

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
EM ALGUNS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE**

NATAL/RN

2019

PEDRO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
EM ALGUNS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como pré-requisito final para a obtenção do título bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. M.Sc. Úrsula Thaís de Paula Medeiros.

NATAL/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Oliveira, Pedro Henrique Medeiros de.

Avaliação da eficiência de estações de tratamento de esgotos em alguns municípios do Rio Grande do Norte. / Pedro Henrique Medeiros de Oliveira. – Natal, 2019.

56f.

Orientador: Prof^a. Me. Úrsula Thaís de Paula Medeiros.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Saneamento – Monografia. 3. Estação de tratamento de esgoto – Monografia. 4. Lagoas de estabilização – Monografia. 5. Rio Grande do Norte – Monografia. 6. CONAMA – Monografia. I. Medeiros, Úrsula Thaís de Paula. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

PEDRO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
EM ALGUNS MUNICÍPIOS NO RIO GRANDE DO NORTE**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como pré-requisito final para a obtenção do título bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. M.Sc. Úrsula Thaís de Paula Medeiros

ORIENTADORA

Prof. M.Sc. Aldo da Fonseca Tinoco Filho

BANCA INTERNA

Esp. Paulo Ricardo Melchert de Carvalho e Silva

BANCA EXTERNA

RESUMO

No Estado do Rio Grande do Norte a situação do saneamento básico é bastante precária. A grande maioria dos seus municípios apresenta índices de coleta e tratamento de esgotos muito abaixo do ideal. Para minimizar os impactos ambientais e sociais causados pelo lançamento de efluentes é necessário que as estações de tratamento de esgotos sejam monitoradas e trabalhem de forma eficiente. Com esse objetivo, esse trabalho analisou os resultados de laudos de controle realizados pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), para cinco estações de tratamento de esgoto do tipo lagoa de estabilização, localizadas nos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó e Santo Antônio. Esses laudos de monitoramento foram realizados por coletas semestrais e fornecem informações sobre as concentrações, antes e depois do tratamento, de DBO, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos suspensos, pH, temperatura, Sulfeto, dentre outros. Nesta análise, foram criados gráficos que mostram os valores das concentrações, antes e após o tratamento, em ordem cronológica, para cada parâmetro, no período de tempo determinado pela quantidade de informações disponíveis nos laudos. Os resultados obtidos foram comparados com as determinações estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A partir das análises dos diagnósticos de eficiências e diante dos resultados obtidos foi possível perceber que todas as ETEs atendem as condições de lançamento para o parâmetro BDO. Apenas as ETEs de Santo Antônio e Tibau do Sul (Pipa) alcançaram concentrações médias de nitrogênio dentro do limite sugerido pelo CONAMA. As ETEs obtiveram resultados de eficiência de remoção de fosforo bastante discretos. As ETEs de Pipa e Caiçara do Rio do Vento não apresentaram eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal condizentes com os valores encontrados na literatura. Com exceção da ETE de Caiçara do Rio do Vento, todas as demais estações de tratamento analisadas alcançaram concentrações finais de sólidos sedimentáveis dentro do limite estabelecido pelo CONAMA.

Palavras-chave: Saneamento. Estação de tratamento de Esgoto. Lagoas de Estabilização. Rio Grande do Norte, CONAMA.

ABSTRACT

In the State of Rio Grande do Norte, the basic sanitation situation is very precarious. The great majority of its municipalities present rates of collection and treatment of sewage far below the ideal. In order to minimize the environmental and social impacts caused by the discharge of effluents it is necessary that the Sewage Treatment Stations (STS) are monitored and work efficiently. With this objective, this work analyzed the results of control reports performed by the Rio Grande do Norte Water and Sewage Company (CAERN) for five sewage treatment stations of the stabilization pond type, located in the municipalities of Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó and Santo Antônio. These monitoring reports were carried out by semester collections and provide information on concentrations before and after treatment of BOD, COD, Total Phosphorus, Ammoniacal Nitrogen, Sedimentable Solids, Suspended Solids, pH, Temperature, Sulphide, among others. In this analysis, graphs were created that show the concentration values, before and after the treatment, in chronological order, for each parameter, in the period of time determined by the amount of information available in the reports. The results obtained were compared with the determinations established by the Brazilian National Environment Council (CONAMA). From the analysis of the efficiency diagnoses and the results obtained, it was possible to perceive that all the STS meet the launch conditions for the BDO system. Only the STS of Santo Antônio and Tibau do Sul (Pipa) reached average concentrations of nitrogen within the limit suggested by CONAMA. All of the STS obtained fairly discrete phosphorus removal efficiency results. The STS of Pipa and Caiçara do Rio do Vento did not present ammoniacal nitrogen removal efficiencies consistent with the values found in the literature. With the exception of the STS of Caiçara do Rio do Vento, all other treatment plants analyzed reached final concentrations of sedimentable solids within the limit established by CONAMA.

