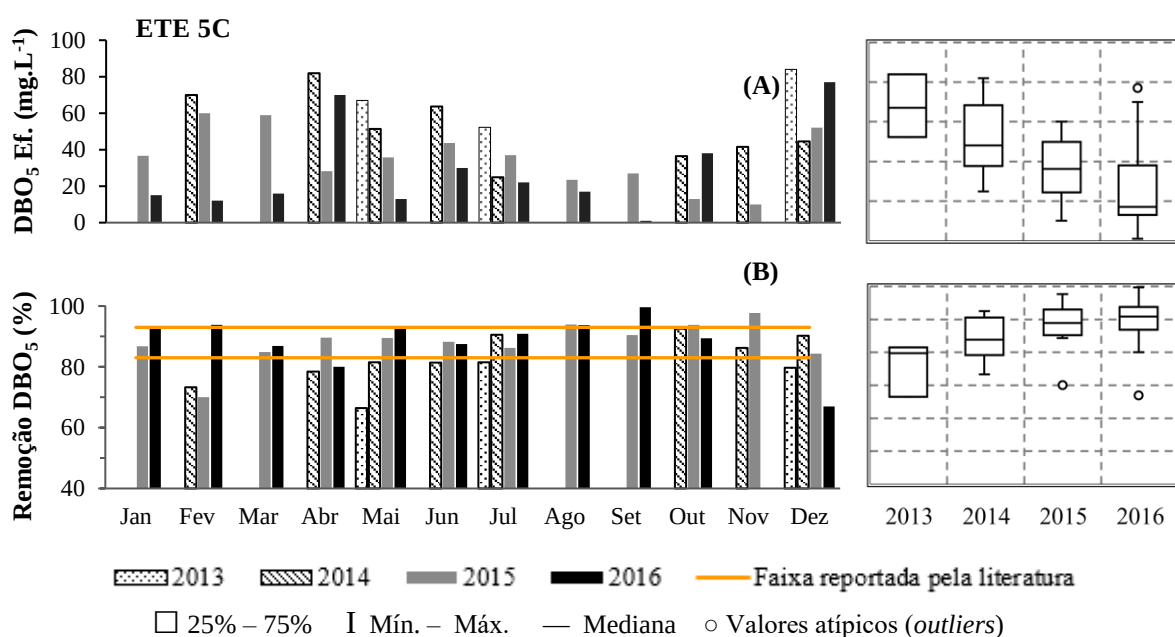


Figura 5.29. ETE 5C: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A ETE 5D, implantada em 2010, possui vazão de projeto de 80 L.s^{-1} e eficiência de projeto de 89% . A vazão média de operação no ano de 2016 foi de $19,5 \text{ L.s}^{-1}$ ⁵, e nos 4 anos monitorados foi de $18,4 \pm 2,8 \text{ L.s}^{-1}$. As vazões do período de junho a dezembro de 2015 não constavam relatórios da operação (Figura 5.30).

A média de DBO₅ efluente no ano de 2016 foi de $29 \pm 9 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$, e nos 4 anos foi de $32 \pm 23 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$.

⁵ Vazão média obtida da planilha de monitoramento, porém não constavam os valores que compõem a média para calcular o desvio padrão.

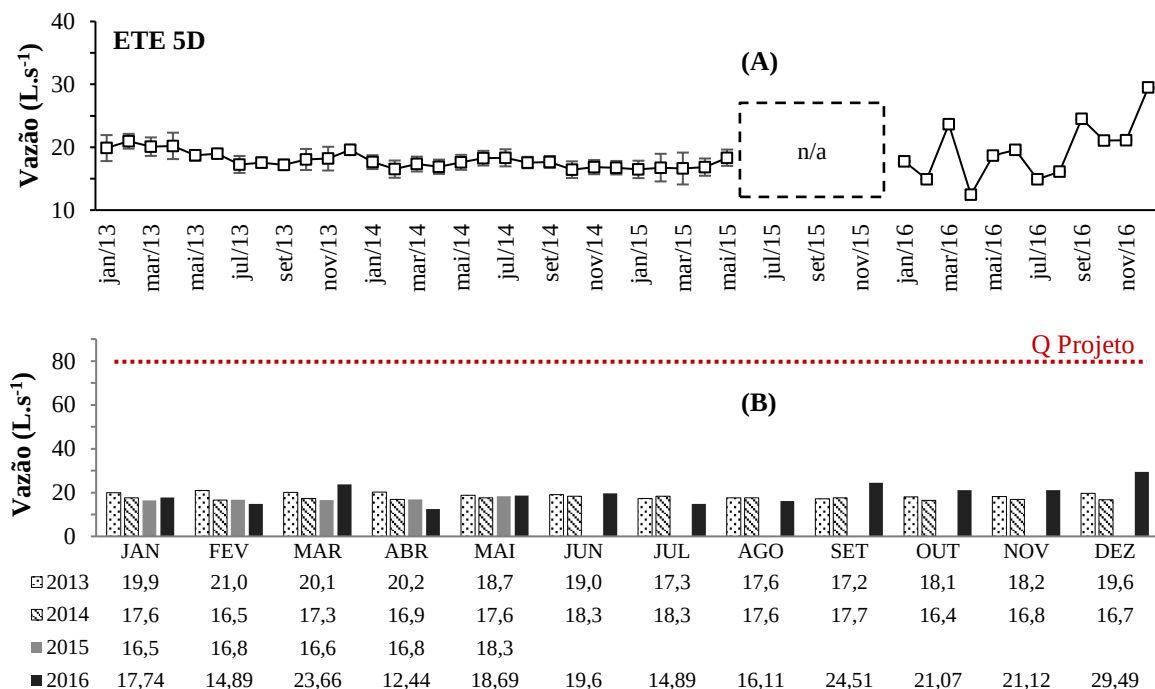


Figura 5.30. ETE 5D: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

Analisando o box plot de DBO_5 efluente, verificou-se baixa variabilidade nos dados, mostrando que o sistema se encontrava estável. (Figura 5.31a).

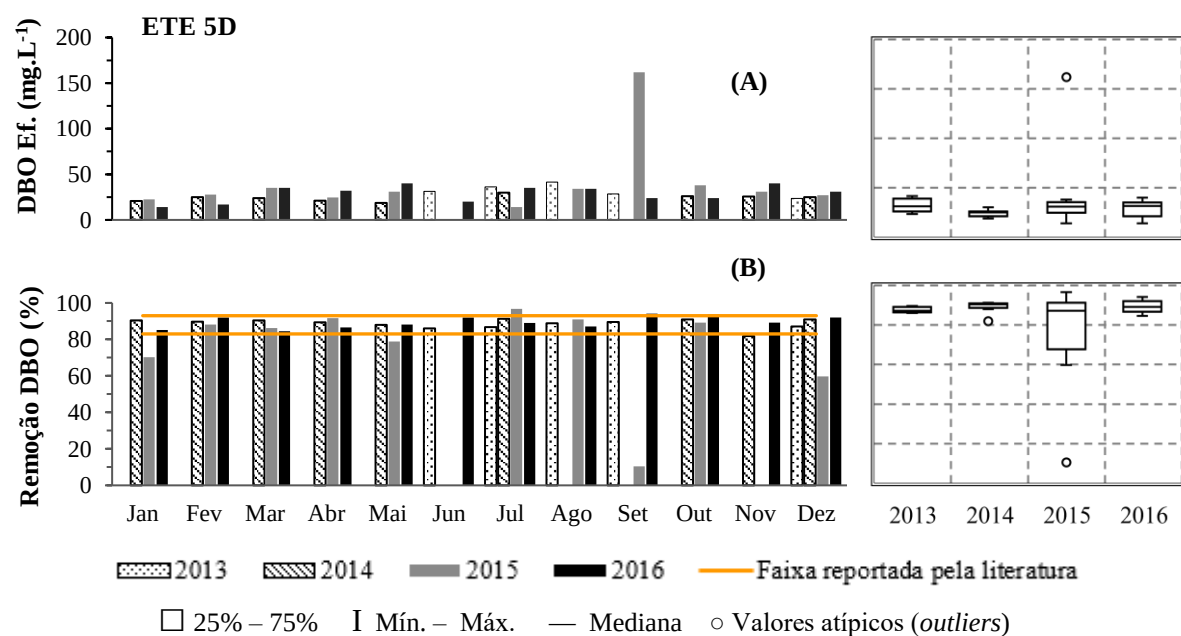


Figura 5.31. ETE 5D: A) valores de DBO_5 efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO_5 e box plot das médias anuais.

De maneira geral, a eficiência de tratamento também se mostrou estável no período estudado, ficando acima dos 83%, referencial mínimo relatado na literatura para essa tecnologia (Figura 5.31b).

A ETE 5E de vazão de projeto de 20 L.s⁻¹ e eficiência de 89%, apresentou vazão média de operação nos 4 anos de 8,6±1,5 L.s⁻¹ e de 9,3±0,9 L.s⁻¹ em 2016 (Figura 5.32).

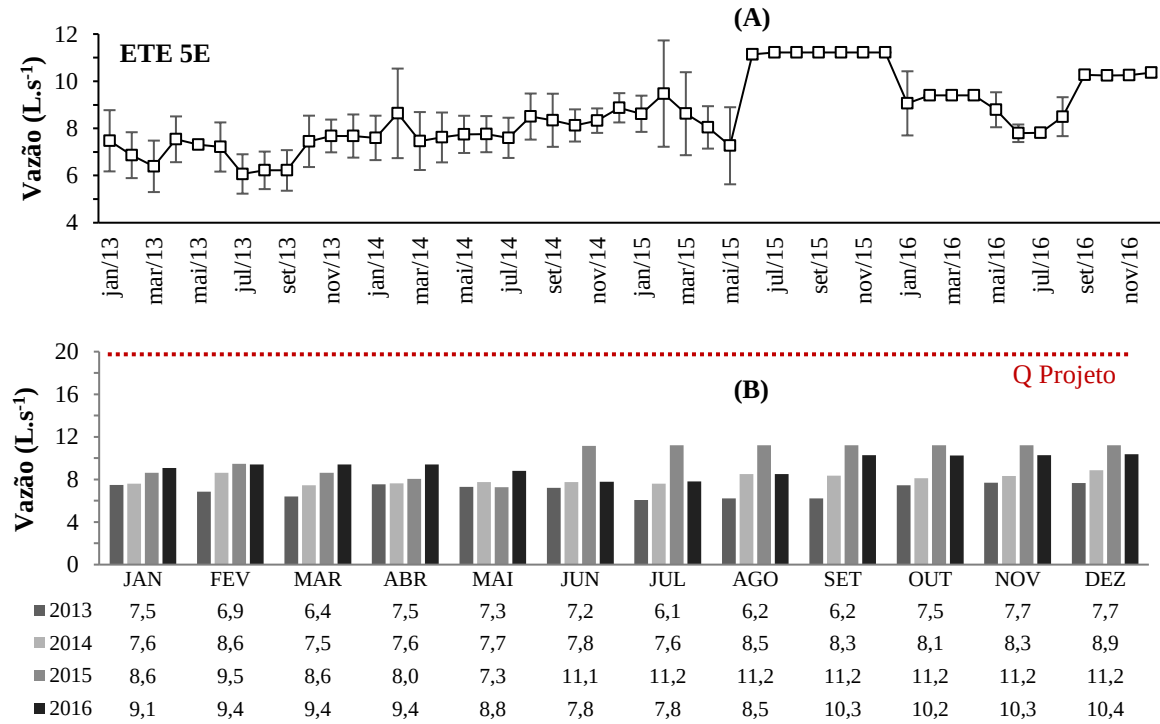


Figura 5.32. ETE 5E: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A média de DBO₅ efluente foi de 173±140 mg O₂.L⁻¹ e eficiência média de remoção de 63±30%. Em 2016, a média de DBO₅ efluente foi de 34±29 mg O₂.L⁻¹ e eficiência de 93±6%.

De 2013 até março de 2014, com exceção de setembro de 2013, as análises de DBO₅ não foram realizadas. E após esse período, especificamente nos anos de 2014 e 2015, o sistema apresentava-se instável, com DBO₅ efluente chegando a 374 mg O₂.L⁻¹ em julho de 2014. (Figura 5.33a).

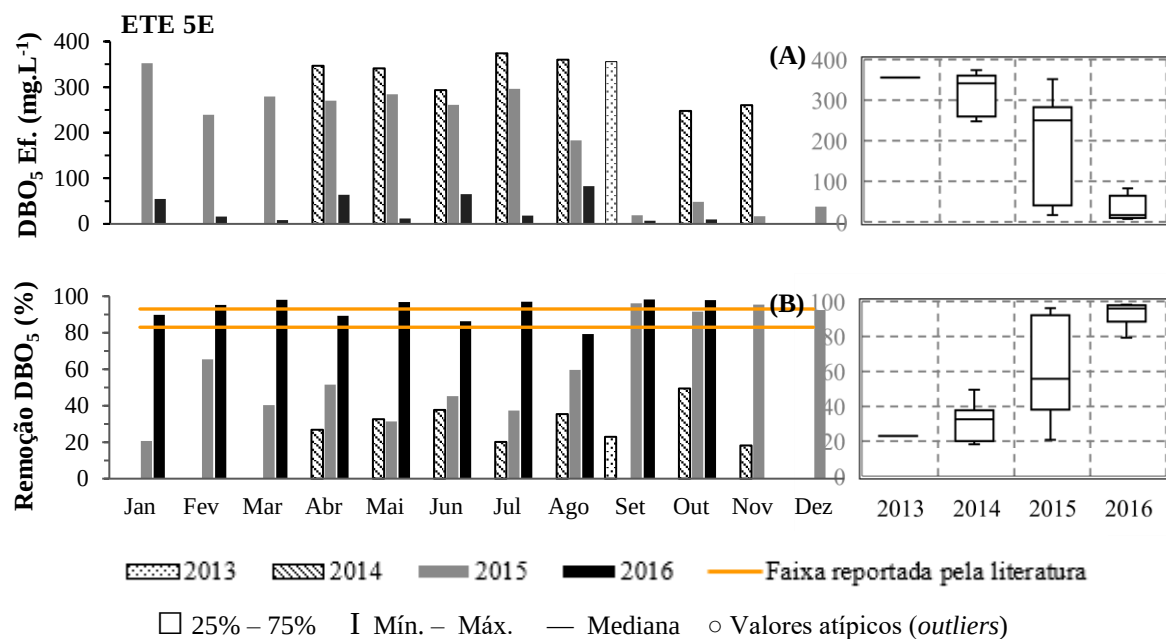


Figura 5.33. ETE 5E: A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

A instabilidade do sistema também pode ser visualizada nos box plots de DBO₅ e de eficiência de remoção, onde verificamos que o sistema começa a se estabilizar no ano de 2016, apresentando eficiências na faixa reportada pela literatura (Figura 5.33b)

5.3.6. Tecnologia 6: Reator UASB + Físico-Químico + Decantador Secundário (UASB + FQ + DS)

Para a tecnologia 6, foi estudado 1 sistema de tratamento, ETE 6A, com vazão de projeto de 100 L.s⁻¹ e eficiência de 89%, implantada no ano de 2003.

A vazão média de operação da ETE 6A em 2016 foi de 76,7±4,2 L.s⁻¹ e a média nos 4 anos analisados foi de 72,0±6,5 L.s⁻¹ (Figura 5.34).

A média de DBO₅ efluente foi de 79±30 mg O₂.L⁻¹ e eficiência média de 71±12%. Nas planilhas de monitoramento não constavam as análises de 2013 (exceto a de julho e dezembro de 2013) e parte das análises de 2014. Contudo, analisando os dados de 2014 e 2015, verificou-se grande variabilidade nos dados, indicando instabilidade no sistema (Figura 5.35).

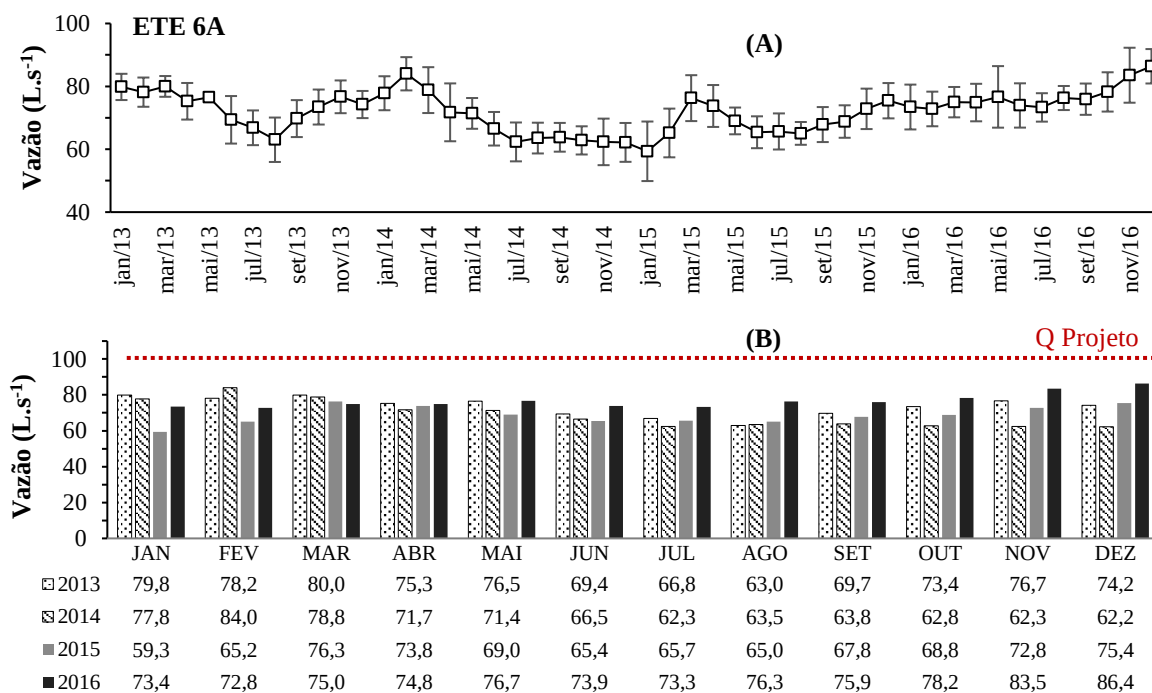


Figura 5.34. ETE 6A: A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

No período monitorado, as eficiências analisadas não alcançaram o valor de projeto de 89%. O máximo de eficiência, 86,81%, ocorreu em setembro de 2015.