Key words: Sanitation. Sewage Treatment Plant. Stabilization Pofd. Rio Grande do Norte, CONAMA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea da zona urbana do município de Caiçara do Rio do Vento, com destaque para o sistema de lagoas de estabilização	17
Figura 2 - Vista aérea da zona urbana do município de Santana do Seridó, nas proximidades da Estação do Cemitério	18
Figura 3 - Vista aérea do ponto de lançamento dos esgotos tratados no Rio Curimataú, nas proximidades da Estação de Tratamento	20
Figura 4 - Representação espacial do índice médio de atendimento urbano por redes coletoras de esgoto por região	25
Figura 5 - Representação espacial do índice de atendimento urbano por redes coletoras de esgoto por município	26
Figura 6 - Índice de tratamento de esgoto no Rio Grande do Norte	28
Figura 7 - Representação do processo de oxidação de matéria orgânica em lagoa facultativa	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas monitorados e seus respectivos, órgãos gerenciadores, zonas e coordenadas geográficas	16
Quadro 2 - Características Físicas da ETE de Caiçara do Rio do Vento	17
Quadro 3 - Características Físicas da ETE de Santana do Seridó.....	19
Quadro 4 - Características Físicas da ETE de Pedro Velho.....	20
Quadro 5 - Características Físicas da ETE de Pipa	21
Quadro 6 - Características Físicas da ETE de Santo Antônio.....	22
Quadro 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos.....	24
Quadro 8 - Principais características físicas dos esgotos domésticos	31
Quadro 9 - Principais características químicas dos esgotos domésticos	32
Quadro 10 - Principais microrganismos presentes nos esgotos.....	33
Quadro 11 - Classificação da Matéria Sólida.....	35
Quadro 12 - Distribuição relativa das formas de nitrogênio	37
Quadro 13 - Níveis do tratamento dos esgotos	40
Quadro 14 - Eficiência das ETEs no tratamento de DBO ₅	44
Quadro 15 - Eficiência das ETEs no tratamento de DQO	48
Quadro 16 - Eficiência das ETEs no tratamento de Fósforo Total.....	52
Quadro 17 - Eficiência das ETEs no tratamento de Nitrogênio Amoniacal.....	56
Quadro 18 - Eficiência das ETEs na remoção de Sólidos Sedimentáveis.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência no tratamento de DBO_5 – Santana do Seridó.....	45
Gráfico 2 - Eficiência no tratamento de DBO_5 – Caiçara do Rio do Vento	46
Gráfico 3 - Eficiência no tratamento de DBO_5 – Pipa	46
Gráfico 4 - Eficiência no tratamento de DBO_5 – Santo Antônio	47
Gráfico 5 - Eficiência no tratamento de DBO_5 – Pedro Velho.....	47
Gráfico 6 - Eficiência no tratamento de DQO – Santana do Seridó.....	49
Gráfico 7 - Eficiência no tratamento de DQO – Caiçara do Rio do Vento	49
Gráfico 8 - Eficiência no tratamento de DQO – Pipa	50
Gráfico 9 - Eficiência no tratamento de DQO – Santo Antônio.....	50
Gráfico 10 - Eficiência no tratamento de DQO – Pedro Velho.....	51
Gráfico 11 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Santana do Seridó.....	53
Gráfico 12 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Caiçara do Rio do Vento	53
Gráfico 13 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Pipa	54
Gráfico 14 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Santo Antônio.....	54
Gráfico 15 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Pedro Velho.....	55
Gráfico 16 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Santana do Seridó	57
Gráfico 17 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Caiçara do Rio do Vento	57
Gráfico 18 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Pipa	58
Gráfico 19 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Santo Antônio	58
Gráfico 20 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Pedro Velho.....	59
Gráfico 21 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Santana do Seridó	60
Gráfico 22 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Caiçara do Rio do Vento	61
Gráfico 23 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Pipa	61
Gráfico 24 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Santo Antônio....	62
Gráfico 25 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Pedro Velho.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 GERAL	13
2.2 ESPECÍFICOS	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 METODOLOGIA	15
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	15
4.1.1 Caiçara do Rio do Vento	16
4.1.2 Santana do Seridó	17
4.1.3 Pedro Velho	19
4.1.4 Tibau do Sul	20
4.1.5 Santo Antônio	21
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
5.1 SANEAMENTO BÁSICO E DO MEIO	23
5.1.1 Situação do saneamento no Brasil	23
5.1.2 Situação do Saneamento no Rio Grande do Norte	27
5.3 PROTEÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS	29
5.4 QUALIDADE DOS ESGOTOS	30
5.4.1 Características Físicas	31
5.4.2 Características Químicas	32
5.4.3 Características Biológicas	33
5.5 PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS ESGOTOS	34
5.5.1 Sólidos	34
5.5.3 Indicadores de matéria orgânica	35
5.5.4 Nitrogênio	36
5.5.5 Fósforo	38
5.5.6 Indicadores de contaminação fecal	38
5.6 PROCESSOS E NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	39
5.7 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO	40
5.7.1 Lagoas Facultativas	41
5.7.2 Lagoas de Maturação	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43

6.1 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DBO ₅	43
6.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL.....	51
6 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O adensamento populacional atualmente enfrentado pelos centros urbanos produz uma demanda significativa do consumo de água, ocasionando, desta forma, um crescimento na mesma proporção na produção de esgotamento sanitário. Com o aumento da necessidade do atendimento à população por serviços de saneamento básico, a oferta de recursos hídricos vem diminuindo quantitativa e qualitativamente.

No estado do Rio Grande do Norte no ano de 2017, o percentual da população que tinha o seu esgoto tratado de alguma forma era de apenas 52,87% (ANA, 2017). Dentre as várias opções de tratamento de esgoto, os municípios de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó e Santo Antônio, todas elas na região do semiárido do estado, adotam o sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização, considerado o de tecnologia mais simples e consolidada para o tratamento de águas residuárias. Devido à sua simplicidade construtiva, as lagoas de estabilização apresentam baixos custos de investimento, facilidade operacional e eficiência satisfatória.

Sistemas de esgoto sanitário são compostos por um conjunto de obras e instalações com a finalidade de propiciar a coleta, afastamento, tratamento e a disposição final, sanitariamente adequada, para as águas residuárias de uma comunidade. O tratamento de águas servidas tem como objetivo reduzir o seu conteúdo inorgânico, orgânico e microbiano, diminuindo os riscos que ele apresenta para o meio ambiente e para a saúde pública. Para um gerenciamento mais eficiente dos sistemas de esgoto, é necessário o conhecimento de características quantitativas e qualitativas dos efluentes. Diante disso, o Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) determina condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes tratados. Neste contexto, esse trabalho se propõe a analisar a eficiência de tratabilidade das Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico das cidades de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Pipa, Santana do Seridó e Santo Antônio, através dos parâmetros de monitoramento qualitativo, e o atendimento às determinações do CONAMA (2011), para lançamento de efluentes-

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o desempenho das estações de tratamento de esgoto, do tipo lagoa de estabilização, dos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó e Santo Antônio.

2.2 ESPECÍFICOS

- Configuração das Estações de Tratamento de Esgoto;
- Classificação das Estações de Tratamento de Esgoto;
- Analisar os parâmetros de monitoramento qualitativos e o seu atendimento ao CONAMA (2011);
- Analisar a eficiência das Estações de Tratamento de Esgoto conforme a literatura.

3 JUSTIFICATIVA

A disposição inadequada dos esgotos sanitários provoca impactos expressivos aos recursos naturais, principalmente na qualidade da água dos mananciais, afetando significativamente a salubridade do meio e das populações. De acordo com o Atlas da ANA (2017) cerca de 80,17 mil metros cúbicos de esgoto são gerados por mês no estado do Rio Grande do Norte, dos quais 37,79 mil m³ de esgoto são descartados no ambiente sem qualquer tratamento – representando 47,13% do volume total. Ou seja, são 37 milhões de litros de esgoto lançados in natura direto no ambiente, por mês. (ANA, 2017 apud RODRIGUES et al., 2018).

O estado do Rio Grande do Norte apresenta uma grande deficiência de esgotamento sanitário, com a predominância de municípios sem qualquer forma de tratamento implantada para os centros urbanos, e, para aqueles que possuem estações de tratamento de esgoto (ETE) implantadas, sua capacidade de tratamento não é suficiente para condicionar o volume gerado por toda população do município. Agravando a situação, no cenário estadual os corpos hídricos apresentam, predominantemente, características de capacidade praticamente nula de diluição de esgotos, o que evidencia a eminente necessidade no controle da eficiência, operação e manutenção das ETEs operantes no estado (RODRIGUES et al., 2018).

Diante desse quadro, se torna evidente a importância do monitoramento dos efluentes lançados pelas estações de tratamento de esgotos dos municípios em estudo, verificando se os mesmos atendem às normas de condições e padrões de lançamento estabelecidas pelo Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011).