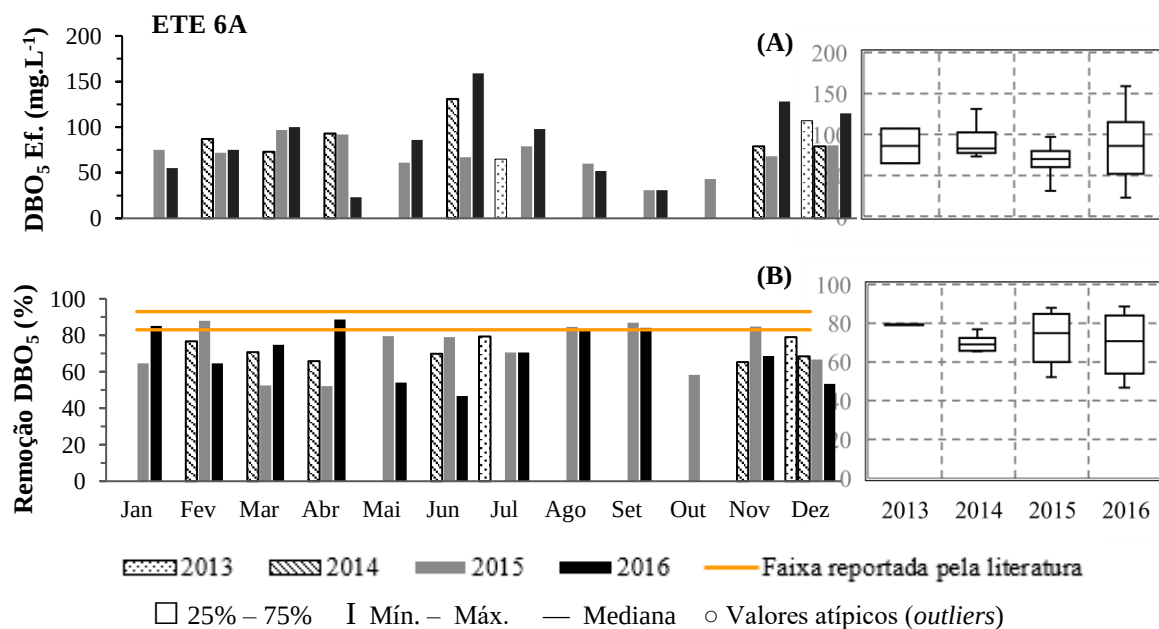


Figura 5.35. ETE 6A: A) valores de DBO_5 efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO_5 e box plot das médias anuais.

5.3.7. Tecnologia 7: Reator UASB + Físico-Químico + Desinfecção (UASB + FQ + DES)

Para a tecnologia 7, também foi estudado 1 sistema de tratamento, com vazão de projeto de 80 L.s^{-1} e eficiência de 99%, implantado no ano de 2007. A ETE 7A apresentou vazão média de operação nos 4 anos de $28,6 \pm 4,1 \text{ L.s}^{-1}$ e de $30,7 \pm 5,2 \text{ L.s}^{-1}$ em 2016 (Figura 5.36).

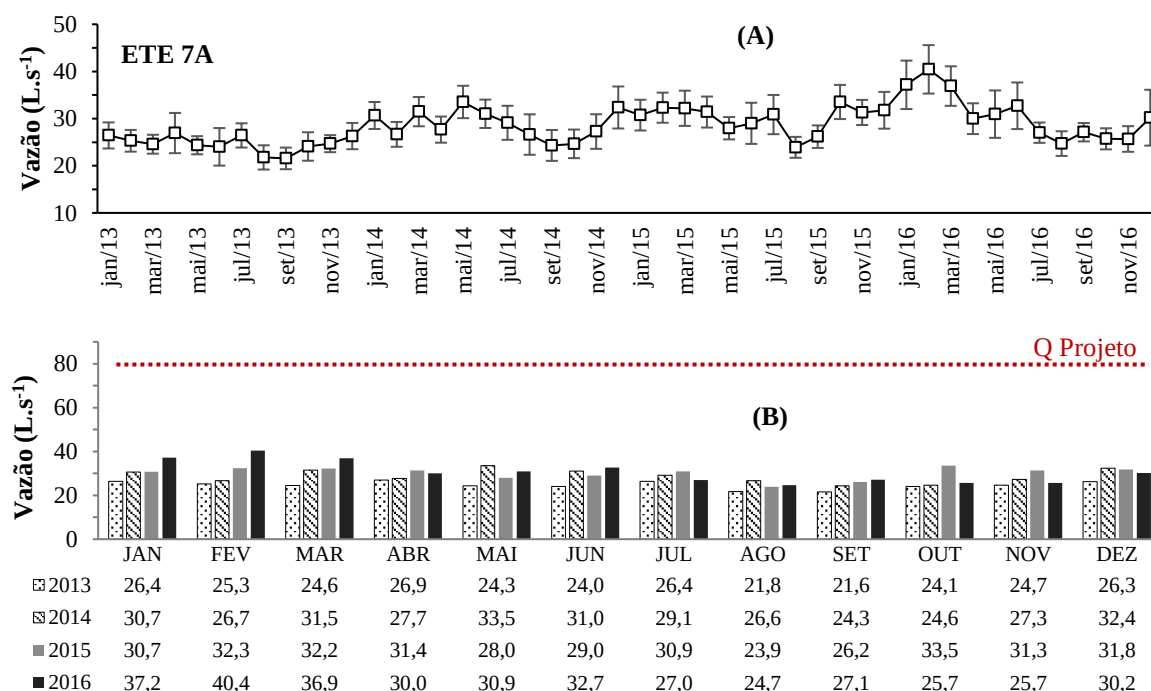


Figura 5.36. ETE 7A. A) hidrograma das vazões médias mensais; B) comportamento das vazões entre os anos monitorados.

A DBO_5 efluente da ETE 7A variou entre $2 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e $37 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ e média de $8 \pm 7 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$. A eficiência de remoção variou entre 92% e 100% e média de $98 \pm 2\%$ (Figura 5.37a). Sem dúvida, essa ETE possui a melhor eficiência de tratamento entre as ETEs estudadas, conforme podemos observar no box plot de remoção, o qual mostra a baixa variabilidade dos dados e a estabilidade do processo de tratamento (Figura 5.37b).

Dentre os sistemas estudados verificou-se que boa parte está operando dentro da faixa de eficiência esperada para a tecnologia. Muitas vezes, a falta de dados, ora de DBO_5 afluente, ora de DBO_5 efluente, ora de ambas, inviabilizou o cálculo de eficiência do sistema, porém, mesmo assim, obteve-se um número adequado de amostras para apontar a eficiência de tratamento.

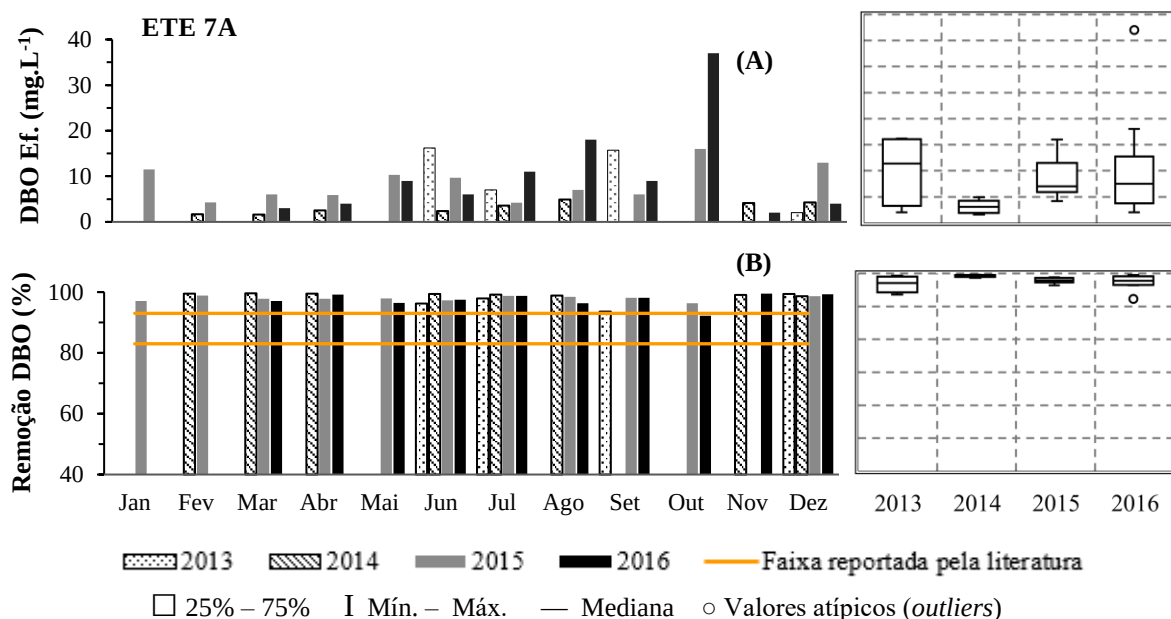


Figura 5.37. ETE 7A. A) valores de DBO₅ efluente e box plot das médias anuais; B) eficiência de remoção de DBO₅ e box plot das médias anuais.

5.4. Avaliação da Taxa de Aplicação Superficial (L_s) em lagoas facultativas seguidas por lagoas de maturação – estudo de caso da ETE 2A

A ETE 2A entrou em operação em março de 2003 e possui monitoramento da qualidade de seu afluente e efluente, além do monitoramento da qualidade da água do corpo receptor.

5.4.1. Memorial descritivo e dimensionamento

A ETE possui tratamento preliminar, composto por gradeamento, desarenador, calha *Parshall* e caixa divisora de fluxo (CDFL) seguida por 2 lagoas facultativas (em paralelo) e 2 lagoas de maturação (em paralelo).

O canal de tratamento preliminar é equipado inicialmente com grades de barras retas, grossa e média, com abertura de 5cm e de 2 cm, respectivamente. A limpeza do canal é manual, realizada com a utilização de rastelo. Os sólidos grosseiros retidos na grade serão manualmente transportados à caçamba de detritos. Na saída da grade, o canal se divide em dois, podendo cada canal ser isolado através de comportas de acionamento manual. Cada canal representa uma célula da caixa de areia (desarenador).

A areia depositada é encaminhada por gravidade para a caixa de areia. Os canais funcionam de forma alternada. Após a desarenação, os esgotos passam por um medidor de vazão que também controla o nível à montante. O medidor *Parshall* possui garganta de 3” em fibra de vidro.

A ETE foi implantada em etapa única para atender uma vazão nominal de 20 L/s. A definição do processo de tratamento baseou-se na necessidade de atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental como também na preferência por sistemas de tratamento de baixo custo de implantação e operacional, assim como elevada eficiência. A Tabela 5.12 apresenta os dados de dimensionamento do sistema.

Tabela 5.12. Dimensionamento das lagoas facultativas e de maturação, dados de projeto.

Parâmetro	Unidade	Facultativa	Maturação
Proporção taludes internos	-	2,00	2,00
Profundidade útil	m	2,20	1,50
Profundidade média útil	m	1,10	0,75
Borda livre	m	0,50	0,50
Largura na base	m	23,12	49,00
Comprimento na base	m	86,12	106,00
Largura na profundidade útil ¹	m	32,00	55,00
Comprimento na profundidade útil ¹	m	95,00	112,00
Largura na profundidade média útil ²	m	27,52	52,00
Comprimento na profundidade média útil ²	m	90,52	109,00
Largura na crista ³	m	34,00	57,00
Comprimento na crista ³	m	97,00	114,00
Número de chicanas	un	-	8
Comprimento percorrido pelo esgoto	m	-	1.008,00
Relação L/B com chicanas	-	-	165
Relação L/B (na base)	-	3,72	2,16
Relação L/B (profundidade média)	-	3,29	2,10
Relação L/B (no N.A.)	-	2,97	2,04
Área Superficial	m ²	0,61	1,23
Volume útil de cada lagoa	m ³	5493,67	5.666,71
Volume útil total	m ³	10987,34	11.333,42

¹ com os taludes (ao N.A.); ² com os taludes; ³ ao nível do coroamento do talude.

A Tabela 5.13 apresenta os dados de eficiência de tratamento das lagoas facultativa e de maturação previstas no projeto da ETE. A concepção proposta previu o tratamento para uma população equivalente a 13.038 habitantes, vazão afluente de 1.956 m³.d⁻¹ ($\approx$ 22,64 L/s) e taxa de aplicação superficial de 250 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹.

Como o memorial descritivo do projeto não apresentava o tempo de detenção e memorial de cálculo da eficiência de tratamento, calculou-se com os dados fornecidos, os parâmetros descritos na Tabela 5.14.

546

Tabela 5.13. Eficiência de tratamento prevista no projeto.

Parâmetro	Unidade	Facultativa	Maturação	Sistema
DBO solúvel efluente	mg/L	111,90	43,58	43,58
Eficiência de remoção DBO solúvel	%	69,0	61,0	88
<i>E. coli</i>	CF/100 mL	9,48E+06	6,7E+03	6,7E+03
Eficiência de remoção de <i>E. coli</i>	%	64,46	99,97	99,97

547

Tabela 5.14. Parâmetros de projeto verificados.

Parâmetros	Unidade	Facultativa	Maturação
Carga Orgânica afluente	kg DBO.d ⁻¹	704	230
DBO afluente	mg.L ⁻¹	360,00	117,75
Coliformes, <i>E. coli</i>	CF/100 mL	4,9E+07	1,0E+07
Tempo de detenção, TDH	d	5,62	5,79
Taxa de aplicação Superficial	kgDBO/ha ⁻¹ .d ⁻¹	1.158,16	186,94
Coeficiente de remoção da DBO ₅ , K, Arceivala	d ⁻¹	0,258	0,154
Coeficiente de remoção da DBO ₅ , K, Vidal	d ⁻¹	0,328	0,129
Média Coeficiente de remoção da DBO ₅ , K	d ⁻¹	0,293	0,142
Correção para a temperatura, KT	d ⁻¹	0,348	0,168
a	-	1,84	1,048
Número de dispersão, d	-	0,30	0,006 ¹
DBO solúvel efluente	mg.L ⁻¹	82,75	2,28
Eficiência de remoção de DBO solúvel	%	77,0	97,6
Acúmulo de lodo ¹	m ³ .ano ⁻¹	0,04	-
Concentração de algas (SS)	kg.m ⁻³	0,10	0,10
Relação DBO/SSV	kgDBO.KgSSV ⁻¹	0,35	0,35
DBO correspondente as algas	kg/m ⁻³	0,035	0,035
DBO correspondente as algas, particulada	mg.L ⁻¹	35,0	35,0
DBO total	mg.L ⁻¹	117,75	37,28
Eficiência de remoção total	%	67,3	68,34
Coeficiente de decaimento bacteriano, Kb	d ⁻¹	0,270	0,370
Correção KbT	d ⁻²	0,38	0,52
a	-	1,90	1,04
Número de dispersão, d	-	0,30	0,006 ¹
<i>E. coli</i> efluente	CF/100ml	1,0E+07	5,3E+05
Eficiência de remoção	%	79,29	94,82
Unidades Log Removidas	unidades	0,7	1,3

548

Para a estimativa da eficiência de remoção DBO e de *E. coli* admitiu-se fluxo disperso;

549

¹ Considerando L = comprimento das chicanas; ² Adotado 0,08 m³.hab⁻¹.ano⁻¹.

550

A eficiência total do sistema projetado (verificação dos cálculos) foi de 97,6% de DBO

551

e 94,82% ou 1,3 unidades log removidas de *E. coli*,

552

5.4.2. Análise de correlações entre parâmetros de dimensionamento em lagoas facultativas

553

554

No caso dos parâmetros TDH e vazão, se obteve uma correlação positiva forte, com R²

555

de 0,7176. Enquanto para a taxa de aplicação superficial, a correlação foi positiva fraca, com

556

R² igual a 0,1623 (Figura 5.38).