4 METODOLOGIA

Nos municípios em estudo, a gestão e operação das estações de tratamento de esgoto é realizada pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CAERN) através de laudos qualitativos e quantitativos de controle. Esses laudos de monitoramento são realizados por meio de coletas semestrais e fornecem informações sobre as concentrações, antes e depois do tratamento, de DBO, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal e Sólidos Sedimentáveis.

Esse trabalho analisou os resultados das concentrações dos parâmetros obtidos nos laudos de monitoramento fornecidos pela CAERN, para as ETEs dos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó e Santo Antônio, por meio de gráficos e planilhas elaboradas no programa Microsoft Excel. Nesta análise, foram criados gráficos que representam os valores das concentrações, antes e após o tratamento, em ordem cronológica, para cada parâmetro, no período de tempo determinado pela quantidade de informações disponíveis nos laudos. Desta forma, foi possível visualizar detalhadamente as evoluções e variações dos processos de tratamento dos efluentes, e assim fornecer informações sobre o desempenho geral destas estações de tratamento de esgoto.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em cinco sistemas de lagoas de estabilização em série, localizados nos Estado do Rio Grande do Norte, compostos por uma lagoa facultativa, seguida de duas lagoas de maturação.

Como as áreas de estudo, foram selecionadas cinco ETEs no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, localizadas nos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Pedro Velho, Tibau do Sul, Santana do Seridó e Santo Antônio. Com exceção da ETE de Pipa (Tibau do Sul), as demais ETEs estão inseridas na região semiárida do estado, e ressalta-se que o município de Pedro Velho está localizado em uma área de transição entre a região tropical e a região semiárida.

O Quadro 1 apresenta algumas informações básicas sobre as ETEs analisadas, mostrando os órgão gerenciadores, zonas e coordenadas geográficas.

Quadro 1 - Sistemas monitorados e seus respectivos, órgãos gerenciadores, zonas e coordenadas geográficas

ETE - siglas	Município	Órgão Gerenciador	Coordenadas Geográficas	Efluente Final
Caiçara (CRV)	Caiçara do Rio do Vento	CAERN	5°45'28"S e 35°59'45"W	Reuso: irrigação do capim elefante.
Pedro Velho Roça (PVR)	Pedro Velho	CAERN	6°26'41"S e 35°12'58"W	Escoamento superficial até o Rio Curimataú.
Pipa (PIP)	Tibau do Sul	CAERN	6°14'17"S e 35°4'1"W	Disposição e infiltração no solo.
Santana do Seridó (SS)	Santana do Seridó	CAERN	6.7721° S, 36.7354° W	Reuso, disposição e infiltração no solo.
Santo Antônio (SA)	Santo Antônio	CAERN	6°18'46"S e 35°28'24"W	Escoamento superficial até o Rio Jacú.

Fonte: Araújo et al. (2011)

4.1.1 Caiçara do Rio do Vento

O município de Caiçara do Rio do Vento é pertencente à microrregião de Angicos, caracterizado por vegetação predominante pertencente ao bioma caatinga e está sobre formação cristalina. A população estimada é de 3.652 pessoas, segundo projeção populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2018, possuindo área de unidade territorial de 261,194 km², e uma porcentagem de domicílios com esgotamento sanitário adequado de 56,8% para o ano de 2010 (IBGE, 2019). O município apresenta uma precipitação anual média de 487,6 mm, e se enquadra no clima semiárido. A parte urbana do município é cortada pelo Rio do Vento, que na maior parte do tempo se encontra seco, podendo ser enquadrado como intermitente (SOUZA, 2018).

Os esgotos sanitários do município são conduzidos, por meio de uma estação elevatória, até a estação de tratamento de esgoto localizada próxima ao Rio do Vento, como pode ser observado na Figura 1. A estação elevatória conta com gradeamento e medidor de vazão. O ponto de lançamento do esgoto tratado é o leito Rio do Vento, enquadrando-se como corpo receptor do efluente. Após a estação

elevatória o afluente é dirigido para uma lagoa facultativa primaria e duas lagoas de maturação em serie (SOUZA, 2018).

Figura 1 - Vista aérea da zona urbana do município de Caiçara do Rio do Vento, com destaque para o sistema de lagoas de estabilização



Fonte: Souza (2018)

Quadro 2 - Características Físicas da ETE de Caiçara do Rio do Vento

Estação de Tratamento de Esgoto de Caiçara do Rio do Vento			
Características Físicas e Operacionais	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação 1	Lagoa de Maturação 2
Comprimento (m)	53,3	26,0	26,0
Largura (m)	21,0	21,0	21,0
Profundidade (m)	1,5	1,4	1,4
Área (m ²)	1119,3	546,0	546,0
Volume (m ³)	1678,95	764,4	764,4
TDH (dias)	2,5	1,2	1,2

Fonte: Araújo et al. (2011)

4.1.2 Santana do Seridó

O município de Santana do Seridó, pertence à Região Seridó, e é caracterizado por apresentar clima semiárido, localizado sobre formação cristalina, com vegetação predominante do bioma caatinga e precipitação anual média de

562,7 mm (SOUZA, 2018). No município, apenas 61% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado. Segundo projeção populacional do IBGE para o ano de 2018, a população estimada é de 2.670 pessoas (IBGE, 2018).

O sistema de tratamento de esgoto de Santana do Seridó é dividido em duas estações de tratamento, ambas utilizando a tecnologia de lagoas facultativas. A ETE do município analisada neste trabalho, conhecida como Estação do Cemitério, apresenta tratamento preliminar com gradeamento e caixa de areia, seguida de uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação em serie. Na zona urbana do município, o sistema de esgotamento sanitário produz um volume estimado de 258,0 m³ por dia. Neste sistema ocorre o reuso controlado dos efluentes tratados para a irrigação de palma por gotejamento (SOUZA, 2018).

Na Figura 2 é possível visualizar a zona urbana do município, nas proximidades da ETE.

Figura 2 - Vista aérea da zona urbana do município de Santana do Seridó, nas proximidades da Estação do Cemitério



Fonte: Souza (2018)

Quadro 3 - Características Físicas da ETE de Santana do Seridó

Estação de Tratamento de Esgoto de Santana do Seridó			
Características Físicas e Operacionais	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação 1	Lagoa de Maturação 2
Comprimento (m)	71,0	38,0	38,0
Largura (m)	38,0	18,5	14,5
Profundidade (m)	1,3	1,2	1,2
Área (m²)	2698,0	703,0	551,0
Volume (m³)	3507,4	843,6	661,2
TDH (dias)	20,6	5,0	3,9

Fonte: Araújo et al. (2011)