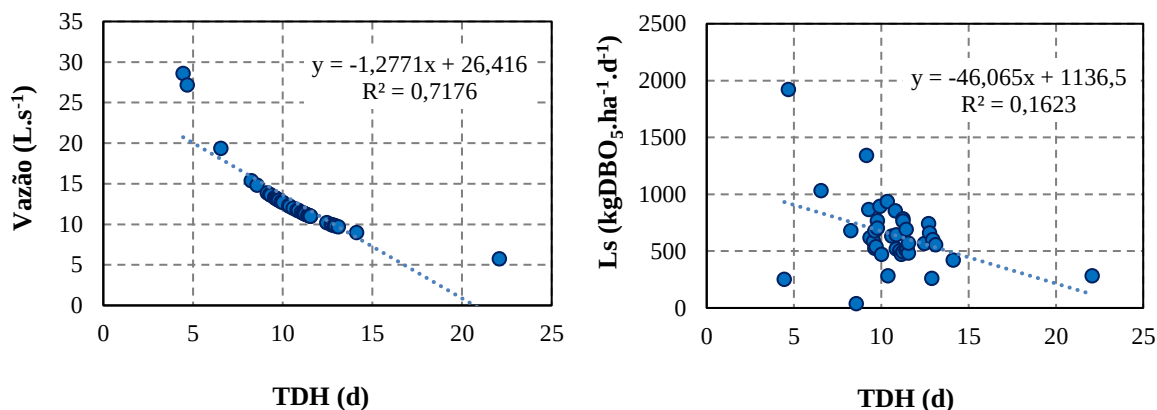


Figura 5.38. Correlação entre TDH e vazão e entre TDH e taxa de aplicação superficial (L_s).

A Figura 5.39 apresenta as correlações entre os parâmetros vazão, TDH, L_s , $DBO_{5\text{ efl}}$, eficiência de remoção de $DBO_{5\text{ afl}}$ e eficiência de remoção de *E. coli*. A vazão afluenta à ETE aparenta não ter relação com o parâmetro $DBO_{5\text{ efl}}$, com positiva fraca, R^2 de 0,1568. Também se relaciona fracamente com a eficiência de remoção de $DBO_{5\text{ afl}}$, R^2 de 0,4392. Já para a remoção de *E. coli* e vazão, a correlação foi positiva forte, com coeficiente de R^2 de 0,8388.

O TDH influenciou eficiência de remoção de *E. coli*, com correlação positiva forte e R^2 de 0,9603. Em média, TDHs entre 10 e 15 dias removem entre 0,8 e 1,2 unidades log de *E. coli*.

No caso da remoção de matéria orgânica, $DBO_{5\text{ afl}}$, o TDH não apresentou grande influência. A eficiência de 80% de remoção de $DBO_{5\text{ afl}}$ pode ser observada tanto para tempos de 5 dias, quanto para 13 dias. O mesmo pode se aplicar a $DBO_{5\text{ efl}}$. Portanto, pode-se dizer que houve uma correlação positiva fraca entre o TDH e a $DBO_{5\text{ efl}}$ e a remoção de $DBO_{5\text{ afl}}$.

Com relação à taxa de aplicação superficial (L_s), esta se correlacionou positivamente fortemente com a $DBO_{5\text{ efl}}$, com R^2 de 0,884. Enquanto a correlação foi positiva fraca para a eficiência de remoção de $DBO_{5\text{ afl}}$, R^2 de 0,1041 e para unidades log removidas de *E. coli*, R^2 de 0,3644.

Verificou-se que a eficiência de remoção de *E. coli* foi fortemente influenciada pelos parâmetros vazão e TDH. A eficiência de remoção de *E. coli* é diretamente proporcional ao TDH, e inversamente proporcional à vazão. Se o TDH aumenta, a eficiência de remoção de *E. coli* também aumenta e se a vazão aumenta, a eficiência de remoção de *E. coli* diminui.

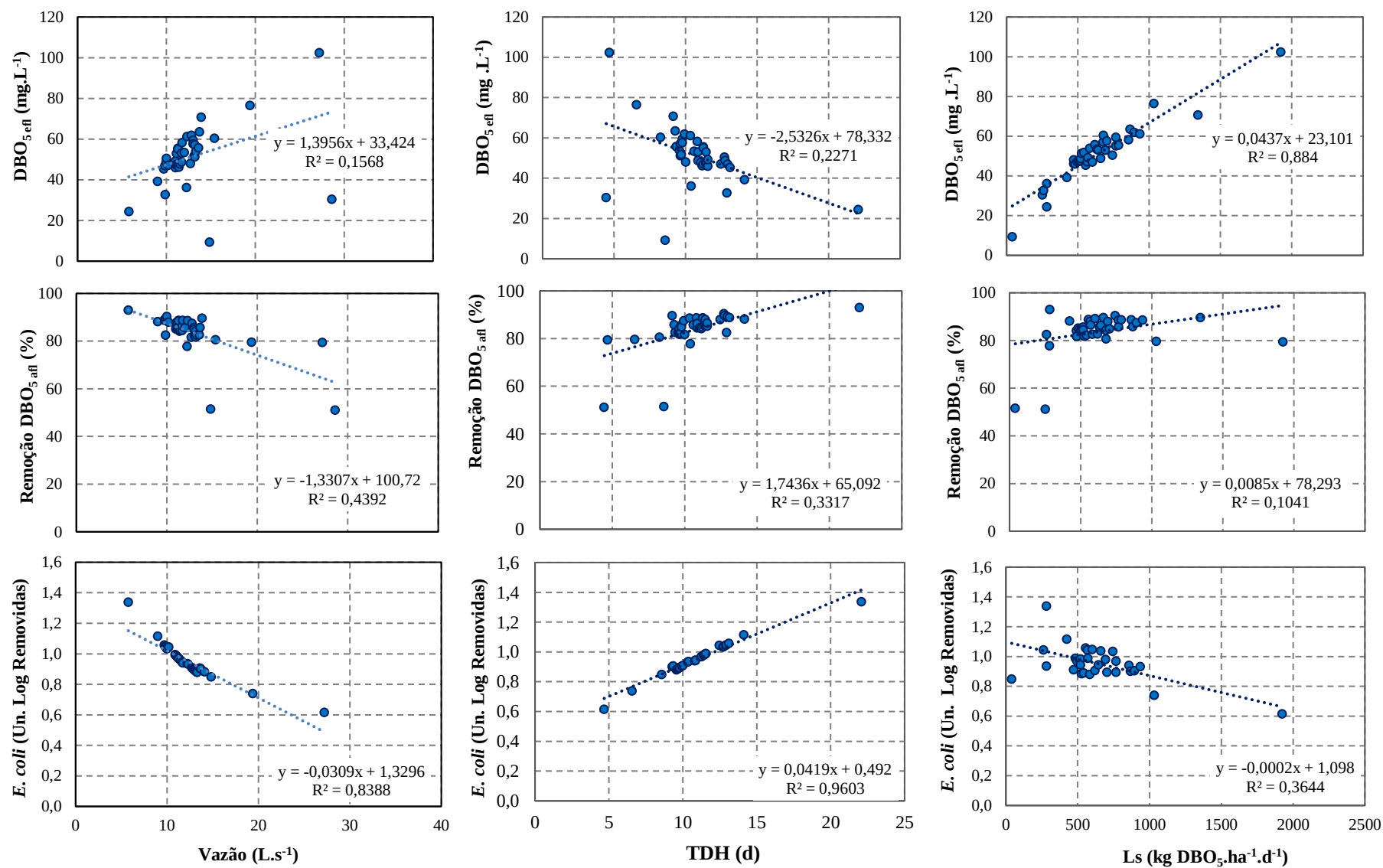
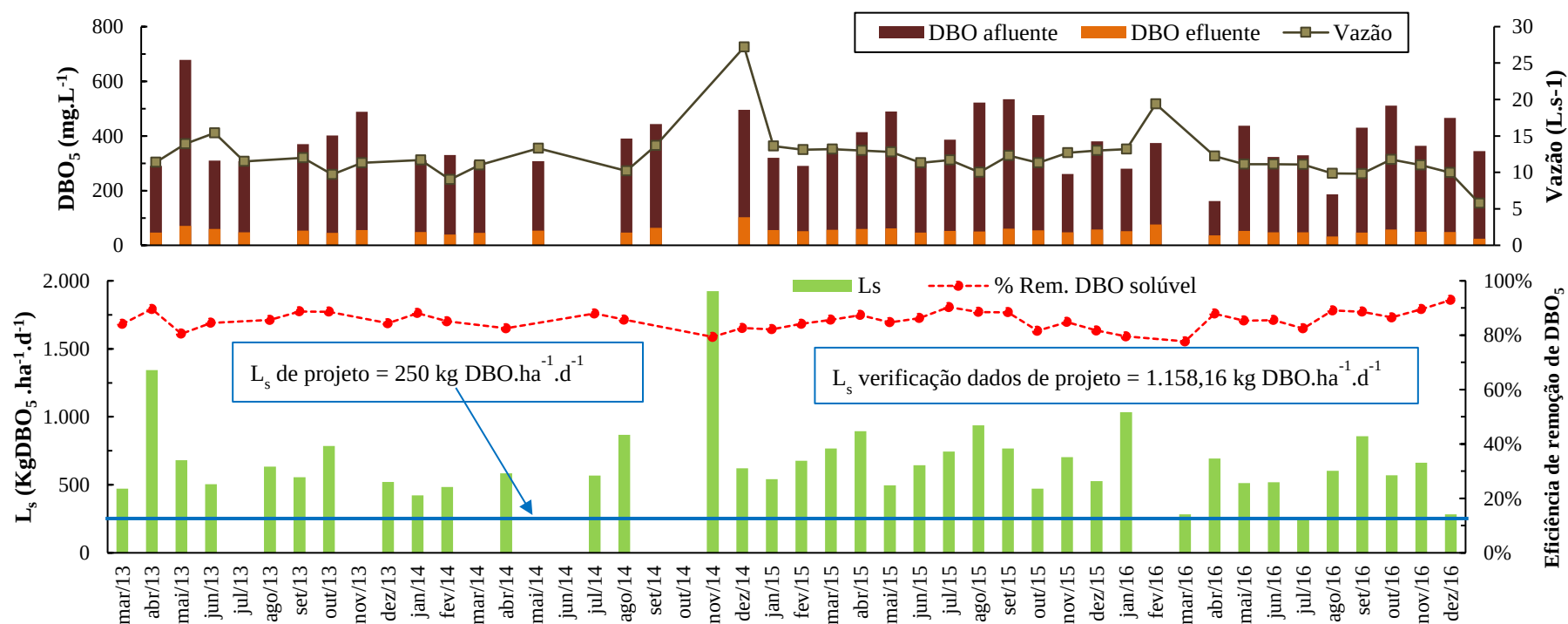


Figura 5.39. Correlações entre Vazão, TDH, Ls e DBO₅ efl, eficiência de remoção de DBO₅ afl e Unidades log removidas de *E. coli*.

579

A Figura 5.40 apresenta o comportamento dos parâmetros DBO₅ afluente e efluente, vazão, taxa de aplicação superficial e eficiência de remoção

580

de DBO₅

581

Figura 5.40. Comportamento dos parâmetros DBO₅ afluente e efluente, vazão, taxa de aplicação superficial (Ls) e eficiência de remoção de DBO₅ ao longo dos 4 anos, nas lagoas facultativas.

582

As lagoas facultativas da ETE 2A têm operado em sobrecarga orgânica, como pode ser visto na Figura 5.40. Em apenas 3 ocasiões, a taxa aplicada (L_s) foi próxima ao valor de projeto (250,00 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹): em março de 2016 (282,72 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹), julho de 2016 (261,49 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹) e dezembro de 2016 (283,35 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹).

Não se observou nenhuma relação entre a taxa de aplicação superficial e eficiência de remoção de DBO₅, conforme correlação da Figura 5.39, R^2 de 0,1041, valor próximo de uma correlação linear inexistente.

Interessante é que mesmo com taxas de aplicação superficial bem superiores às recomendadas pela literatura, as lagoas facultativas apresentaram um bom desempenho na remoção de DBO₅. Também se verificou que a correlação linear entre vazão e DBO₅ afluente é praticamente inexistente, com $R^2 = 0,0354$ (Figura 5.41).

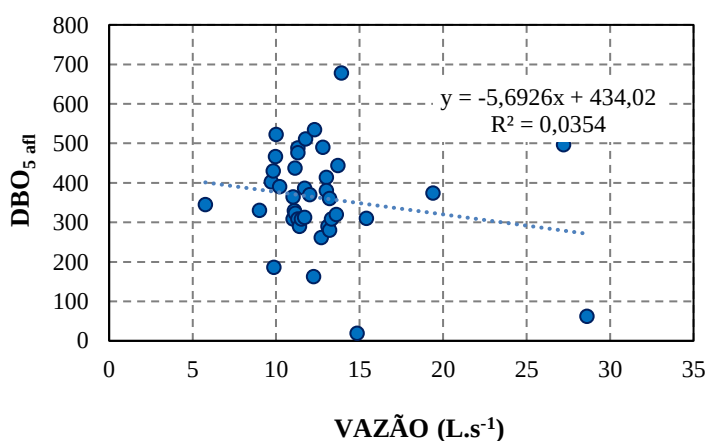


Figura 5.41. Correlação entre vazão e DBO₅ afluente.

Uma hipótese sobre o bom desempenho das lagoas facultativas é que como estão trabalhando em sobrecarga na maior parte do tempo, possivelmente elas estão mais em condições anaeróbias que aeróbias, por isso vêm absorvendo as elevadas taxas.

5.5. Potencial da água de reúso de efluentes de ETEs

O potencial da água de reúso de efluentes de ETEs foi avaliado através de uma análise comparativa da capacidade de tratamento das tecnologias utilizadas nas ETEs em estudo, e os níveis de qualidade do efluente em termos de DBO, DQO, N-NH₃, P-Total e Coliformes termotolerantes (CT_{er}) (Tabela 5.15).

Qualquer das tecnologias apresentadas acrescida de desinfecção (cloração, ozonização, radiação UV ou barreira física)⁶, possui capacidade para produzir um efluente com número de coliformes termotolerantes (*E. coli*) de até 1×10^3 org.100mL⁻¹ (von Sperling, 2014).

A Tabela 5.15 apresenta uma análise da capacidade de tratamento das tecnologias presentes nas ETEs em estudo e os níveis indicados, valores de referência, de qualidade do efluente em termos de DBO₅, DQO, N-NH₃ e coliformes termotolerantes (especificamente a *E. coli*).

Para a tecnologia LA + LF, o único parâmetro que enquadrou no valor de referência foi os coliformes termotolerantes, C_{Ter} (*E. coli*), na ETE 1A, com $4,9 \times 10^5$ org.100 mL⁻¹. Essa tecnologia remove entre 1×10^5 a 1×10^6 org.100mL⁻¹ (von Sperling, 2017).

No caso da tecnologia LF + LM, as quatro ETEs (2A, 2B, 2C e 2D) enquadraram no valor de referência de 60 mg.L⁻¹ a 100 mg.L⁻¹ para DBO₅, e no valor de referência para *E. coli*, de 1×10^5 a 1×10^6 .

Para a tecnologia UASB, somente as ETE 3A e 3E se enquadraram no valor de referência de DBO₅, de 100 mg.L⁻¹.

A tecnologia UASB + BAS da ETE 4A, não se enquadrou em nenhum dos valores de referência para os parâmetros analisados. Enquanto que a tecnologia UASB + FBP + DS, se enquadrou nos parâmetros DBO₅ e DQO (ETEs 5A, 5B, 5C e 5D), e no parâmetro *E. coli* (ETEs 5A e 5C).

Para a tecnologia UASB + FQ + DS, presente na ETE 6A, nenhum dos parâmetros foram enquadrados nos valores de referência. E por fim, a tecnologia UASB + FQ + DES da ETE 7A, a qual os parâmetros DBO₅, DQO e *E. coli* se enquadraram nos valores de referência.

O parâmetro N-NH₃ só possui valores de referência de qualidade do efluente para as tecnologias LF + LM e UASB + BAS, porém nem mesmo as ETEs que possuem essa tecnologia se enquadraram nesses padrões.

As principais possibilidades de reúso da água proveniente de efluentes de ETEs são apresentados na (Tabela 5.16). Abaixo, algumas considerações sobre o reúso de esgotos tratados para os usos citados nessa tabela (Florencio *et. al* (2006):

⁶ filtração terciária, desde que o processo de desinfecção/ barreira seja compatível com a qualidade do efluente do tratamento precedente

- 1) Para o uso urbano de esgoto tratado por meio das tecnologias indicadas, não há restrição dos parâmetros DBO, DQO e SST;
- 2) Para efluentes com concentrações de DBO e NO_3^- inferiores a 30 e 50 mg.L^{-1} , respectivamente, e potencial de oxi-redução igual ou superior a 45 mV, não é esperada a geração de odores no sistema de armazenamento;
- 3) Para o uso urbano de esgoto tratado por meio das tecnologias indicadas, não há restrição dos parâmetros DBO, DQO e SST. Todavia efluentes com concentrações elevadas desses parâmetros podem favorecer a formação de biofilme e entupimento do sistema de irrigação. A limitação do parâmetro turbidez é devido à necessidade de remoção de protozoários, alcançado por meio de filtração terciária. Nos sistemas de tratamento por lagoas, a remoção de (oo)cistos de protozoários é indicada pela remoção de ovos de helmintos;
- 4) A etapa de desinfecção destina-se a atender o parâmetro microbiológico correspondente a cada modalidade de utilização do esgoto tratado, podendo eventualmente ser dispensada caso se consiga atingir o padrão recomendado apenas com a etapa de filtração terciária;
- 5) Em teoria, em quaisquer das alternativas listadas, a filtração terciária e a desinfecção podem ser substituídas por lagoas de polimento ou de maturação. Neste caso não mais caberia o monitoramento de turbidez.

Ao analisar a Tabela 5.16 de diretrizes gerais para utilização de esgotos tratados, verificou-se que o efluente tratado da ETE 7A possui potencial para reúso da água nos usos: urbano irrestrito⁷ e restrito, predial, agrícola irrestrito e restrito.

As ETEs 2A, 2C, 2D (LF + LM) e 5A (UASB + FBP +DS) possui potencial para reúso no uso agrícola restrito.

⁷ Exceto no ano de 2013.

655
656

Tabela 5.15. Análise da capacidade de tratamento das tecnologias utilizadas nas ETEs em estudo, para atingir os níveis indicados (valores de referência) de qualidade do efluente em termos de DBO, DQO, N-NH₃, e Coliformes termotolerantes (CT_{er}) *E. coli*.

Tecnologias de Tratamento	ETE	DBO (mg.L ⁻¹) Média±DP					DQO (mg.L ⁻¹) Média±DP			N – NH ₃ (mg.L ⁻¹) Média±DP			CT _{er} (org.100 mL ⁻¹) Média geométrica			
		100	80	60	40	20	200	150	100	15	10	5	1x10 ⁶	1x10 ⁵	1x10 ⁴	1x10 ³
LA + LF	VR ⁽¹⁾															
	1A	92±33					328±113			47±20			4,9x10 ⁵			
	1B	110±59					252±153			46±21			5,0x10 ⁶			
LF + LM	VR ⁽¹⁾															
	2A			34±21			190±56			28±13				2,7x10 ⁴		
	2B			54±32			183±97			29±13			2,7x10 ⁵			
	2C			30±14			183±73			29±15				7,5x10 ⁴		
	2D			49±23			348±60			21±10				2,5x10 ⁴		
UASB	VR ⁽¹⁾															
	3A	68±31					148±74			66±30			1,6x10 ⁶			
	3B	86±32					168±47			71±31			2,0x10 ⁶			
	3C	208±59					431±151			46±14			1,4x10 ⁷			
	3D	98±49					213±30			59±21			1,4x10 ⁷			
	3E	74±33					204±208			61±20			6,9x10 ⁶			
UASB + BAS	VR ⁽¹⁾															
	4A	173±52					405±123			45±19			3,7x10 ⁶			
UASB + FBP + DS	VR ⁽¹⁾															
	5A					12±6			38±23	16±10				4,4x10 ⁴		
	5B		43±30						65±28	42±17			1,3x10 ⁶			
	5C		40±23					84±36		41±16			7,5x10 ⁵			
	5D			32±23					71±23	40±18			1,4x10 ⁶			
	5E	173±140					143±207			47±15			1,1x10 ⁶			
	VR ⁽¹⁾															
UASB + FQ + DS	6A	79±30					136±75			60±21			1,2x10 ⁶			
	VR ⁽¹⁾															
UASB + FQ + DES	7A					8±7			44±30	72±11					4,2x10 ²	

657
658
659
660
661

Fonte: von Sperling, 2014 e Florencio *et al.*, 2006.

⁽¹⁾ Valores de Referência 15±2; 15±2 Média±DP dos parâmetros analisados no efluente das ETEs, **valores enquadrados**; 15±2 Média±DP dos parâmetros analisados no efluente das ETEs, **valores não enquadrados**. LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reactor (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção.

Tabela 5.16. Diretrizes gerais para utilização de esgotos tratados.

Tipo de utilização	Qualidade necessária para a água de reúso		Padrão tecnológico compatível	ETEs com potencial de reúso ⁽¹⁾
	Parâmetros microbiológicos	Outros		
Uso urbano irrestrito Irrigação (campos de esporte, parques, jardins, cemitérios, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar	CTer < 200.100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	Esteticamente não objetável Esteticamente não objetável Turbidez < 5 uT (ver consideração 1)	LF + LM UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	7A*
Uso urbano restrito Irrigação (parques, canteiros de rodovias, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, etc.)	CTer < 1 x 10 ⁴ .100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	Esteticamente não objetável (ver consideração 1)	LF + LM UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	7A
Uso Predial Redes públicas e domiciliares de água utilizada para descarga de vasos sanitários	CTer < 1 x 10 ³ .100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	Esteticamente não objetável (ver consideração 2)	UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	7A
Uso agrícola irrestrito Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, inclusive culturas alimentícias consumidas cruas. Inclui também a hidroponia	CTer < 1 x 10 ³ .100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	(ver observação 3) Turbidez < 5 uT (ver consideração 3)	LF + LM UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	7A
Uso agrícola restrito Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia	CTer < 1 x 10 ⁴ .100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	(ver consideração 3) (ver consideração 3)	LF + LM UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	7A
Uso agrícola restrito com barreiras adicionais de controle da exposição humana (ex.: técnicas de irrigação e uso de equipamento de proteção individual)	CTer < 1 x 10 ⁵ .100mL ⁻¹ Helmintos < 1 ovo.L ⁻¹	(ver consideração 3) (ver consideração 3)	LF + LM UASB + BAS + FT + DES UASB + FBP + FT + DES (ver consideração 5)	2A, 2C e 2D 5A e 7A

Fonte: Florencio *et al.*, 2006.

1A = LA + LF; 2A, 2B, 2C e 2D = LF + LM; 3A, 3B, 3C, 3D, 3E e 3F = UASB; 4A = UASB + BAS; 5A, 5B, 5C e 5D = UASB + FBP + DS; 6A = UASB + FQ + DS; 7A = UASB + FQ + DES. LA = Lagoa Anaeróbia; LF = Lagoa Facultativa; UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* reator (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo); BAS = Biofiltro Aerado Submerso; FBP = Filtro Biológico Percolador; DS = Decantador Secundário; FQ = Físico-Químico; DES = Desinfecção; FT = Filtração Terciária ou outra barreira física. ⁽¹⁾ Com base na média geométrica das concentrações de *E. coli* dos 4 anos de monitoramento; 7A* exceto no ano de 2013.

A Tabela 5.17 apresenta uma avaliação do potencial de reúso do efluente tratado. Com base nas médias anuais do número de *E. coli*, os efluentes tratados da ETE 2A (anos 2013, 2014, 2015 e 2016), ETE 2B (2015), ETE 2C (2014, 2015 e 2016), 2D (2013, 2014 e 2015), 5A (2015 e 2016) e 7A (2013), poderiam ser utilizados para o uso agrícola restrito, com barreiras adicionais de controle da exposição humana.

O efluente tratado da ETE 7A, anos de 2014, 2015 e 2016, poderia ser utilizado para os usos urbano irrestrito (em 2014), predial e agrícola irrestrito, urbano restrito e agrícola restrito, esse último em irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia.

Tabela 5.17. Avaliação do potencial de reúso do efluente tratado com base nas médias anuais do número de *E. coli*.

Tecnologia de Tratamento	ETE	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹) ⁽¹⁾			
		2013	2014	2015	2016
LA + LF	1A	4,4 x 10 ⁵	7,6 x 10 ⁵	2,5 x 10 ⁵	
	1B	4,8 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁷	3,3 x 10 ⁵	
LF + LM	2A	1,6 x 10 ⁴	3,2 x 10 ⁴	3,2 x 10 ⁴	2,9 x 10 ⁴
	2B	2,8 x 10 ⁵	8,4 x 10 ⁵	8,6 x 10 ⁴	
	2C	2,5 x 10 ⁵	8,4 x 10 ⁴	3,1 x 10 ⁴	3,9 x 10 ⁴
	2D	1,7 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴	9,0 x 10 ⁴	
UASB	3A				1,6 x 10 ⁶
	3B				2,0 x 10 ⁶
	3C			1,4 x 10 ⁷	1,4 x 10 ⁷
	3D				1,4 x 10 ⁷
	3E	5,0 x 10 ⁵	3,3 x 10 ⁶	6,3 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁶
UASB + BAS	4A			5,0 x 10 ⁶	8,1 x 10 ⁶
UASB + FBP + DS	5A			2,2 x 10 ⁴	5,9 x 10 ⁴
	5B			3,8 x 10 ⁵	9,7 x 10 ⁶
	5C			2,5 x 10 ⁶	9,2 x 10 ⁵
	5D			8,9 x 10 ⁵	6,9 x 10 ⁵
	5E				1,1 x 10 ⁶
UASB + FQ + DS	6A	3,2 x 10 ⁶	2,6 x 10 ⁶	4,9 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁶
UASB + FQ + DES	7A	1,1 x 10 ⁴	8,7 x 10 ⁰	6,1 x 10 ²	5,5 x 10 ²

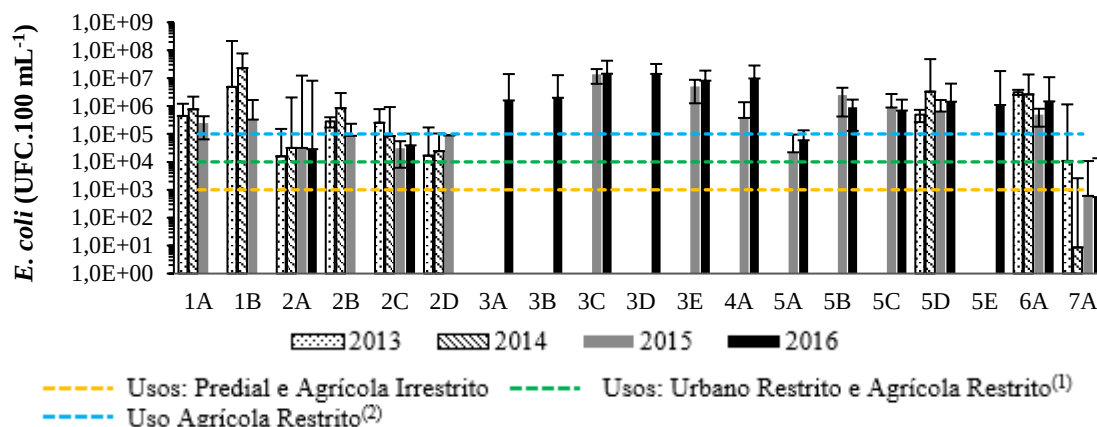
⁽¹⁾ Média geométrica;

	CTer < 1 x 10 ² .100 mL ⁻¹ - Uso: Urbano Irrestrito
	CTer < 1 x 10 ³ .100 mL ⁻¹ - Usos: Predial e Agrícola Irrestrito
	CTer < 1 x 10 ⁴ .100mL ⁻¹ - Usos: Urbano Restrito e Agrícola Restrito ⁽²⁾
	CTer < 1 x 10 ⁵ .100mL ⁻¹ - Uso Agrícola Restrito ⁽³⁾

⁽²⁾ Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia;

⁽³⁾ com barreiras adicionais de controle da exposição humana (ex.: técnicas de irrigação e uso de equipamento de proteção individual).

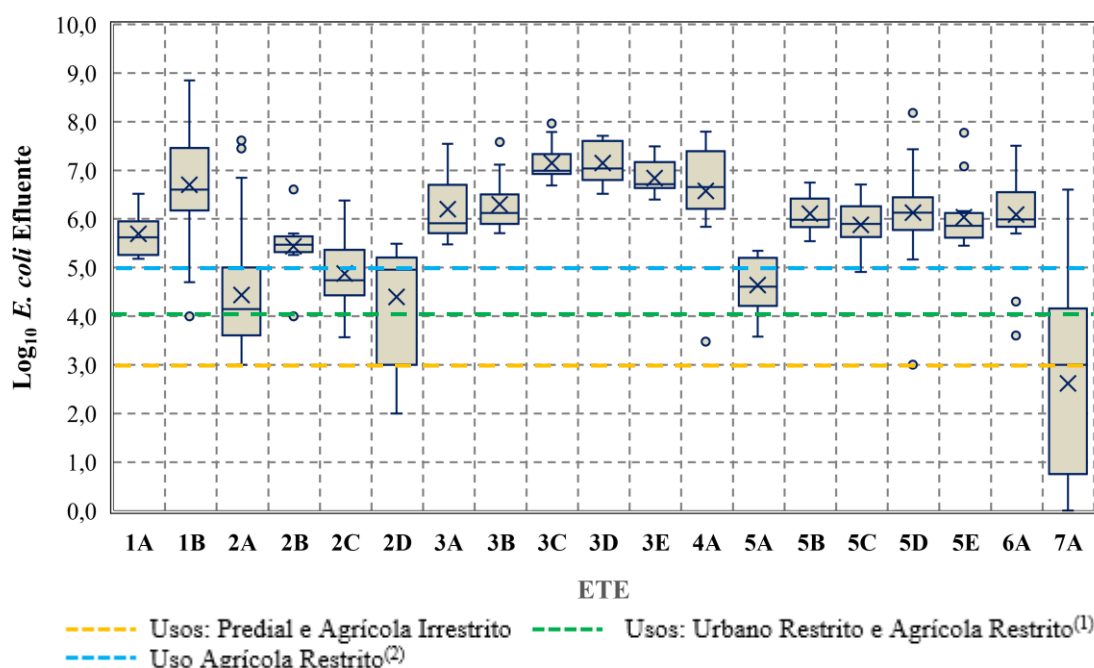
A Tabela 5.17 pode também ser visualizada por meio da Figura 5.42, a qual apresenta a variação da média anual e desvio padrão do número de *E. coli* nas ETEs e os padrões de reúso do efluente tratado.



⁽¹⁾ Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia; ⁽²⁾ com barreiras adicionais de controle da exposição humana (ex.: técnicas de irrigação e uso de equipamento de proteção individual).

Figura 5.42. Variação da média anual do número de *E. coli* das ETES e padrões de reúso do efluente tratado.

Através do box plot de unidades logarítmicas de *E. coli* efluente, pode-se comparar o desempenho das 19 ETES, com relação à remoção de coliformes termotolerantes (Figura 5.43).



⁽¹⁾ Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia; ⁽²⁾ com barreiras adicionais de controle da exposição humana (ex.: técnicas de irrigação e uso de equipamento de proteção individual).

Figura 5.43. Box plot de *E. coli* efluente em unidades logarítmicas das 19 ETES.

Pode-se inferir que as ETES que possuem maior potencial de uso de seu efluente tratado são as ETES 2A, 2C, 2D, 5A e 7A.

5.6. Viabilidade econômico financeira de reúso de efluente tratado em ETEs no Estado de Mato Grosso do Sul

A Tabela 5.18 mostra o ano em que o VPL é maior que zero, ilustrando o retorno do investimento em esgotamento sanitário para os cenários definidos (com e sem a prática do reúso de água) para os municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul.

Tabela 5.18. Ano de VPL>0 para os cenários com e sem reúso de água

Município	VPL sem reúso (ano)		VPL com reúso, incremento mínimo (ano)		VPL com reúso, incremento máximo (ano)	
	Crescimento anual da tarifa					
	3%	10%	3%	10%	3%	10%
Amambaí	>20	16	>20	15	19	14
Anastácio	>20	>20	>20	>20	>20	19
Angélica	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Antônio João	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Aparecida Do Taboado	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Aquidauana	>20	19	>20	18	>20	16
Bataguassu	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Bodoquena	8	7	7	7	7	6
Bonito	6	6	6	5	5	5
Caarapó	>20	19	>20	18	>20	16
Camapuã	6	6	6	5	5	5
Caracol	>20	>20	>20	>20	>20	20
Chapadão Do Sul	>20	15	20	14	17	13
Coronel Sapucaia	>20	>20	>20	>20	>20	19
Corumbá	10	8	9	8	8	7
Coxim	>20	>20	>20	>20	>20	18
Dourados	12	10	12	10	11	9
Eldorado	>20	>20	>20	20	>20	17
Fátima Do Sul	>20	>20	>20	>20	>20	18
Iguatemi	>20	>20	>20	>20	>20	19
Itaporã	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Jardim	>20	>20	>20	19	>20	17
Jateí	11	9	11	9	10	9
Juti	>20	>20	>20	>20	>20	20
Ladário	>20	>20	>20	>20	>20	20
Maracaju	>20	>20	>20	19	>20	17
Miranda	>20	15	>20	15	19	14
Naviraí	>20	>20	>20	20	>20	18
Nioaque	>20	15	20	14	18	13
Nova Andradina	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Paranaíba	11	9	11	9	10	8
Paranhos	14	11	13	11	12	10

Município	VPL sem reúso (ano)		VPL com reúso, incremento mínimo (ano)		VPL com reúso, incremento máximo (ano)	
	Crescimento anual da tarifa					
	3%	10%	3%	10%	3%	10%
Pedro Gomes	>20	>20	>20	20	>20	16
Ponta Porã	>20	15	19	14	17	13
Porto Murtinho	9	8	8	7	8	7
Ribas Do Rio Pardo	>20	>20	>20	>20	>20	19
Rio Brilhante	>20	>20	>20	>20	>20	
Rio Verde De Mato Grosso	>20	>20	>20	>20	>20	20
Santa Rita Do Pardo	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Tacuru	14	11	13	11	13	10
Três Lagoas	18	13	17	13	15	12
Bela Vista	18	13	5	5	3	3
Costa Rica	>20	19	>20	18	>20	16
São Gabriel Do Oeste	19	14	16	12	12	10
Campo Grande	5	5	5	5	5	5

É possível notar que o payback do investimento em esgotamento sanitário nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul varia entre 3 anos a mais de 20 anos. Os municípios com maiores índices de atendimento, apresentam um menor período de payback já que o investimento necessário é menor em comparação aos municípios em que o atendimento ainda é precário. Porém, é interessante o fato de que a prática do reúso de água melhora significativamente o período de retorno do investimento em alguns municípios.