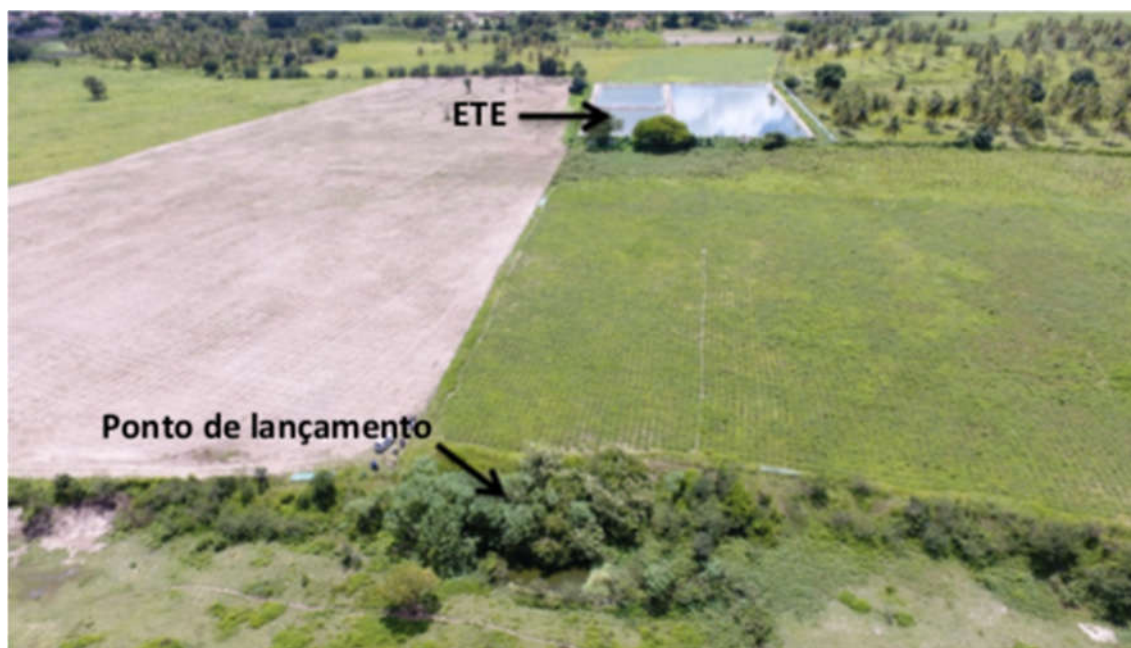
4.1.3 Pedro Velho

O município de Pedro Velho faz parte da microrregião Litoral Sul do Estado do Rio Grande do Norte, estando localizado em uma zona de transição entre a região tropical e a região semiárida, com precipitação anual média de 1142,9 mm. Apresenta vegetação com características que variam entre plantas do bioma da mata atlântica e outras com características do bioma da caatinga (SOUZA, 2018). De acordo com o levantamento do IBGE de 2010, apenas 36% dos domicílios do município possuem esgotamento sanitário adequado. A população estimada para o ano de 2018 foi de 14.767 habitantes (IBGE, 2018).

De acordo com Souza (2018), o município costumava a contar com duas estações de tratamento de esgoto, mas atualmente só possui uma em funcionamento. A ETE analisada recebe o esgoto coletado após tratamento preliminar seguido de estação elevatória. O tratamento biológico no sistema ocorre em uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação em série. O corpo receptor dos efluentes tratados é o Rio Curimataú.

A Figura 3 mostra uma vista aérea da estação de tratamento e esgoto de Pedro Velho, identificando o ponto de lançamento do efluente tratado. Já o Quadro 4, apresenta as principais características físicas e a configuração das lagoas da ETE.

Figura 3 - Vista aérea do ponto de lançamento dos esgotos tratados no Rio Curimataú, nas proximidades da Estação de Tratamento



Fonte: Souza (2018)

Quadro 4 - Características Físicas da ETE de Pedro Velho

Estação de Tratamento de Esgoto de Pedro Velho			
Características Físicas e Operacionais	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação 1	Lagoa de Maturação 2
Comprimento (m)	102,0	49,0	49,0
Largura (m)	49,0	32,0	32,0
Profundidade (m)	1,8	1,5	1,5
Área (m ²)	4998,0	1568,0	1568,0
Volume (m ³)	8996,4	2352,0	2352,0
TDH (dias)	25,0	6,5	6,5

Fonte: Souza (2018)

4.1.4 Tibau do Sul

O município de Tibau do Sul está localizado na região litoral do Estado do Rio Grande do Norte, e pertence à região geográfica intermediária de Natal e à região imediata de Canguaretama. O município possui clima tropical úmido e relevo com altitudes inferiores a 100 metros.

Segundo levantamento feito pelo IBGE em 2018, o município possui área territorial de 102.860 km². A população estimada para o ano de 2018 foi de 11.396 habitantes, e somente 19% dos domicílios de Tibau do Sul possuem sistema de esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2018).

A estação de tratamento de esgoto de Tibau do Sul analisada neste trabalho é conhecida como ETE Pipa e possui uma vazão de 2682,61 m³ por dia, o que corresponde a uma população de 17688 habitantes. O início do seu funcionamento se deu em 2003 (ARAUJO 2003).

O Quadro 5 identifica a configuração do sistema de lagoas e as principais características físicas da estação de tratamento de esgoto de Pipa.

Quadro 5 - Características Físicas da ETE de Pipa

Estação de Tratamento de Esgoto de Pipa			
Características Físicas e Operacionais	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação 1	Lagoa de Maturação 2
Comprimento (m)	115,0	56,0	56,0
Largura (m)	40,0	16,0	16,0
Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
Área (m ²)	4600,0	896,0	896,0
Volume (m ³)	9200,0	1344,0	1344,0
TDH (dias)	14,2	2,1	2,1

Fonte: Araújo et al. (2011)

4.1.5 Santo Antônio

O município de Santo Antônio está localizado no interior do estado, na Mesorregião do Agreste Potiguar. Possui unidade territorial de 301,082 m², e população estimada de 22216 pessoas, segundo projeção do IBGE (2018). Santo Antônio está inserido no clima semiárido do estado e sua vegetação é característica do bioma pertencente da caatinga. Ainda de acordo com o IBGE (2018), apenas 20% dos domicílios no município possuem esgotamento sanitário considerado adequado.

Os dados dos Quadro 6 informam as características físicas e a configuração do sistema da estação de tratamento de Santo Antônio.

Quadro 6 - Características Físicas da ETE de Santo Antônio

Estação de Tratamento de Esgoto de Santo Antônio			
Características Físicas e Operacionais	Lagoa Facultativa	Lagoa de Maturação 1	Lagoa de Maturação 2
Comprimento (m)	138,0	61,0	76,0
Largura (m)	61,0	37,0	27,0
Profundidade (m)	2,0	1,5	1,5
Área (m ²)	8418,0	2287,0	2090,0
Volume (m ³)	16836,0	3431,0	3135,0
TDH (dias)	56,1	11,4	10,5

Fonte: Araújo et al. (2011)

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 SANEAMENTO BÁSICO E DO MEIO

O termo saneamento é definido por Houaiss, Villar e Franco (2009, p. 1703) como sendo “uma série de medidas que tornam uma área sadia, limpa, habitável, oferecendo condições adequadas de vida para a população ou para a agricultura.”. No âmbito Jurídico a Lei Federal nº 11.445 2007, estabelece diretrizes para o saneamento básico no Brasil, e o define como sendo para efeitos da lei como “um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza e manejo de resíduos sólidos bem como drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. “

O saneamento do meio é uma das formas de contribuir para a manutenção do equilíbrio da natureza e, portanto, para a própria sobrevivência do ser humano e de todos os recursos e elementos indispensáveis à vida. Representa o controle de todos os fatores do meio ambiente humano que exercem efeito nocivo sobre o bem-estar físico, mental e social do homem (CARVALHO; OLIVEIRA, 2010).