No caso de Bela Vista, por exemplo, a prática do reúso de água apresenta potencial de redução de até 15 anos do retorno do investimento em esgotamento sanitário. Isso ocorre pelo fato de que os municípios com altas tarifas de esgoto, apresentam um cenário de retorno do investimento mais expressivos que no caso dos municípios com baixa tarifa de esgoto (Anexo J).

Dessa forma, em média, considerando o potencial máximo de arrecadação pelas tarifas de esgoto, e um crescimento de 10% ao ano na arrecadação pelas tarifas aplicadas aos usuários do sistema, o reúso de água apresenta um potencial de melhoria de 15% no desempenho do VPL nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul.

No Anexo J estão apresentadas as estimativas das receitas arrecadadas com ou sem a prática do reúso nos municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul.

Ainda, segundo dados do SNIS (2015), no que diz respeito a arrecadação direta de esgoto (indicador FN003, expresso em R\$/ano), o Estado de Mato Grosso do Sul ocupa a posição de 17º em relação as 27 Unidades da Federação (UF). A tarifa média de esgoto do Estado de MS está apenas a 2% abaixo da média Nacional, de forma que o Estado do Amazonas e o Estado do Para ocupam, respectivamente, as posições de primeiro e último lugar no que diz respeito a este indicador, com valores por metro cúbico de R\$ 4,92 e R\$ 1,68.

Em relação ao percentual de esgoto coletado (indicador IN015), o Estado de Mato Grosso do Sul ocupa a posição de 11º (com 39%) em comparação com as demais UFs, ganhando destaque o Distrito Federal e o Estado de São Paulo, ambos com aproximadamente 80% de esgoto coletado.

Uma das avaliações que pode ser feita sobre a situação financeira dos serviços de saneamento diz respeito à capacidade de caixa para pagamento das despesas correntes. No SNIS, o índice de suficiência de caixa (IN101) simula esta situação ao confrontar a arrecadação com a soma das despesas de exploração; de juros, encargos e amortização do serviço da dívida; e fiscais ou tributárias.

A média nacional de suficiência de caixa é de 93%, o que indica que os custos totais dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário ainda superam suas receitas totais, de forma que os cenários de reúso de água poderiam contribuir com este quadro.

Este desequilíbrio entre as tarifas praticadas e as despesas totais compromete a qualidade dos serviços e consequentemente a saúde da população. Isso não significa que a solução seja simplesmente aumentar a tarifa aplicada, já que tarifas mais elevadas não necessariamente refletem a melhoria na qualidade dos serviços e nesse caso, a população seria prejudicada por ausência de um planejamento eficaz.

Além disso, é preciso atenção também ao lado da demanda de água de reúso, já que atualmente, esta prática no Brasil ainda não é difundida, sugerindo uma revisão da legislação e das políticas públicas a fim de inclusive reduzir as incertezas de mercado para estes tipos de investimentos.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, procurou-se avaliar o desempenho de diversas tecnologias de tratamento presentes em ETEs do Estado de Mato Grosso do Sul. A tentativa de realizar um trabalho com uma análise mais refinada, encontrou dificuldades na obtenção de séries históricas de dados consistentes. Isso foi um limitante, pois esse critério fez com que vários sistemas não entrassem no estudo.

Também é inquestionável, que um número maior de análises laboratoriais onere o sistema, contudo, é preciso analisar através da ótica da eficiência dos sistemas e projeto. Uma vez, que um monitoramento com maior número de análises dos parâmetros contribui para apontar critérios no dimensionamento das unidades da estação de tratamento, aumentando assim a eficiência dos sistemas.

É necessária uma interface entre a operação e o projeto, pois é necessário que o projeto analise os dados de operação da ETE para verificar se o que foi projetado está operando adequadamente. Caso contrário, ajustes deverão ser realizados, servindo de experiência para projetos futuros.

O estudo de caso das lagoas facultativas da ETE 2A concluiu que essas lagoas vêm operando em sobrecarga orgânica, chegando a absorver taxas de aplicação superficial de até 1.960,00 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹.

Não foi observado nenhuma relação entre a taxa de aplicação superficial e eficiência de remoção de DBO₅, é uma correlação linear inexistente.

Mesmo com taxas de aplicação superficial bem superiores às recomendadas pela literatura, as lagoas facultativas apresentaram um bom desempenho na remoção de DBO₅.

A avaliação do potencial de reúso do efluente tratado, com base na concentração de E. coli e valores de referências para os diversos tipos de uso resultou que: os efluentes tratados da ETE 2A (anos 2013, 2014, 2015 e 2016), ETE 2B (2015), ETE 2C (2014, 2015 e 2016), 2D (2013, 2014 e 2015), 5A (2015 e 2016) e 7A (2013), poderiam ser utilizados para o uso agrícola restrito, com barreiras adicionais de controle da exposição humana.

O efluente tratado da ETE 7A, anos de 2014, 2015 e 2016, poderia ser utilizado para os usos urbano irrestrito (em 2014), predial e agrícola irrestrito, urbano restrito e agrícola restrito, esse último em irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua,

31 inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também
32 a hidroponia.

33 Quanto à análise da viabilidade econômica de se utilizar o efluente tratado das ETEs,
34 resultou que o payback do investimento para universalização do serviço de esgotamento
35 sanitário nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul varia entre 3 anos a mais de 20 anos.
36 A prática do reúso de água melhora significativamente o período de retorno do investimento
37 em alguns municípios.

38 Mesmo diante do cenário mais pessimista do reúso de água, em que se considera o
39 potencial mínimo de arrecadação pelas tarifas de esgoto, e um crescimento de apenas 3% ao
40 ano na arrecadação pelas tarifas aplicadas aos usuários do sistema, é possível notar que o
41 período de retorno do investimento em esgotamento sanitário apresenta um potencial médio de
42 10% nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul.

43 Quanto melhor a viabilidade financeira dos sistemas de esgotamento sanitário,
44 garantindo um bom índice de suficiência de caixa para os prestadores de serviço, maior a
45 independência do dinheiro público relacionada ao setor de saneamento e consequentemente
46 mais verba disponível para ser aplicada para outros fins, como saúde ou segurança, por
47 exemplo.

7. REFERÊNCIAS

- ÁGUAS GUARIROBA, 2017. Disponível em: <http://www.aguasguariroba.com.br/tarifa-atual/>. Acessado em 15/12/2017.
- AGUNWAMBA, J. C. et al., 1992. Prediction of the dispersion number in waste stabilization ponds. **Water Research**, 26 (85).
- ANA – Agência Nacional de Águas, 2017. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/ Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. 88p. ISBN: 978-85-8210-050-9
- ANGELAKIS, A. N. & SPYRIDAKIS, S. V., 1996. The Status of water resources in Minoan times: A Preliminary study. In: Angelakis A.N., Issar A.S. (eds) **Diachronic Climatic Impacts on Water Resources**. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change), vol 36. Springer, Berlin, Heidelberg.
- APHA, AWWA e WEF (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23rd ed. American Public Health Association. Washington, DC.
- ARCEIVALA, S. J., 1981. **Wastewater treatment and disposal**. Marcel Dekker, New York. 892 p.
- ASADOLLAHFARDI, G., DELNAVAZ, M., RASHNOIEE, V. *et al.*, 2016. Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete. **Construction & Building Materials**, 105, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.039>
- ASTM C191, Standard Test Method for Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2004.
- ASTM C192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2000.
- ASTM C94, Standard Specification for Ready Mixed Concrete, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2003.

26 BARRINGTON, D. J., SRIDHARAN S., SAUNDERS S. G. *et al.*, 2016 Improving
 27 Community Health through Marketing Exchanges: A Participatory Action Research Study on
 28 Water, Sanitation, and Hygiene in Three Melanesian Countries. **Social Science & Medicine**,
 29 doi: 10.1016/j.socscimed.2016.11.003

30 BRASIL, 2005. Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a
 31 classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como
 32 estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

33 BRASIL, 2011. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as
 34 condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de
 35 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

36 CAMPOS, J.R. (coordenador), 1999. **Tratamento de esgotos sanitários por processo**
 37 **anaeróbio e disposição controlada no solo**. PROSAB/ FINEP, Rio de Janeiro, 435 p.

38 CHERNICHARO, C.A.L, **Reatores Anaeróbios**, 2016. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG,
 39 379 p.

40 EPA, 1999. Environmental Protection Agency. EPA 832-F-99-031. Collection Systems O&M
 41 Fact Sheet Sewer Cleaning and Inspection. Washington, United States of America. Disponível
 42 em: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sewcl.pdf>.

43 EUROSTAT, 2010. **Water use in industry** (env_ww_spd). Disponível em:
 44 <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>. Acessado em 03/12/2017.

45 EVANS D. B., 2005. **Methods to assess the costs and health effects of interventions for**
 46 **improving health in developing countries**. *Bmj* 331:1137–1140. doi:
 47 10.1136/bmj.331.7525.1137.

48 FAO, 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). AQUASTAT
 49 website. Information System on Water and Agriculture. **Water withdrawal by sector, around**
 50 **2010**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/aquastat>. Acessado em 06/03/2017.

51 GARFI M, FERRER-MARTÍ L., 2011. Decision-making criteria and indicators for water and
 52 sanitation projects in developing countries. **Water Sci Technol.** 64:83. doi:
 53 10.2166/wst.2011.543

- GOPALAN S. & RAJAN R. S., 2016. Has Foreign Aid Been Effective in the Water Supply and Sanitation Sector? Evidence from Panel Data. **World Dev** 85:84–104. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.04.010
- HUTTON G., HALLER L, BARTRAM J., 2007. **Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions**. 481–502. doi: 10.2166/wh.2007.009
- IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. População e domicílios – síntese de indicadores. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acessado em 22/11/2017.
- IBGE, 2014. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acessado em 16/10/2017.
- IBGE, 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/home.php>. Acessado em 13/9/2017.
- JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A., 2017. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 8ª Ed. Rio de Janeiro, ABES, 916 p.
- MARA, D. D., 1997. **Design manual for stabilisation ponds in India**. Lagoon Technology International Ltd. Leeds.
- MARQUES, C. T.; GOMES, G.M.F.; BRANDLI, L.L., 2017. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente construído** 17 (4) 79–90.
- MEHTA, P. K., 2001. Reducing the environmental impact of concrete. Concrete can be durable and environmentally friendly. **Concrete International**, 61–66. [https://doi.org/10.1016/S1351-4210\(05\)70693-4](https://doi.org/10.1016/S1351-4210(05)70693-4).
- METCALF & EDDY, Inc., 1991. **Wastewater engineering: treatment, and reuse**. 3 ed. Mc Graw-Hill.

MS, 2012. Deliberação CECA/MS Nº 36 de 27 de junho de 2012. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul, e dá outras providências.

NDIKUMANA, L. & PICKBOURN, L., 2015. The Impact of Foreign Aid Allocation on Access to Social Services in **sub-Saharan Africa: The Case of Water and Sanitation**. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.09.001.

NOYOLA, A., PADILLA RIVERA A., MORGAN-SAGASTUME, J. M. et. al., 2012. **Clean – Soil, Air, Water**, 40 (9), 926-932. DOI: 10.1002/clen.201100707.

OLIVEIRA, D.D.N., ALMEIDA, E.S., CARDOSO, L.S.P., *et al.*, 2016. Production of Concrete Blocks Using Treated Effluent for Activated Sludge and Stabilization Lagoons. **Revista Virtual de Química**, 8(4), 1054–1066. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160075>

OLIVEIRA, S. M. A. C. & VON SPERLING, M., 2005. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 – Análise de desempenho. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10 (4), p. 347 – 357. ABES.

POLPRASERT, C. & BHATTARAI, K. K., (1985). Dispersion model for waste stabilization ponds. **J. Env. Eng. Div.**, ASCE, 111, p. 45.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2017. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br>. Acessado em 15/12/2017.

SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S/A, 2017.. Disponível em: <http://agencia.sanesul.ms.gov.br/Content/TARIFAS2017.pdf>. Acessado em 13/12/2017.

FLORENCIO, L., BASTOS, R. K. X., AISSE, M. M. (Coord.), 2006. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB, ABES, 427 p.

SANTOS A. C., ROBERTS J. A, BARRETO M.L., *et al.*, 2011. Demand for sanitation in Salvador, Brazil: A hybrid choice approach. **Soc Sci Med** 72:1325–1332. doi: 10.1016/j.socscimed.2011.02.018

105 SANTOS, C.P.; SILVA, R.S.; & CERQUEIRA, C. A., 2015. Water Consumption in
 106 Construction Sites in the City of Recife/PE. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**,
 107 20 (7), 1711–1726. Retrieved from www.ejge.com/2015/Ppr2015.0243ma.pdf.

108 SILVA, S. A. & MARA, D. D., 1979. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas**
 109 **de estabilização**. ABES, Rio de Janeiro. 140 p.

110 SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2011. Ministério das cidades.
 111 **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Report of water and wastewater services, 2011),
 112 Brasília.

113 SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2015. Ministério das cidades.
 114 **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Report of water and wastewater services, 2015),
 115 Brasília.

116 TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L. & STENSEL H. D., 2003. **Wastewater**
 117 **Engineering: Treatment and Reuse**, 4 th ed., Metcalf and Eddy, Inc., McGraw-Hill Book
 118 Company, New York.

119 VON SPERLING, M., 1999. Performance evaluation and mathematical modelling of coliform
 120 die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. **Water Research**, 33 (6). pp.
 121 1435 -1448.

122 VON SPERLING, M., 2001. Remoção de DBO em 12 lagoas de estabilização primárias e
 123 secundárias no Sudeste do Brasil. In: **IX Simposio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária**
 124 **e Ambiental – SILUBESA**, Anais Eletrônicos, Porto Seguro, abril 2001.

125 VON SPERLING, M., 2014. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**.
 126 4.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 472 p.

127 VON SPERLING, M., 2017. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 196 p.

128 WHO, 2006. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume I:
 129 Policy and regulatory aspects. World Health Organization.

130 YANEZ, F., 1993. Lagunas de estabilizacion. Teoria, diseño y mantenimiento. ETAPA,
 131 Cuenca, Equador, 421 p.

132 **Capa:**
133 Arte: Luciene Santos
134 Imagem:
135 Waters wave by Shyshka
136 Gotas de água ID8677936 by Bellevue
137 Disponível em:
138 <https://medium.com/the-mission/what-it-takes-to-lead-an-extremely-high-flow-life-f32a0cd781a8>
139 <https://stock.adobe.com/contributor/200590547/shyshka>
140 <https://pt.dreamstime.com/imagem-de-stock-royalty-free-gotas-da-%C3%A1gua-image867793>

ANEXO A

Eficiências de remoção de coliformes para distintos valores de TDH, profundidade e relação L/B, para temperatura = 20°C

Table 6.6. Coliform removal efficiencies, expressed in terms of logarithmic units removed, for different values of the hydraulic detention time t , depth H and L/B ratio (dispersed flow). Temperature = 20 °C

t (d)	H (m)	Log units removed									
		L/B ratio									
		1	2	3	4	6	8	10	12	16	32
3	1.0	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.62	0.63	0.65	0.67
	1.5	0.32	0.34	0.35	0.36	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41
	2.0	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29
	2.5	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22
5	1.0	0.68	0.75	0.81	0.85	0.91	0.95	0.97	1.00	1.03	1.09
	1.5	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.62	0.63	0.65	0.67
	2.0	0.36	0.39	0.40	0.41	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47
	2.5	0.29	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35	0.35	0.35	0.36
10	1.0	1.05	1.21	1.33	1.42	1.55	1.65	1.72	1.78	1.87	2.05
	1.5	0.77	0.86	0.92	0.98	1.05	1.10	1.14	1.17	1.21	1.29
	2.0	0.60	0.66	0.70	0.74	0.78	0.81	0.84	0.85	0.88	0.92
	2.5	0.49	0.54	0.56	0.59	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.71
15	1.0	1.34	1.57	1.74	1.88	2.08	2.24	2.35	2.45	2.60	2.92
	1.5	0.99	1.13	1.24	1.32	1.44	1.52	1.59	1.64	1.71	1.87
	2.0	0.79	0.89	0.95	1.01	1.09	1.14	1.18	1.21	1.26	1.34
	2.5	0.66	0.72	0.77	0.81	0.87	0.90	0.93	0.95	0.98	1.04
20	1.0	1.57	1.87	2.09	2.27	2.54	2.75	2.91	3.04	3.25	3.72
	1.5	1.17	1.36	1.50	1.61	1.78	1.90	1.99	2.06	2.17	2.41
	2.0	0.95	1.08	1.17	1.25	1.36	1.43	1.49	1.54	1.61	1.75
	2.5	0.79	0.89	0.96	1.01	1.09	1.15	1.19	1.22	1.26	1.35
25	1.0	1.77	2.13	2.40	2.62	2.95	3.21	3.41	3.58	3.85	4.47
	1.5	1.34	1.57	1.74	1.88	2.08	2.24	2.36	2.45	2.60	2.92
	2.0	1.08	1.25	1.37	1.46	1.60	1.71	1.78	1.85	1.94	2.13
	2.5	0.91	1.04	1.13	1.20	1.30	1.37	1.43	1.47	1.53	1.66
30	1.0	1.95	2.37	2.68	2.94	3.33	3.63	3.87	4.08	4.40	5.17
	1.5	1.48	1.76	1.96	2.12	2.37	2.55	2.70	2.82	3.00	3.41
	2.0	1.20	1.40	1.55	1.66	1.83	1.96	2.06	2.13	2.25	2.50
	2.5	1.02	1.17	1.28	1.36	1.49	1.58	1.65	1.71	1.79	1.95
40	1.0	2.27	2.79	3.18	3.50	4.00	4.38	4.70	4.97	5.40	6.46
	1.5	1.73	2.08	2.34	2.55	2.87	3.12	3.32	3.48	3.74	4.32
	2.0	1.42	1.68	1.87	2.02	2.25	2.42	2.55	2.66	2.83	3.20
	2.5	1.21	1.41	1.55	1.67	1.84	1.97	2.07	2.14	2.26	2.52

K_b (dispersed flow) = $0.542.H^{-1.259}$

$d = 1/(L/B)$

Log units removed. = $-\log_{10} (1 - \text{Efficiency}/100)$

Efficiency (%) = $100 \cdot (N_0 - N)/N_0 = 100 \cdot (1 - 10^{-\text{log units removed}})$

Log units removed in a system with ponds in series = sum of the log units removed in each individual pond in the series

ANEXO B

Eficiências de remoção de coliformes para distintos valores de TDH, profundidade e relação L/B, para temperatura = 25°C

Table 6.7. Coliform removal efficiencies, expressed in terms of logarithmic units removed, for different values of the hydraulic detention time t , depth H and L/B ratio (dispersed flow). Temperature = 25°C

t (d)	H (m)	Log units removed									
		L/B ratio									
		1	2	3	4	6	8	10	12	16	32
3	1.0	0,61	0,66	0,71	0,74	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,93
	1.5	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,57
	2.0	0,32	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40
	2.5	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31
5	1.0	0,85	0,96	1,04	1,10	1,19	1,25	1,29	1,33	1,39	1,49
	1.5	0,61	0,67	0,71	0,74	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,93
	2.0	0,47	0,51	0,53	0,55	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,66
	2.5	0,38	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50
10	1.0	1,29	1,51	1,67	1,79	1,99	2,13	2,24	2,33	2,47	2,76
	1.5	0,95	1,08	1,18	1,25	1,36	1,44	1,50	1,55	1,62	1,76
	2.0	0,76	0,84	0,91	0,96	1,03	1,08	1,12	1,14	1,18	1,26
	2.5	0,63	0,69	0,74	0,77	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92	0,97
15	1.0	1,61	1,93	2,16	2,35	2,63	2,85	3,02	3,16	3,38	3,88
	1.5	1,21	1,41	1,56	1,67	1,84	1,97	2,07	2,15	2,27	2,52
	2.0	0,98	1,11	1,22	1,29	1,41	1,49	1,56	1,61	1,68	1,83
	2.5	0,82	0,92	1,00	1,05	1,14	1,19	1,24	1,27	1,32	1,42
20	1.0	1,88	2,28	2,58	2,82	3,18	3,47	3,70	3,89	4,19	4,90
	1.5	1,43	1,69	1,88	2,03	2,26	2,43	2,57	2,68	2,85	3,22
	2.0	1,16	1,34	1,48	1,59	1,75	1,86	1,95	2,02	2,13	2,36
	2.5	0,98	1,12	1,22	1,30	1,42	1,50	1,56	1,61	1,69	1,84
25	1.0	2,12	2,59	2,95	3,23	3,68	4,02	4,30	4,54	4,92	5,84
	1.5	1,61	1,93	2,16	2,35	2,63	2,85	3,02	3,16	3,38	3,88
	2.0	1,32	1,55	1,71	1,85	2,05	2,20	2,31	2,41	2,55	2,86
	2.5	1,12	1,29	1,42	1,52	1,67	1,78	1,87	1,93	2,03	2,24
30	1.0	2,33	2,87	3,28	3,61	4,13	4,53	4,86	5,14	5,60	6,71
	1.5	1,78	2,15	2,42	2,64	2,97	3,23	3,44	3,61	3,88	4,51
	2.0	1,46	1,73	1,93	2,09	2,33	2,51	2,65	2,77	2,95	3,34
	2.5	1,25	1,45	1,61	1,73	1,91	2,04	2,15	2,23	2,36	2,63
40	1.0	2,70	3,37	3,87	4,28	4,92	5,44	5,86	6,22	6,82	8,32
	1.5	2,07	2,53	2,88	3,15	3,58	3,92	4,19	4,42	4,78	5,66
	2.0	1,71	2,06	2,31	2,51	2,83	3,07	3,26	3,42	3,67	4,24
	2.5	1,47	1,74	1,94	2,10	2,34	2,52	2,66	2,78	2,96	3,36

K_b (dispersed flow) = $0.542.H^{-1,259}$

$d = 1/(L/B)$

Log units removed = $-\log_{10} (1 - \text{Efficiency}/100)$

Efficiency (%) = $100 \cdot (N_0 - N)/N_0 = 100 \cdot (1 - 10^{-\log \text{units removed}})$

Log units removed in a system with ponds in series = sum of the log units removed in each individual pond in the series

ANEXO C

Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2013

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-13	Feb-13	Mar-13	Apr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Aug-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dec-13
Flow (L.s ⁻¹)	Affluent /Effluent	13,40	11,90	11,40	13,90	15,40	11,50	28,60	12,00	9,70	11,30		11,70
Organic Load (kg BOD.day ⁻¹)	Affluent						306,03	153,20		336,91	476,44		315,39
	Effluent						71,54	116,14		18,77	21,67		23,05
	Removal						234,49	37,07		318,14	454,77		292,35
Bicarbonate Alkalinity (mg.L ⁻¹)	Affluent	480,0	540,0	510,0	490,0	505,0	485,0	130,0	555,0	555,0	650,0		610,00
	Effluent	445,0	490,0	395,0	295,0	505,0	445,0	390,0	255,0	275,0	370,0		370,00
	Removal Efficiency	7,3%	9,3%	22,5%	39,8%	0,0%	8,2%	-200,0%	54,1%	50,5%	43,1%		39,3%
<i>E. coli</i> (NMP.mL ⁻¹)	Affluent									1,40E+07			3,00E+07
	Effluent	3,00E+04		2,00E+03	1,00E+05			5,00E+04	4,00E+03	2,00E+03	4,00E+03		4,00E+05
	Removal Efficiency									99,986%			98,667%
	Log Reduction units									3,845			1,875
BOD (mg.L ⁻¹)	Affluent						308,0	62,0		402,0	488,0		312,0
	Effluent						72,0	47,0		22,4	22,2		22,8
	Removal Efficiency						76,6%	24,2%		94,4%	95,5%		92,7%
Phosphorus (mg.L ⁻¹)	Affluent								8,2		15,1		8,7
	Effluent								2,6		5,0		5,4
	Removal Efficiency								68,3%		66,9%		37,9%
Oils and Greases (mg.L ⁻¹)	Affluent	104,8	84,8	51,9	205	54,6	49,9	46,2	71,1	108,4	161,5		137,3
	Effluent	15,4	21,5	2,2	68,1	1,7	6,2	10,4	5,6	44,6	15,4		19,4
	Removal Efficiency	85,3%	74,6%	95,8%	66,8%	96,9%	87,6%	77,5%	92,1%	58,9%	90,5%		85,9%
pH	Affluent (WWTP)	7,50	7,50	7,20	7,40	7,50	7,50	7,20	7,50	7,40	7,20		7,30
	Effluent (WWTP)	7,70	7,60	7,20	7,60	7,60	7,60	7,40	8,60	8,20	7,60		8,40

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-13	Feb-13	Mar-13	Apr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Aug-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dec-13
	Affluent (Lab.)									7,5	7,3		7,2
	Effluent (Lab.)									7,6	7,5		7,7
Air Temperature (°C)	Affluent collection	30,8	30,2	32,1	27,4	29,5	23,0	19,7	28,2	20,1	32,1		34,7
	Effluent collection	30,8	30,2	32,1	27,4	29,5	23,0	19,7	28,2	20,1	32,1		34,7
Sample Temperature (°C)	Affluent	29,8	30,5	30,5	28,2	28,6	25,7	21,9	25,3	25,2	30,8		31,5
	Effluent	28,8	29,1	30,8	26,7	26,8	23,3	21,8	24,0	19,0	30,1		31,5
Total Dissolved Solids (TDS) (mg.L ⁻¹)	Affluent								754,0	922,0	664,0		652,0
	Effluent								386,0	659,0	578,7		592,0
	Removal Efficiency								48,8%	28,5%	12,8%		9,2%
Sedimentable Solids (S _{ed} S) (mg.L ⁻¹)	Affluent												
	Effluent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				0,0
	Removal Efficiency												

ANEXO D

Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2014

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-14	Feb-14	Mar-14	Apr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Aug-14	Sep-14	Oct-14	Nov-14	Dec-14
Flow (L.s ⁻¹)	Affluent /Effluent	9,00	11,00	13,30	13,30	11,50	10,90	10,20	13,70	12,90	14,10	27,20	13,60
Detention time (day)													
Organic Load (kg BOD.day ⁻¹)	Affluent	256,61	292,72		353,93			343,70	525,55			1165,64	376,01
	Effluent												
	Removal	10,89	21,67		19,31			12,34	28,41			38,54	24,68
SAR (Ls) (kg BOD.ha ⁻¹ .day ⁻¹)													
Bicarbonate Alkalinity (mg.L ⁻¹)	Affluent	490,0	550,0	350,0	525,0	460,0	500,0	555,0	550,0	510,0	530,0	230,0	480,0
	Effluent	300,0	325,0	270,0	260,0	280,0	275,0	300,0	275,0	305,0	310,0	305,0	275,0
	Removal Efficiency	38,8%	40,9%	22,9%	50,5%	39,1%	45,0%	45,9%	50,0%	40,2%	41,5%	-32,6%	42,7%
<i>E. coli</i> (NMP.mL ⁻¹)	Affluent	4,00E+07	3,90E+07	3,00E+07	7,20E+07	3,10E+07	2,70E+07	6,90E+07	2,47E+08	1,80E+08	5,20E+08	3,00E+08	2,80E+06
	Effluent	6,00E+03	3,00E+03	2,00E+03	8,00E+03	1,40E+06	1,30E+05	3,00E+05	7,00E+06	2,00E+05	1,50E+04	1,00E+03	3,00E+03
	Removal Efficiency	99,985%	99,992%	99,993%	99,989%	95,484%	99,519%	99,565%	97,166%	99,889%	99,997%	100,000%	99,893%
	Log Reduction units	3,824	4,114	4,176	3,954	1,345	2,317	2,362	1,548	2,954	4,540	5,477	2,970
BOD (mg.L ⁻¹)	Affluent	330,0	308,0		308,0			390,0	444,0			496,0	320,0
	Effluent	14,0	22,8		16,8			14,0	24,0			16,4	21,0
	Removal Efficiency	95,8%	92,6%		94,5%			96,4%	94,6%			96,7%	93,4%
Phosphorus (mg.L ⁻¹)	Affluent	8,8	9,0	5,2	9,9	15,0	9,0	13,3	16,1	11,3			10,4
	Effluent	5,3	5,0	3,2	2,6	3,1	2,6	2,9	3,6	4,3			3,2
	Removal Efficiency	39,8%	44,4%	38,5%	73,7%	79,3%	71,1%	78,2%	77,6%	61,9%			69,2%
Oils and Greases (mg.L ⁻¹)	Affluent	62,0	69,2	60,6	81,6	77,0	64,6	126,8	134,8	99,2	136,2	187,9	67,5
	Effluent	19,6	7,8	32,0	12,8	6,9	11,2	18,8	12,2	10,7	9,7	31,5	13,0
	Removal Efficiency	68,4%	88,7%	47,2%	84,3%	91,0%	82,7%	85,2%	90,9%	89,2%	92,9%	83,2%	80,7%

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-14	Feb-14	Mar-14	Apr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Aug-14	Sep-14	Oct-14	Nov-14	Dec-14
pH	Affluent (WWTP)	7,3	7,6	7,4	7,6	7,3	7,4	7,5	7,2	7,4	7,3	7,1	7,4
	Effluent (WWTP)	8,1	8,1	7,8	7,8	7,6	7,7	8,0	7,6	8,3	8,1	7,8	7,8
	Affluent (Lab.)	7,2	7,2	7,0	7,2	7,0	7,1	7,2	7,2	7,2	7,0	6,7	7,3
	Effluent (Lab.)	7,6	7,5	7,3	7,3	7,2	7,3	7,6	7,4	7,7	7,5	7,2	7,0
Air Temperature (°C)	Affluent collection	28,8	29,6	25,6	31,6	23,0	23,0	22,4	27,8	32,0	35,0	23,0	30,0
	Effluent collection	28,8	29,6	25,6	31,6	23,0	23,0	22,4	27,8	32,0	35,0	23,0	30,0
Sample Temperature (°C)	Affluent	30,1	29,4	27,3	29,7	27,0	24,5	23,7	25,3	28,2	32,0	26,8	30,5
	Effluent	29,5	28,1	25,9	29,2	25,0	22,2	20,7	24,0	27,2	31,6	26,3	27,3
Total Dissolved Solids (TDS) (mg.L ⁻¹)	Affluent	710,0	642,8	452,0	431,7	556,0	506,0	784,7	646,3	778,2	734,0	592,7	679,7
	Effluent	622,7	555,2	392,7	403,7	386,5	423,5	563,0	467,5	559,7	587,0	529,0	371,5
	Removal Efficiency	12,3%	13,6%	13,1%	6,5%	30,5%	16,3%	28,3%	27,7%	28,1%	20,0%	10,7%	45,3%
Sedimentable Solids (S _{ed} S) (mg.L ⁻¹)	Affluent												
	Effluent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Removal Efficiency												

ANEXO E

Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2015

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15
Flow (L.s ⁻¹)	Affluent /Effluent	13,10	13,20	13,00	12,80	11,30	11,70	10,00	12,30	11,30	12,70	13,00	13,20
Detention time (day)													
Organic Load (kg BOD.day ⁻¹)	Affluent	328,23	410,57	465,00	541,90	300,71	390,20	451,01	567,49	464,73	286,39	426,82	319,33
	Effluent												
	Removal	12,90	20,76	21,34	25,21	20,31	125,35	18,84	42,51	36,12	68,03	52,79	49,04
SAR (Ls) (kg BOD.ha ⁻¹ .day ⁻¹)													
<i>E. coli</i> (NMP.mL ⁻¹)	Affluent	1,40E+08		2,30E+08	1,40E+08	2,80E+07	9,00E+03	3,80E+08	2,70E+07	3,00E+07	3,20E+07	4,80E+07	2,20E+07
	Effluent	1,00E+05		9,00E+03	4,00E+03	1,60E+04	4,10E+07	5,00E+03	5,00E+03	2,00E+03	3,50E+06	1,30E+04	6,00E+03
	Removal Efficiency	99,929%		99,996%	99,997%	99,943%	-455456%	99,999%	99,981%	99,993%	89,063%	99,973%	99,973%
	Log Reduction units	3,15		4,407	4,544	3,243	-3,659	4,881	3,732	4,176	0,961	3,567	3,56
BOD (mg.L ⁻¹)	Affluent	290,0	360,0	414,0	490,0	308,0	386,0	522,0	534,0	476,0	261,0	380,0	280,0
	Effluent	11,4	18,2	19,0	22,8	20,8	124,0	21,8	40,0	37,0	62,0	47,0	43,0
	Removal Efficiency	96,1%	94,9%	95,4%	95,3%	93,2%	67,9%	95,8%	92,5%	92,2%	76,2%	87,6%	84,6%
COD (mg.L ⁻¹)	Affluent	1117,0	905,0									738	574,0
	Effluent	198,0	178,0									266	174,0
	Removal Efficiency	82,3%	80,3%									64,0%	69,7%
Chloride (mg.L ⁻¹)	Affluent	62,5	50,0	66,0	72,0	72,0	66,0	72,0	64,0	52,0	60,0	58,0	52,0
	Effluent	50,0	22,0	60,0	56,0	56,0	56,0	58,0	58,0	70,0	62,0	52,0	62,0
	Removal Efficiency	20,0%	56,0%	9,1%	22,2%	22,2%	15,2%	19,4%	9,4%	-34,6%	-3,3%	10,3%	-19,2%
Phosphorus (mg.L ⁻¹)	Affluent	15,7	12,0	10,4	16,6		11,1	16,4	12,2	14,8	12,4	11,0	9,7
	Effluent	4,7	5,0	4,3	3,9		4,6	4,6	4,4	5,0	4,6	5,0	4,5
	Removal Efficiency	70,1%	58,3%	58,7%	76,5%		58,6%	72,0%	63,9%	66,2%	62,9%	54,5%	53,6%