O saneamento básico é a parte do saneamento do meio voltada especificamente para os serviços de abastecimento de água; disposição de esgotos sanitários; acondicionamento, coleta, transporte e destinação do lixo. O objetivo do saneamento básico é controlar os fatores que afetam o ambiente físico, trazem prejuízos à saúde e reduzem a marcha de desenvolvimento da comunidade. Para tanto, deve garantir o abastecimento e a disposição de água potável suficiente e adequada ao consumo, prever a drenagem e a disposição de águas residuárias e combater a poluição das águas, do ar e do solo (CARVALHO; OLIVEIRA, 2010).

Dessa forma, pode-se inferir que diferença entre saneamento básico e do meio reside em que enquanto o primeiro contempla questões mais relacionadas ao acesso aos serviços, o segundo aprecia uma visão mais ampla, contemplando também a proteção e preservação do meio ambiente (HENRIQUES, 2018).

5.1.1 Situação do saneamento no Brasil

No Brasil, o acesso aos serviços de saneamento, em seus mais variados aspectos e tipologia (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, coleta

e tratamento de resíduos sólidos e drenagem urbana), ainda está longe de caracterizar situação de universalização. As condições sanitárias nos domicílios brasileiros são determinadas por fatores regionais, socioeconômicos, político-cultural e a natureza dos serviços de saneamento. (RESENDE; HELLER, 2008, p. 50 apud HENRIQUES, 2018)

O cenário nacional é caracterizado por uma grande disparidade em relação ao atendimento com água e esgotos entres as regiões do país, sendo as regiões norte e nordeste as que apresentam as menores porcentagens de atendimento. De acordo com o Quadro 7, o índice de atendimento total com rede de esgotos aponta que, em 2016, a média do país é igual a 51,9%. Já o índice de atendimento urbano com rede de esgotos 59,7% (BRASIL, 2018).

No Quadro 7 é apresentado informações sobre os índices que representam o percentual de atendimento com rede de água e esgoto para as populações rurais e urbanas de todas as regiões do país. Também é identificado os índices de tratamento dos esgotos gerados e esgotos coletados.

Quadro 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos

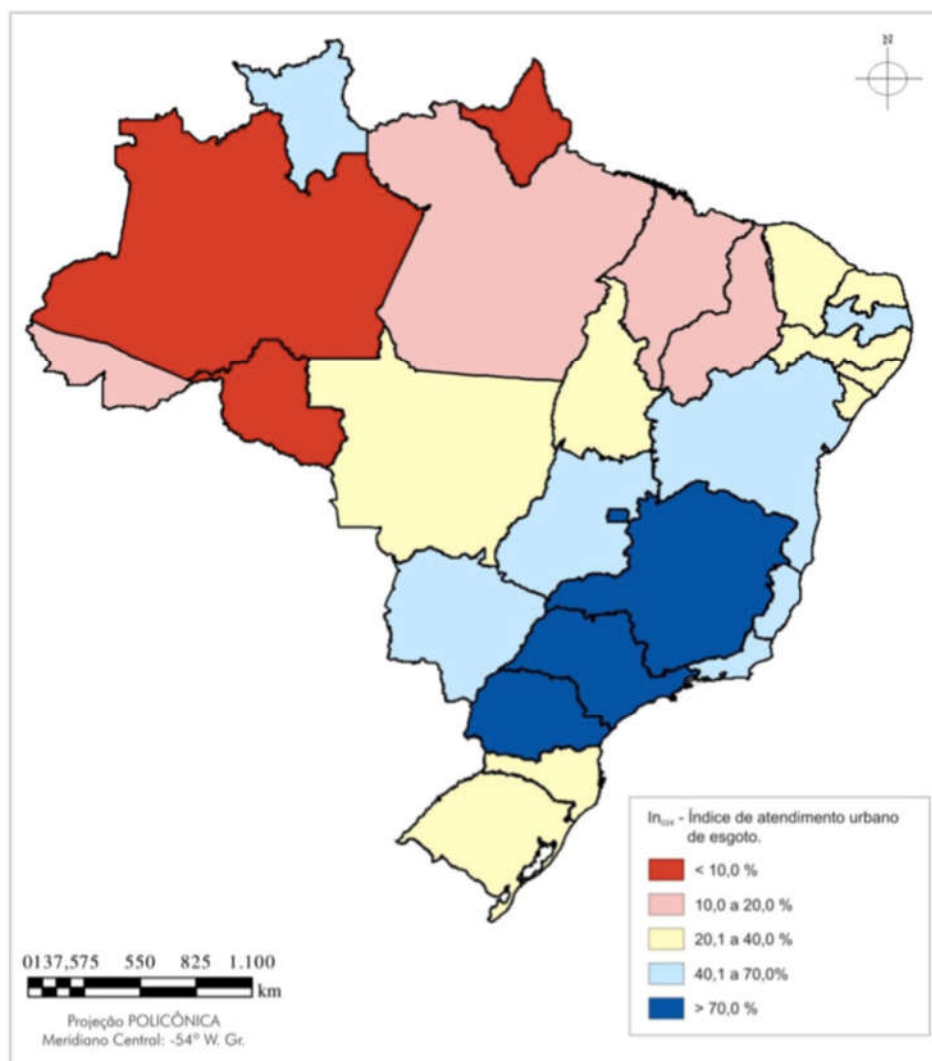
Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Esgoto		Esgotos Gerados	Esgotos Coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
Norte	55,4	67,7	10,5	13,4	18,3	81,0
Nordeste	73,6	89,3	26,8	34,7	36,2	79,7
Sudeste	91,2	96,1	78,6	83,2	48,8	69,0
Sul	89,4	98,4	42,5	49,0	43,9	92,9
Centro-Oeste	89,7	97,7	51,5	56,7	52,6	92,1
Brasil	83,3	93,0	51,9	59,7	44,9	74,9

Fonte: Brasil (2018)

Com relação aos estados (Figura 1), o índice médio de atendimento urbano com rede coletora de esgotos aponta valores acima de 70% apenas no Distrito Federal e em três estados: São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Na faixa de 40% a

70%, aparecem outros sete estados: Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Roraima, Bahia e Paraíba. Na faixa logo abaixo, de 20% a 40%, situam-se nove estados: Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe, Tocantins Alagoas e Santa Catarina; enquanto que na penúltima faixa, de 10% a 20%, encontram-se quatro estados: Maranhão, Acre, Piauí e Pará. Por fim, na menor faixa, inferior a 10%, há três estados: Amazonas, Amapá e Rondônia (BRASIL, 2018).