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15
Ammoniacal Nitrogen (NH ₃) (mg.L ⁻¹)	Affluent								98,0	103,0	42,4	45,6	36,5
	Effluent								46,0	32,0	12,7	13,9	14,2
	Removal Efficiency								53,1%	68,9%	70,0%	69,5%	61,1%
Oils and Greases (mg.L ⁻¹)	Affluent	116,6	53,4	114,4	205,0	57,8	85,6	157,1	85,5	104,6	86,8	42,7	64,1
	Effluent	41,5	1,7	12,8	14,6	16,5	12,7	15,8	5,8	4,5	11,4	5,4	8,8
	Removal Efficiency	64,4%	96,8%	88,8%	92,9%	71,5%	85,2%	89,9%	93,2%	95,7%	86,9%	87,4%	86,3%
pH	Affluent (WWTP)	7,5	7,4	7,5	7,3	7,3	7,5	7,2	7,4	7,3	7,3	7,6	7,5
	Effluent (WWTP)	7,6	8,1	7,7	7,7	7,9	7,9	7,8	7,7	7,9	7,8	8,1	7,7
	Affluent (Lab.)	7,6	7,7	7,4	7,3	8,0	7,7	7,7	7,6	7,2	7,5	7,5	7,3
	Effluent (Lab.)	7,6	7,9	7,7	7,6	8,0	8,0	7,7	7,7	7,8	7,9	7,6	7,5
Air Temperature (°C)	Affluent collection	31,0	31,0	25,0	28,0	26,0	26,0	24,0	29,0	34,0	35,0	28,0	33,0
	Effluent collection	31,0	31,0	25,0	28,0	26,0	26,0	24,0	29,0	34,0	35,0	28,0	33,0
Sample Temperature (°C)	Affluent	32,7	32,2	31,1	30,2	28,6	27,4	26,8	27,8	30,9	31,5		30,3
	Effluent	30,8	31,3	29,0	28,1	25,6	24,2	23,6	25,4	28,8	31,8		28,5
Total Dissolved Solids (TDS) (mg.L ⁻¹)	Affluent	991,0	787,0	847,7		706,0	689,0	1131,0			589,0	620,0	616,0
	Effluent	545,0	433,0	544,5		508,2	680,5	775,5			503,7	530,6	480,0
	Removal Efficiency	45,0%	45,0%	35,8%		28,0%	1,2%	31,4%			14,5%	14,4%	22,1%
Sedimentable Solids (S _{ed} S) (mg.L ⁻¹)	Affluent	4,5	4,0	2,5	8,0	1,8	2,0	6,5	1,5	3,8	2,0	1,5	0,7
	Effluent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Removal Efficiency	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Turbidity (NTU)	Affluent	83,0	119,0	147,0	129,0	117,0	123,0	149,0	110,0	130,0	120,0	120,0	110,0
	Effluent	35,0	31,0	40,0	33,0	30,0	53,0	55,0	65,0	30,0	60,0	50,0	45,0
	Removal Efficiency	57,8%	73,9%	72,8%	74,4%	74,4%	56,9%	63,1%	40,9%	76,9%	50,0%	58,3%	59,1%

ANEXO F

Resultados das análises físico-químicos e microbiológicos da ETE 2A no ano de 2016

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

PARAMETERS		Jan-16	Feb-16	Mar-16	Apr-16	May-16	Jun-16	Jul-16	Aug-16	Sep-16	Oct-16	Nov-16	Dec-16
Flow (L.s ⁻¹)	Affluent /Effluent	19,00	19,50	16,70	12,50	10,40	13,50	10,60	8,20	15,10	11,20	14,90	8,60
Detention time (day)													
Organic Load (kg BOD.day ⁻¹)	Affluent	613,96	32,01	233,75	471,96	290,23	383,75	170,35	304,65	666,67	352,24	599,91	256,35
	Effluent												
	Removal	73,87	58,97	44,73	35,64	47,62	47,82	21,98	19,13	43,05	51,29	20,60	30,46
SAR (Ls) (kg BOD.ha ⁻¹ .day ⁻¹)													
<i>E. coli</i> (NMP.mL ⁻¹)	Affluent	2,80E+08	3,50E+06	3,90E+07	2,20E+08	9,20E+07	3,90E+09	7,60E+08	1,09E+07	9,90E+06	8,50E+06	1,12E+07	3,50E+07
	Effluent	1,90E+04	1,40E+04	2,80E+04	1,00E+05	2,80E+07	4,10E+04	2,00E+03	2,10E+04	1,00E+04	6,60E+04	3,00E+03	4,30E+03
	Removal Efficiency	99,993%	99,600%	99,928%	99,955%	69,565%	99,999%	100,000%	99,807%	99,899%	99,224%	99,973%	99,988%
	Log Reduction units	4,17	2,398	3,144	3,342	0,517	4,978	5,580	2,715	2,996	2,110	3,572	3,91
BOD (mg.L ⁻¹)	Affluent	374,0	19,0	162,0	437,0	323,0	329,0	186,0	430,0	511,0	364,0	466,0	345,0
	Effluent	45,0	35,0	31,0	33,0	53,0	41,0	24,0	27,0	33,0	53,0	16,0	41,0
	Removal Efficiency	88,0%	-84,2%	80,9%	92,4%	83,6%	87,5%	87,1%	93,7%	93,5%	85,4%	96,6%	88,1%
COD (mg.L ⁻¹)	Affluent	644,0	63,0		1130,0							775,0	693,0
	Effluent	141,0	77,0	101,0	230,0			138,0				274,0	199,0
	Removal Efficiency	78,1%	-22,2%		79,6%							64,6%	71,3%
Chloride (mg.L ⁻¹)	Affluent	50,0	22,0	30,0	52,0	52,0	50,0	84,0	76,0	62,0	74,0	68,0	54,0
	Effluent	50,0	20,0	36,0	46,0	50,0	50,0	64,0	80,0	68,0	70,0	72,0	58,0
	Removal Efficiency	0,0%	9,1%	-20,0%	11,5%	3,8%	0,0%	23,8%	-5,3%	-9,7%	5,4%	-5,9%	-7,4%
Phosphorus (mg.L ⁻¹)	Affluent	10,0	1,3	3,1	30,8	48,5	32,8	26,8	5,2	10,0	9,7	3,0	11,3
	Effluent	4,8	1,9	3,3	8,7	17,8	12,0	20,4	3,0	5,3	3,0	5,0	3,0
	Removal Efficiency	52,0%	-46,2%	-6,5%	71,8%	63,3%	63,4%	23,9%	42,3%	47,0%	69,1%	-66,7%	73,5%

TECHNOLOGY COMBINATION 2A: Treatment Preliminary + Facultative Pond + Maturation Pond - Project Flow: 20 L.s⁻¹

Ammoniacal Nitrogen (NH ₃) (mg.L ⁻¹)	Affluent	67,0					62,0	138,0	87,0	120,0	105,0	45,0	74,0
	Effluent	34,0					36,0	54,0	38,0	13,0	27,0	21,2	21,0
	Removal Efficiency						41,9%	60,9%	56,3%	89,2%	74,3%	52,9%	71,6%
Oils and Greases (mg.L ⁻¹)	Affluent	121,3	12,5	12,8	96,7	60,0							
	Effluent	89,2	6,9	8,0	7,3	4,9							
	Removal Efficiency	26,5%	44,8%	37,5%	92,5%	91,8%							
pH	Affluent (WWTP)	7,4	7,0	7,2	7,4	7,5	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5	7,3	7,3
	Effluent (WWTP)	8,2	7,7	8,0	8,2	8,2	7,9	7,0	7,9	9,0	8,3	7,7	7,8
	Affluent (Lab.)	7,5	7,6	7,2	7,5	7,3	6,7	7,2	7,2	7,3	7,5	7,5	7,3
	Effluent (Lab.)	7,7	8,1	7,4	6,9	7,6	7,3	7,5	7,6	8,4	7,8	7,6	7,7
Air Temperature (°C)	Affluent collection	31,0	30,0	29,0	34,0	28,5	21,0	20,0	29,0	32,0	25,0	25,0	32,0
	Effluent collection	31,0	30,0	29,0	34,0	28,5	21,0	20,0	29,0	32,0	25,0	25,0	32,0
Sample Temperature (°C)	Affluent	31,6	31,0	30,7	33,3	29,8	24,8	24,6	27,8	28,8	27,6	28,7	32,6
	Effluent	31,4	30,2	30,1	32,1	25,0	21,6	20,7	25,1	30,9	25,6	25,5	31,9
Total Dissolved Solids (TDS) (mg.L ⁻¹)	Affluent	509,0	333,0	390,0	502,0	866,0	456,0	546,0	708,0	629,0	669,0	556,0	459,0
	Effluent	415,0	307,0	345,0	343,0	559,0	404,0	522,0	591,0	961,0	525,0	591,0	510,0
	Removal Efficiency	18,5%	7,8%	11,5%	31,7%	35,5%	11,4%	4,4%	16,5%	-52,8%	21,5%	-6,3%	-11,1%
Sedimentable Solids (S _{ed} S) (mg.L ⁻¹)	Affluent	2,1	0,3	1,3	4,5	0,3	4,0	1,5	1,3	2,0	2,5	6,0	1,5
	Effluent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Removal Efficiency	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Turbidity (NTU)	Affluent	130,0	16,0	90,0	140,0	128,0	110,0	110,0	139,0	165,0	150,0	136,0	122,0
	Effluent	60,0	17,0	24,0	33,0	36,0	55,0	30,0	36,0	44,5	45,0	58,1	46,0
	Removal Efficiency	53,8%	-6,3%	73,3%	76,4%	71,9%	50,0%	72,7%	74,1%	73,0%	70,0%	57,3%	62,3%

ANEXO G

Volumes estimados de água de reúso para limpeza de vias públicas

Município	Extensão da rede de água por ligação (m/lig.) ¹	Número de domicílios em áreas urbanas com rede geral de água e pavimentação asfáltica ²	Extensão de vias públicas para limpeza com água de reúso (km)	Volume de água de reúso necessário (m³/mês)
Água Clara	13,68	990	2,03	40,63
Alcinópolis	21,23	304	0,97	19,36
Amambaí	14,49	3.512	7,63	152,67
Anastácio	15,31	2.036	4,68	93,51
Anaurilândia	13,48	1.278	2,58	51,68
Angélica	10,91	1.135	1,86	37,15
Antônio João	13,74	892	1,84	36,77
Aparecida do Taboado	13,77	4.026	8,32	166,31
Aquidauana	15,94	5.483	13,11	262,20
Aral Moreira	17,09	541	1,39	27,74
Bandeirantes	18,71	495	1,39	27,78
Bataguassu	9,84	3.930	5,80	116,01
Batayporã	13,31	1.265	2,53	50,51
Bela Vista	26,70	1.627	6,52	130,32
Bodoquena	16,67	532	1,33	26,61
Bonito	14,2	1.427	3,04	60,79
Brasilândia	23,94	1.668	5,99	119,80
Caarapó	17,01	1.715	4,38	87,52
Camapuã	12,82	1.712	3,29	65,84
Campo Grande	11,36	167.697	285,76	5715,11
Caracol	28,05	256	1,08	21,54
Chapadão do Sul	16,48	4.465	11,04	220,75
Corguinho	16,77	169	0,43	8,50
Coronel Sapucaia	14,84	900	2,00	40,07
Corumbá	12,26	16.291	29,96	599,18
Costa Rica	16,53	5.145	12,76	255,14
Coxim	15,75	4.724	11,16	223,21
Deodápolis	14,52	914	1,99	39,81
Dois Irmãos do Buriti	15,82	662	1,57	31,42
Douradina	18,22	576	1,57	31,48
Dourados	15,64	35.336	82,90	1657,97
Eldorado	15,79	1.687	4,00	79,91
Fátima do Sul	13,49	4.235	8,57	171,39
Figueirão	17,98	267	0,72	14,40

Município	Extensão da rede de água por ligação (m/lig.)¹	Número de domicílios em áreas urbanas com rede geral de água e pavimentação asfáltica²	Extensão de vias públicas para limpeza com água de reúso (km)	Volume de água de reúso necessário (m³/mês)
Glória de Dourados	16,30	1.867	4,56	91,30
Guia Lopes Da Laguna	17,62	364	0,96	19,24
Iguatemi	16,41	2.150	5,29	105,84
Inocência	14,81	1.354	3,01	60,16
Itaporã	12,1	2.952	5,36	107,16
Itaquiraí	13,95	1.814	3,80	75,92
Ivinhema	16,34	2.383	5,84	116,81
Japorã	20,92	318	1,00	19,96
Jaraguari	9,28	167	0,23	4,65
Jardim	17,87	2.916	7,82	156,33
Jateí	18,22	523	1,43	28,59
Juti	24,28	213	0,78	15,51
Ladário	12,85	1.507	2,90	58,09
Laguna Carapã	12,5	637	1,19	23,89
Maracaju	21,46	7.903	25,44	508,80
Miranda	12,28	2.513	4,63	92,58
Mundo Novo	15,16	3.865	8,79	175,78
Naviraí	14,57	9.171	20,04	400,86
Nioaque	20,42	581	1,78	35,59
Nova Alvorada do Sul	13,37	1.147	2,30	46,01
Nova Andradina	15,02	17	0,04	0,77
Novo Horizonte do Sul	12	535	0,96	19,26
Paranaíba	11,91	7.003	12,51	250,22
Paranhos	16,06	486	1,17	23,42
Pedro Gomes	14,52	927	2,02	40,38
Ponta Porã	15,65	8.633	20,27	405,32
Porto Murtinho	20,78	751	2,34	46,82
Ribas do Rio Pardo	12,33	1.596	2,95	59,04
Rio Brilhante	10,82	5.309	8,62	172,33
Rio Negro	14,1	409	0,87	17,30
Rio Verde De Mato Grosso	14,6	3.377	7,40	147,91
Santa Rita do Pardo	16,98	741	1,89	37,75
São Gabriel do Oeste	14,79	3.270	7,25	145,09
Sete Quedas	19,01	1.224	3,49	69,80
Selvíria	37,47	698	3,92	78,46

Município	Extensão da rede de água por ligação (m/lig.)¹	Número de domicílios em áreas urbanas com rede geral de água e pavimentação asfáltica²	Extensão de vias públicas para limpeza com água de reúso (km)	Volume de água de reúso necessário (m³/mês)
Sidrolândia	12,43	4.270	7,96	159,23
Sonora	13,31	3.421	6,83	136,60
Tacuru	17,33	568	1,48	29,53
Taquarussu	17,29	632	1,64	32,78
Terenos	29,29	2.099	9,22	184,44
Três Lagoas	15,47	13.814	32,06	641,11
Vicentina	18,46	916	2,54	50,73

Fonte: ¹SNIS (2015); ²IBGE (2010).

ANEXO H

Estimativa do potencial de demanda de água de reúso na construção civil		
Município	Volume produzido por município de água total (m³/ano)¹	Demanda de água de reúso estimada para a construção civil (m³/ano)²
Água Clara	821.340	2.492
Alcinópolis	195.730	594
Amambaí	1.701.700	5.164
Anastácio	1.319.440	4.004
Anaurilândia	391.830	1.189
Angélica	632.690	1.920
Antônio João	471.440	1.431
Aparecida Do Taboado	1.503.680	4.563
Aquidauana	2.656.570	8.061
Aral Moreira	419.090	1.272
Bandeirantes	412.100	1.251
Bataguassu	1.219.590	3.701
Batayporã	639.820	1.942
Bela Vista	1.150.000	3.490
Bodoquena	534.440	1.622
Bonito	1.628.470	4.942
Brasilândia	616.900	1.872
Caarapó	1.568.980	4.761
Camapuã	838.360	2.544
Campo Grande	82.927.630	251.644
Caracol	261.440	793
Chapadão Do Sul	1.966.370	5.967
Corguinho	290.890	883
Coronel Sapucaia	399.750	1.213
Corumbá	11.114.390	33.727
Costa Rica	4.560.200	13.838
Coxim	2.404.030	7.295
Deodápolis	835.770	2.536
Dois Irmãos Do Buriti	374.320	1.136
Douradina	250.310	760
Dourados	19.532.120	59.270
Eldorado	707.050	2.146
Fátima Do Sul	1.821.070	5.526
Figueirão	146.650	445
Glória De Dourados	804.430	2.441
Guia Lopes Da Laguna	559.400	1.697

Município	Volume produzido por município de água total (m³/ano)¹	Demanda de água de reúso estimada para a construção civil (m³/ano)²
Iguatemi	763.000	2.315
Inocência	465.310	1.412
Itaporã	1.006.140	3.053
Itaquiraí	583.240	1.770
Ivinhema	1.414.670	4.293
Japorã	98.220	298
Jaraguari	120.000	364
Jardim	1.510.090	4.582
Jateí	178.000	540
Juti	241.460	733
Ladário	1.568.560	4.760
Laguna Carapã	221.810	673
Maracaju	3.359.890	10.196
Miranda	998.380	3.030
Mundo Novo	1.071.730	3.252
Naviraí	3.287.850	9.977
Nioaque	534.720	1.623
Nova Alvorada Do Sul	1.057.960	3.210
Nova Andradina	2.698.410	8.188
Novo Horizonte Do Sul	182.910	555
Paraíso Das Águas	250.000	759
Paranaíba	2.178.130	6.610
Paranhos	306.560	930
Pedro Gomes	563.750	1.711
Ponta Porã	5.873.010	17.822
Porto Murtinho	570.180	1.730
Ribas Do Rio Pardo	1.154.800	3.504
Rio Brilhante	2.805.140	8.512
Rio Negro	337.760	1.025
Rio Verde De Mato Grosso	1.101.260	3.342
São Gabriel Do Oeste	1.922.000	5.832
Santa Rita Do Pardo	254.170	771
Sete Quedas	524.270	1.591
Selvíria	360.560	1.094
Sidrolândia	2.448.120	7.429
Sonora	870.900	2.643
Tacuru	212.680	645
Taquarussu	202.600	615

Município	Volume produzido por município de água total (m³/ano)¹	Demanda de água de reúso estimada para a construção civil (m³/ano)²
Terenos	864.120	2.622
Três Lagoas	8.443.280	25.621
Vicentina	362.540	1.100

FONTE: ¹SNIS; ²Estimado com base em FAO (2010), EUROSTAT (2010) e Santos *et al.* (2016).

ANEXO I

Demanda de água de reúso para desobstrução da rede

Município	Índice de coleta de esgoto (%)	Extensão da rede de esgoto (km) ¹	Extensão de rede para desobstrução (km) ²	Volume de água para desobstrução (m³/4meses) ²
Amambaí	25,10	43,67	1,31	3,14
Anastácio	12,79	23,75	0,71	1,71
Angélica	9,00	15,10	0,45	1,08
Antônio João	3,57	7,07	0,21	0,50
Aparecida do taboado	12,00	13,07	0,39	0,94
Aquidauana	13,98	44,64	1,33	3,21
Bataguassu	4,32	12,26	0,36	0,88
Bela Vista	26,13	48,00	1,44	3,45
Bodoquena	68,18	16,29	0,48	1,17
Bonito	86,18	58,06	1,74	4,18
Brasilândia		32,50	0,97	2,34
Caarapó	19,07	26,29	0,78	1,89
Camapuã	53,67	23,96	0,71	1,72
Campo Grande	55,63	1.848,00	55,44	133,05
Caracol	9,83	4,93	0,14	0,35
Chapadão do sul	25,02	49,03	1,47	3,53
Coronel sapucaia	25,20	23,42	0,70	1,68
Corumbá	44,80	203,26	6,09	14,63
Costa Rica	61,17	41,39	1,24	2,98
Coxim	6,45	19,59	0,58	1,41
Dourados	50,45	684,44	20,53	49,27
Eldorado	11,79	27,66	0,82	1,99
Fátima do sul	10,35	18,02	0,54	1,29
Iguatemi	12,32	23,55	0,70	1,69
Itaporã	7,54	15,77	0,47	1,13
Jardim	12,98	18,41	0,55	1,32
Jateí	42,39	8,02	0,24	0,57
Juti	21,73	13,45	0,40	0,96
Ladário	13,75	23,72	0,71	1,70
Maracaju	15,94	13,68	0,41	0,98
Miranda	35,96	13,63	0,40	0,98
Naviraí	15,08	53,70	1,61	3,86
Nioaque	29,95	13,69	0,41	0,98
Nova andradina	8,95	32,99	0,98	2,37
Paranaíba	53,75	124,67	3,74	8,97
Paranhos	54,89	33,61	1,00	2,41
Pedro gomes	7,77	5,61	0,16	0,40
Ponta porã	27,77	214,53	6,43	15,44

Município	Índice de coleta de esgoto (%)	Extensão da rede de esgoto (km)¹	Extensão de rede para desobstrução (km)²	Volume de água para desobstrução (m³/4meses)²
Porto murtinho	71,24	45,34	1,36	3,26
Ribas do rio pardo	17,67	13,48	0,40	0,97
Rio brilhante	6,12	11,55	0,34	0,83
Rio verde de mato grosso	6,42	12,49	0,37	0,89
São Gabriel do Oeste	64,73	85,50	2,56	6,15
Santa rita do pardo	11,51	8,02	0,24	0,57
Tacuru	50,01	14,26	0,42	1,02
Três lagoas	38,20	141,93	4,25	10,21

Fonte: ¹SNIS 2015; ²Baseado em EPA 1999.

ANEXO J

Estimativas das receitas arrecadadas com e sem a prática do reúso nos municípios selecionados do Estado de Mato Grosso do Sul

Município	Investimento para universalizar o serviço de esgoto em 2035 (R\$) ¹	Tarifa média de esgoto (R\$/m ³) ²	Volume de esgoto faturado (1000 m ³ /ano) ²	Receita de esgoto pelas tarifas (R\$/ano) ³	Receita mínima de água de reúso (R\$/ano) ³	Receita máxima de água de reúso (R\$/ano) ³
Amambaí	30592000	2,16	486,84	1051574	95710	324140
Anastácio	27952481	2,07	182,88	378561	73760	249800
Angélica	13679434	1,91	76,14	145427	35231	119318
Antônio João	11806091	2,06	16,56	34113	26414	89457
Aparecida Do Taboado	33288636	2,66	183,09	487019	85130	288308
Aquidauana	43960948	2,37	442,41	1048511	149838	507453
Bataguassu	30043023	2,01	53,06	106650	68707	232689
Bela Vista	20314904	3,27	293,22	958829	463306	15690633
Bodoquena	3811839	1,82	314,51	572408	29675	100502
Bonito	11405222	2,13	1145,37	2439638	90061	305008
Caarapó	27454806	2,12	298,31	632417	87283	295598
Camapuã	5010675	1,97	530,21	1044513	46984	159122
Campo Grande	504449608	3,57	35705,1	127467207	107620	364476
Caracol	6327140	2,34	32,42	75862	14669	49680
Chapadão Do Sul	31810779	2,23	552,68	1232476	111394	377256
Coronel Sapucaia	11822252	1,68	117,42	197265	22563	76415
Corumbá	76710237	3,02	2714,72	8198454	617930	2092724
Costa Rica	21385673	0,22	2300	506000	65175	220727
Coxim	37739801	2,35	201,49	473501	135334	458333
Dourados	203784337	2,36	6876,93	16229554	1096929	3714933
Eldorado	11973926	1,96	101,81	199547	40067	135694
Fátima Do Sul	20983097	1,47	147,54	216883	102559	347334
Iguatemi	17962413	2,54	103,84	263753	43588	147620
Itaporã	23757571	1,93	86,48	166906	56890	192668
Jardim	29800819	2,23	256,17	571259	85302	288891
Jateí	2448454	2,29	95,04	217641	10239	34678
Juti	6736190	1,25	73,45	91812	13472	45626
Ladário	31403777	2,6	144,71	376246	86729	293724
Maracaju	58026374	2,18	457,17	996630	192683	652554
Miranda	24219010	2,13	408,84	870829	56203	190342
Naviraí	71610774	2,07	601,25	1244587	186818	632692
Nioaque	8930405	1,92	177,96	341683	29852	101098
Nova Andradina	68135823	2,48	333,64	827427	147414	499243
Paranaíba	26515264	2,05	1205,97	2472238	123516	418307
Paranhos	5375477	1,82	206,55	375921	17177	58172

Município	Investimento para universalizar o serviço de esgoto em 2035 (R\$)¹	Tarifa média de esgoto (R\$/m³)²	Volume de esgoto faturado (1000 m³/ano)²	Receita de esgoto pelas tarifas (R\$/ano)³	Receita mínima de água de reúso (R\$/ano)³	Receita máxima de água de reúso (R\$/ano)³
Pedro Gomes	6497204	2,19	47,92	104944	31521	106752
Ponta Porã	84745494	2,29	1440,83	3299500	328154	1111351
Porto Murtinho	7401874	1,88	496,85	934078	32001	108377
Ribas Do Rio Pardo	27855185	2,08	211,87	440689	64143	217232
Rio Brilhante	52622910	2,56	170,22	435763	156325	529421
Rio Verde De Mato Grosso	22318485	2,28	103,91	236914	62818	212744
São Gabriel Do Oeste	23962749	1,21	890	1076900	253688	859158
Santa Rita Do Pardo	6273880	2,23	26,56	59228	14565	49327
Tacuru	4437616	1,99	152,28	303037	12152	41158
Três Lagoas	128669173	1,94	3156,09	6122814	472766	1601102

Fonte: ¹ANA (2017); ²SNIS (2015); ³ESTIMADO.

ANEXO L

Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) da utilização de efluentes tratados de ETEs

(Estudo que será incluso em artigos)

Nessa avaliação, o volume de água ingerida por contato direto da utilização de águas residuárias foi de 1 a 5 mL, assumiu-se distribuição uniforme, conforme descrito em WHO (2006).

A concentração total de *E. coli* não foi utilizada. Assumiu-se que apenas 8% de *E. coli* é patogênica. O modelo de resposta-dose de Poisson-Beta para *E. coli* O157:H7 foi utilizado para a avaliação do risco, onde N_{50} foi de $2,11 \times 10^6$ e α foi de 0,155.

Alguns pontos a observar: para todos os diferentes tipos de cenários de exposição, o contato direto, tanto durante a coleta, transporte ou aplicação de efluentes, resultará em riscos semelhantes. Isso ocorre porque a mesma via de exposição ocorre e a concentração de agentes patogênicos (*E. coli*) é constante.

No cenário de exposição, aplicação de efluente, foi adicionada a inalação de aerossóis por crianças, porque existe a possibilidade de que, durante a limpeza das ruas, crianças possam estar nas proximidades, expondo-se assim, aos agentes patogênicos.

Além disso, foi adicionada a possibilidade de ingestão direta de gotas de água durante as diferentes rotas de exposição, bem como a ingestão de água através de gotículas nas mãos ou as mãos estarem molhadas de água.

As Tabela a seguir apresentam os riscos de infecção nos cenários de reúso para desobstrução/desentupimento e testes de redes coletoras de esgoto e para limpeza de vias públicas, respectivamente.

Tabela. Riscos de infecção no cenário de reúso: desobstrução/desentupimento e testes de redes coletoras de esgoto.

Cenário de Reúso: Desobstrução/Desentupimento e Testes de rede de esgoto						
		LF + LM		UASB	UASB +FBP + DS	UASB + FQ + DS
Cenário de Exposição	Via de Exposição	Grupo de Exposição	Risco de infecção (exposição única) / Risco médio (90% CI)			
Carregamento do caminhão na ETE	Contato direto	Trabalhadores	0.06 (±0.0026)	0.75 (±0.0011)	0.16 (±0.0026)	0.33(±0.0025)
	Inalação de aerossóis		0.043(±0.004)	0.13(±0.0028)	0.26(±0.0043)	0.57(±0.0037)
	Ingestão de gotículas		0.45(±0.0046)	0.56(±0.0025)	0.64(±0.0039)	0.79(±0.0024)
Transporte do efluente no caminhão (exposição acidental)	Mão à boca	Trabalhadores	0.33(±0.0046)	0.46(±0.0028)	0.56(±0.0043)	0.75(±0.0028)
	Contato direto		0.16 (±0.0026)	0.75 (±0.0011)	0.16 (±0.0026)	0.33(±0.0025)
	Ingestão de gotículas		0.64(±0.0039)	0.56(±0.0025)	0.64(±0.0039)	0.79(±0.0024)
Aplicação do efluente	Mão à boca	Trabalhadores	0.56(±0.0043)	0.46(±0.0028)	0.56(±0.0043)	0.75(±0.0028)
	Contato direto		0.59 (±0.0019)	0.62 (±0.0018)	0.57 (±0.0022)	0.57 (±0.0015)
	Ingestão de gotículas		0.27(±0.0028)	0.32(±0.0031)	0.24(±0.0031)	0.26(±0.0026)
	Mão à boca	Adultos	0.15(±0.0025)	0.19(±0.0029)	0.12(±0.0029)	0.13(±0.0024)
	Inalação de aerossóis		0.0079(±0.0008)	0.012(±0.0018)	0.0056(±0.0015)	0.0058(±0.0011)
		Crianças	0.0052(±0.0006)	0.008(±0.0016)	0.0033(±0.0014)	0.0037(±0.0009)

		LF + LM		UASB	UASB +FBP + DS	UASB + FQ + DS
Cenário de Exposição	Via de Exposição	Grupo de Exposição	Risco de infecção (exposição anual/múltipla) / Risco médio (90% CI)			
Carregamento do caminhão na ETE	Contato direto	Trabalhadores	0.81 (±0.0055)	0.99 (±0.0002)	0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0016)
	Inalação de aerossóis		0.68(±0.0069)	0.33(±0.0045)	0.99(±0.0057)	1.0(±0.0023)
	Ingestão de gotículas		1.0(±0.0039)	0.92(±0.002)	1.0(±0.0016)	1.0(±0.0004)
Transporte do efluente no caminhão (exposição acidental)	Mão à boca	Trabalhadores	0.99(±0.0049)	0.84(±0.0028)	1.0(±0.0027)	1.0(±0.0007)
	Contato direto		0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0002)	0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0016)
	Ingestão de gotículas		1.0(±0.0016)	0.92(±0.002)	1.0(±0.0016)	1.0(±0.0004)
Aplicação do efluente	Mão à boca	Trabalhadores	1.0(±0.0027)	0.84(±0.0028)	1.0(±0.0027)	1.0(±0.0007)
	Contato direto		0.93 (±0.0016)	0.94 (±0.0007)	0.92 (±0.0018)	0.92(±0.0007)
	Ingestão de gotículas		0.63(±0.0043)	0.69(±0.0041)	0.56(±0.0046)	0.59(±0.0039)
	Mão à boca	Adultos	0.39(±0.0044)	0.47(±0.0046)	0.32(±0.0047)	0.35(±0.0040)
	Inalação de aerossóis		0.02(±0.0019)	0.034(±0.003)	0.015(±0.0029)	0.017(±0.0022)
		Crianças	0.0155(±0.0016)	0.02(±0.0031)	0.0098(±0.0026)	0.011(±0.0019)

Tabela. Riscos de infecção no cenário de reúso: limpeza de vias públicas.

Cenário de Reúso: Limpeza de Vias Públicas						
		LF + LM		UASB	UASB +FBP + DS	UASB + FQ + DS

Cenário de Exposição	Via de Exposição	Grupo de Exposição	Risco de infecção (exposição única) / Risco médio (90% CI).			
Carregamento do caminhão na ETE	Contato direto	Trabalhadores	0.06 (±0.0026)	0.42 (±0.0022)	0.16 (±0.0026)	0.33(±0.0025)
	Inalação de aerossóis		0.043(±0.004)	0.68(±0.0026)	0.26(±0.0043)	0.57(±0.0037)
	Ingestão de gotículas		0.45(±0.0046)	0.85(±0.0014)	0.64(±0.0039)	0.79(±0.0024)
	Mão à boca		0.33(±0.0046)	0.82(±0.0016)	0.56(±0.0043)	0.75(±0.0028)
Transporte do efluente no caminhão (exposição acidental)	Contato direto	Trabalhadores	0.16 (±0.0026)	0.42 (±0.0022)	0.16 (±0.0026)	0.33(±0.0025)
	Ingestão de gotículas		0.64(±0.0039)	0.85(±0.0014)	0.64(±0.0039)	0.79(±0.0024)
	Mão à boca		0.56(±0.0043)	0.82(±0.0016)	0.56(±0.0043)	0.75(±0.0028)
Aplicação do efluente	Contato direto	Trabalhadores	0.16 (±0.0026)	0.42 (±0.0022)	0.16 (±0.0026)	0.33(±0.0025)
	Inalação de aerossóis	Adultos	0.26(±0.0043)	0.68(±0.0026)	0.26(±0.0043)	0.57(±0.0037)
		Crianças	0.029(±0.0039)	0.66(±0.00027)	0.21(±0.0042)	0.029(±0.0039)

			LF + LM	UASB	UASB +FBP + DS	UASB + FQ + DS
Cenário de Exposição	Via de Exposição	Grupo de Exposição	Risco de infecção (exposição anual/múltipla) / Risco médio (90% CI).			
Carregamento do caminhão na ETE	Contato direto	Trabalhadores	0.81 (±0.0055)	0.99 (±5.42E-005)	0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0016)
	Inalação de aerossóis		0.68(±0.0069)	1.0(±3.05E-006)	0.99(±0.0057)	1.0(±0.0023)
	Ingestão de gotículas		1.0(±0.0039)	1.0(±6.07E-008)	1.0(±0.0016)	1.0(±0.0004)
	Mão à boca		0.99(±0.0049)	1.0(±2.17E-007)	1.0(±0.0027)	1.0(±0.0007)
Transporte do efluente no caminhão (exposição acidental)	Contato direto	Trabalhadores	0.99 (±0.0040)	0.99 (±5.42E-005)	0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0016)
	Ingestão de gotículas		1.0(±0.0016)	1.0(±6.07E-008)	1.0(±0.0016)	1.0(±0.0004)
	Mão à boca		1.0(±0.0027)	1.0(±2.17E-007)	1.0(±0.0027)	1.0(±0.0007)
Aplicação do efluente	Contato direto	Trabalhadores	0.99 (±0.0040)	0.99 (±5.42E-005)	0.99 (±0.0040)	0.99 (±0.0016)
	Inalação de aerossóis	Adultos	0.99(±0.0057)	1.0(±3.05E-006)	0.99(±0.0057)	1.0(±0.0023)
		Crianças	0.54(±0.0069)	1.0(±3.83E-006)	0.99(±0.0059)	0.54(±0.0069)

ANEXO K

Tecnologia de Tratamento 1



Imagem - ETE 1A Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa, vazão de projeto = 90 L.s^{-1} .



Imagem - ETE 1B- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa, vazão de projeto = 5 L.s^{-1} .

ANEXO M

Tecnologia de Tratamento 2



Imagem - ETE 2A Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, vazão de projeto = 20 L.s^{-1} .



Imagem - ETE 2B Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, vazão de projeto = 6 L.s^{-1} .



Imagem - ETE 2C Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, vazão de projeto = 36 L.s^{-1} .



Imagem - ETE 2D Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, Vazão de projeto = 20 L.s^{-1} .

ANEXO N

Tecnologia de Tratamento 4



Imagem - ETE 4A Reator UASB + BAS, vazão de projeto = 10 L.s^{-1} .

ANEXO O

Tecnologia de Tratamento 5



Imagem - ETE 5A Reator UASB + FBP +DS, Vazão de projeto = 80 L.s^{-1} .