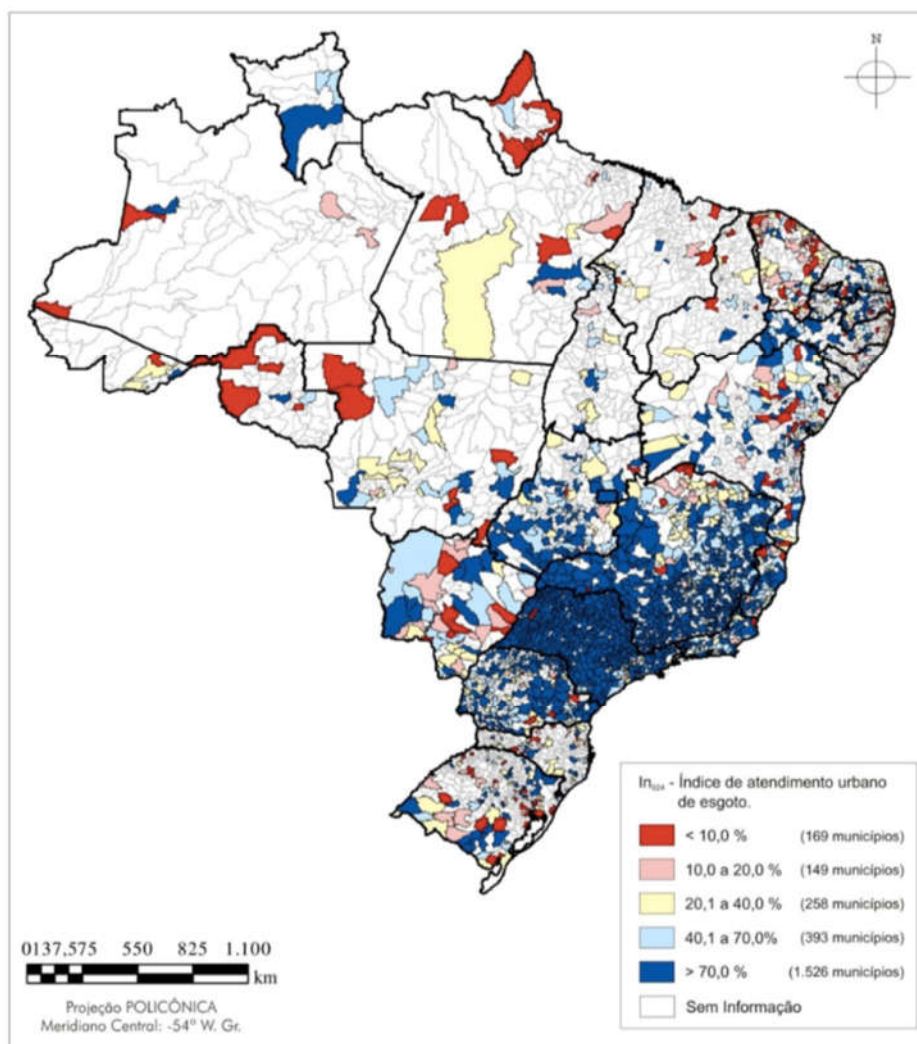
Figura 4 - Representação espacial do índice médio de atendimento urbano por redes coletoras de esgoto por região



Fonte: Brasil (2018)

O mapa da Figura 4 mostra a visualização de municípios com os respectivos índices de atendimento urbano por rede coletora de esgotos. 1.526 municípios apresentam índice superior a 70%; outros 394 municípios com índices na faixa de 40 a 70%; 258 municípios com valores que se enquadraram entre 20 a 40%; 148 municípios na faixa imediatamente inferior com índices na faixa de 10 a 20%; e, na última faixa, abaixo de 10%, 169 municípios. No total, o mapa apresenta o resultado para 2.495 municípios (BRASIL, 2018).

Figura 5 - Representação espacial do índice de atendimento urbano por redes coletoras de esgoto por município



Fonte: Brasil (2018)

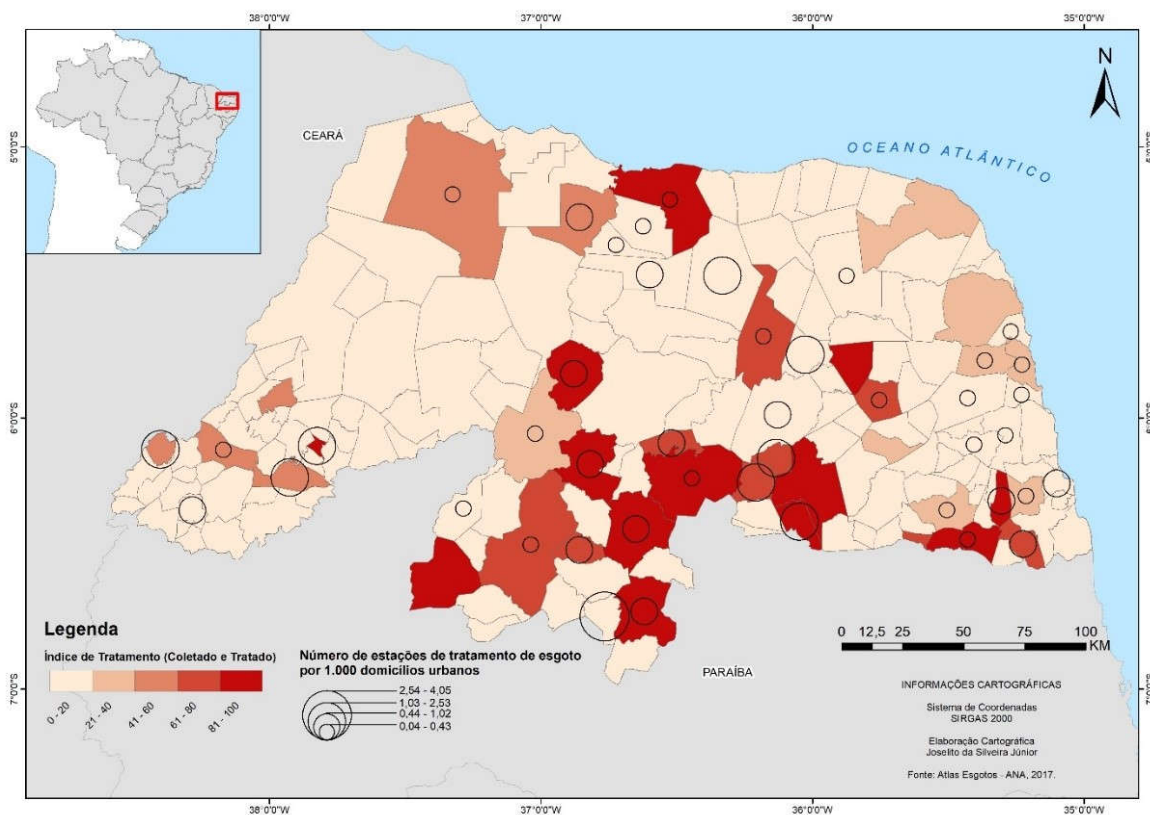
5.1.2 Situação do Saneamento no Rio Grande do Norte

No que concerne às infraestruturas para abastecimento de água do Rio Grande do Norte, destaca-se a presença e distribuição de reservatórios de água no estado. Essas infraestruturas são imprescindíveis para a realização do abastecimento de água para as populações e para as atividades agrícolas e industriais (RODRIGUES et al., 2018).

A prestação do serviço de abastecimento de água e tratamento de esgoto para as populações das zonas rurais dos municípios é caracterizada pela prestação direta por parte da gestão municipal, que em muitos casos apoia gestões descentralizadas operadas por associações de moradores rurais. Este cenário reflete grandes problemas na qualidade da prestação do serviço para as populações rurais, que a depender da capacidade de organização, da vontade política da gestão municipal, dos recursos hídricos disponíveis, entre outros fatores, têm diferentes realidades, sendo muitas vezes esquecidos (RODRIGUES et al., 2018).

Para o estado do Rio Grande do Norte cerca de 80,17 mil metros cúbicos de esgoto são gerados por mês, dos quais 37,79 mil m³ de esgoto são descartados no ambiente sem qualquer tratamento – resultando em 47,13% do total. São 37 milhões de litros de esgoto mensalmente lançados in natura direto no ambiente. Os 52,87% de efluentes provenientes de algum tratamento no estado são advindos de sistemas com pouca ou nenhuma operação e manutenção, resultando em baixas eficiências de remoção dos tratamentos implantados (RODRIGUES et al., 2018).

Figura 6 - Índice de tratamento de esgoto no Rio Grande do Norte



Fonte: Rodrigues et al. (2018)

Este cenário é bem representado na Figura 6, a qual permite avaliar claramente a deficiência do componente de esgotamento sanitário no estado do Rio Grande do Norte. Observa-se a predominância de municípios sem qualquer forma de tratamento implantada, e que em grande percentual dos que possuem Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) implantadas, sua capacidade de tratamento não é suficiente para condicionar o volume gerado por toda a população do município (RODRIGUES et al., 2018).

No cenário estadual os corpos hídricos apresentam predominantemente características de capacidade nula de diluição de esgotos. O que aponta para a importância de se investir em políticas de incentivo ao reuso controlado de esgoto, que possibilitará compatibilizar as demandas por água para as atividades como produção agrícola, manutenção de canteiros e parques municipais, tão impactados pela escassez hídrica que se prolonga no Estado (RODRIGUES et al., 2018).

5.3 PROTEÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

O crescimento populacional e a característica do ser humano de se aglomerar de forma organizada em núcleos urbanos, cuja localidade normalmente coincide com áreas da superfície da terra onde a disponibilidade de água é maior, têm originado a poluição e contaminação dos recursos hídricos pelo lançamento de seus próprios efluentes. Assim, os cursos de água são ao mesmo tempo a fonte para o abastecimento de água e também o veículo natural de escoamento do esgoto doméstico, e das águas residuárias industriais e agrícolas (LEME, 2014).

O lançamento de efluentes líquidos tratados ou não, em corpos receptores provoca alterações em suas características físicas e bioquímicas, que podem ser significativas para os usos a que se destinam as águas do manancial, dependendo da intensidade da carga de poluentes lançada (PHILIPPI JÚNIOR; PELICIONI, 2014). Diante disso, dois aspectos fundamentais devem ser levados em consideração em relação ao lançamento de esgotos e águas residuárias em corpos hídricos: a proteção da fauna e flora do manancial contra os efeitos da poluição, bem como a proteção bacteriológica da água contra os efeitos da contaminação gerada pelo lançamento de efluentes, podendo causar, inclusive, problemas de à saúde da população. Atualmente, as únicas soluções existentes para a questão da poluição e contaminação são o tratamento de águas residuárias e esgotos (LEME, 2014).

Dentro do contexto da necessidade da proteção dos mananciais, a implantação de sistemas de esgotamento sanitário, com suas respectivas estações de tratamento de efluentes, se mostram como resposta a essa problemática. Após tratado, o efluente deve obedecer aos padrões de lançamento indicados nas Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011 do CONAMA. Ambas resoluções estabelecem limites para determinados poluentes de forma que, ao lançá-los no corpo receptor, o mesmo apresentará poder de autodepuração, devido à sua capacidade de suporte que é o valor da quantidade máxima para determinado poluente que o corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento (BRASIL, 2011 apud Henriques, 2018).

5.4 QUALIDADE DOS ESGOTOS

Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. Os esgotos industriais, extremamente diversos, provêm de qualquer utilização de água para fins industriais e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado. Dessa forma, cada indústria deve ser considerada separadamente, uma vez que seus efluentes diferem mesmo em processos o somatório dos esgotos sanitários, provenientes das residências, com os esgotos oriundos de atividades comerciais industriais semelhantes (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os esgotos domésticos de uma área urbanizada são todos os esgotos provenientes de centros urbanos, e que dependendo do setor econômico e da atividade pode ser muito representativo. Compõe-se essencialmente da água do banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (PHILIPPI JÚNIOR; PELICIONI, 2014). As características dos esgotos estão diretamente ligadas com usos aos quais a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Von Sperling (1996), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante de 0,1% inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. É devido a essa fração que existe a necessidade de se tratar os esgotos.

Nos processos de tratamento de esgotos domésticos não há interesse em se determinar os diversos componentes dos quais as águas residuárias são compostas. Isto se dá não só pelas dificuldades em se realizar diversos testes de laboratório, mas principalmente, pelo fato dos resultados não serem relevantes como elementos de projeto e operação. Dessa forma, é preferível a utilização de parâmetros que traduzam o potencial poluidor do esgoto. Esses parâmetros definem a qualidade dos efluentes e podem ser divididos em três categorias: parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos (VON SPERLING, 1996).

5.4.1 Características Físicas

As principais características físicas das águas residuárias são: temperatura, cor, odor e turbidez. A variação da ordem de grandeza ou concentração de algumas dessas características tem implicações de diferentes naturezas. A temperatura das águas residuárias é importante pelo seu efeito na vida aquática, na solubilidade do oxigênio e na estimulação da vida biológica. A emissão de odor ou mau cheiro proveniente da decomposição de matéria orgânica ou da reação de diversas substâncias presentes nas águas residuárias pode causar implicações econômicas e estéticas em uma comunidade, reduzindo a qualidade de vida da população. Economicamente, o odor pode reprimir o crescimento e desenvolvimento de uma comunidade das seguintes formas: perdas de valor das propriedades, redução no turismo e diminuição na arrecadação. As principais substâncias que emitem o mau cheiro dos esgotos são resultantes da atividade biológica, principalmente da decomposição anaeróbia da matéria orgânica contendo enxofre e nitrogênio (LEME, 2010). O quadro 8, mostra e descreve as principais características físicas dos esgotos domésticos.

Quadro 8 - Principais características físicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
Temperatura	Ligeiramente superior à da água de abastecimento.
	Variação conforme as estações do ano (mais estável que a variação do ar).
	Influência na atividade microbiana.
	Influência na solubilidade dos gases.
	Influência na viscosidade do líquido.
Cor	Esgoto fresco: ligeiramente cinza.
	Esgoto séptico: cinza escuro ou preto.
Odor	Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável.
	Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição.
	Despejos industriais: odores característicos.
Turbidez	Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão.

	Esgotos mais frescos ou mais concentrados: geralmente maior turbidez.
--	---

Fonte: Von Sperling (1996).

5.4.2 Características Químicas

Segundo Leme (2010), as características químicas dos esgotos são constituídas por componentes orgânicos e inorgânicos. Os compostos orgânicos são formados pela combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. As principais substâncias orgânicas presentes nos esgotos são: proteínas, carboidratos, gorduras e óleos. Os principais compostos inorgânicos são representados pelo oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforos, metais, gás carbônico, enxofre e diferentes formas de sais.

Quadro 9 - Principais características químicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
Sólidos Totais	Orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis.
Matéria Orgânica	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos. Principais componentes: proteínas, carboidratos e lipídios.
Nitrogênio Total	O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o dimensionamento dos microrganismos no tratamento biológico.
Fósforo	O fósforo total existe na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente indispensável no tratamento biológico.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto. Uma solução é neutra em pH 7. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH). Devido à presença de bicarbonato, carbonato e íon hidroxila (OH).
Cloretos	Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos. Nos esgotos

Graxas	domésticos, as fontes são óleos e gorduras utilizados nas cozinhas.
--------	---

Fonte: Von Sperling (1996).

5.4.3 Características Biológicas

De acordo com Leme (2010), os principais componentes das características biológicas das águas residuárias e do esgoto doméstico são os microrganismos, representados pelos coliformes fecais e pelos agentes patógenos, que são organismos que podem transmitir e causar doenças de veiculação hídrica.

Quadro 10 - Principais microrganismos presentes nos esgotos

Parâmetro	Descrição
Bactérias	Organismos protistas unicelulares.
	Apresentam-se em várias formas e tamanhos.
	São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.
	Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Fungos	Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos.
	Também de grande importância na decomposição de matéria orgânica.
	Podem crescer em condições de baixo PH.
Protozoários	Organismos unicelulares sem parede celular.
	A maioria é aeróbia ou facultativa.
	Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos.
	São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos.
	Alguns são patogênicos.
Vírus	Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica.
	Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento de água ou do esgoto.

Helmintos	Animais superiores.
	Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.

Fonte: Von Sperling (1996).

5.5 PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS ESGOTOS

Segundo Von Sperling (1996), os principais parâmetros relativos a esgotos predominantemente domésticos e que possuem importância especial para a sua caracterização e determinação da forma de tratamento são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal.

5.5.1 Sólidos

O teor de matéria sólida é a de maior importância, dentre as características físicas, em termos de dimensionamento e controle das operações unitárias de tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2011). Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga dos sólidos. A matéria sólida de um esgoto pode ser classificada da seguinte maneira: em função do seu tamanho e estado; em função das suas características químicas; em função da sua decantabilidade (VON SPERLING, 1996).

De acordo com a dimensão de suas partículas, os sólidos podem ser classificados como em suspensão ou dissolvidos. Quando uma amostra de esgoto é filtrada através de uma membrana filtrante apropriada, a fração dos sólidos que fica retida compõem a matéria sólida em suspensão. A fração que passa pelo filtro é compreendida como a matéria sólida dissolvida (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Em função de suas características químicas, a matéria sólida total de um esgoto pode ser classificada como volátil ou fixa. Ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada, em média 550°C, a fração orgânica se volatiliza e a fração inerte permanece, após a combustão, em forma de cinzas, compondo assim respectivamente a matéria sólida volátil e a matéria sólida fixa. Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos fixos representam a matéria inorgânica (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A matéria sólida é classificada, de acordo com as suas propriedades de decantabilidade, como sedimentável ou não sedimentável. Os sólidos sedimentáveis

são aqueles que após um período de tempo razoável são capazes de se sedimentar. A quantidade de matéria sedimentável é uma indicação da quantidade de lodo que poderá ser removido por sedimentação nos decantadores. A fração dos sólidos que não se sedimenta representa os sólidos não sedimentáveis. A matéria não sedimentável só será removida por processos de oxidação biológica (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Quadro 11 - Classificação da Matéria Sólida

Sólidos Totais	Descrição
1. Em suspensão	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não é filtrável.
1.1. Fixos	Componentes minerais, não incineráveis, inertes, dos sólidos em suspensão.
1.2. Voláteis	Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão.
2. Dissolvidos	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis.
2.1. Fixos	Componentes minerais dos sólidos dissolvidos.
2.2. Voláteis	Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos.
3. Sedimentáveis	Fração dos sólidos orgânicos que se sedimenta.

Fonte: Von Sperling (1996).

5.5.3 Indicadores de matéria orgânica

Segundo Von Sperling (1996), os compostos orgânicos presentes nos esgotos são responsáveis por causar o principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização de matéria orgânica.

Os grupos de substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídos principalmente por: compostos de proteínas (40 a 60%); carboidratos (25 a 50%); gorduras e óleos (10%); ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros (menor quantidade (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Em termos práticos, não existe a necessidade de se caracterizar a matéria orgânica em termos de proteínas, carboidratos, gorduras etc. Devido a dificuldade na determinação laboratorial dos inúmeros componentes da matéria orgânica nos

esgotos, face à grande variedade de formas e compostos em que a mesma pode se apresentar, são adotados métodos indicadores para a determinação da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mede a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar biologicamente, após um certo tempo e em uma temperatura padrão, a matéria orgânica presente nos esgotos. A quantidade de matéria orgânica presente, indicada pelo DBO, é importante para a determinação do grau de poluição das águas residuárias, para se dimensionar as estações de tratamento de esgotos e medir a sua eficiência (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Normalmente a DBO dos efluentes domésticos varia em torno de 100 a 400 mg/L, de acordo com a condição do esgoto, e nos tratamentos secundários deseja-se atingir uma redução de DBO para uma faixa de 20 a 30 mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede o consumo de oxigênio necessário para oxidar através de processos químicos a matéria orgânica presente nos esgotos. O valor é uma indicação indireta do teor total de matéria orgânica dissolvida (LEME, 2010). Geralmente a DQO dos esgotos domésticos varia entre 200 a 800 mg/L, com valor médio de 400 mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Segundo Von Sperling (1996), a relação DQO/DBO em esgotos domésticos brutos varia em torno de 1,7 a 2,4. Dependendo da magnitude dessa relação, pode-se concluir sobre a biodegradabilidade dos despejos e do processo de tratamento. Valores elevados da relação DBO/DQO são indicativos de despejos menos facilmente biodegradáveis. O inverso indica maior facilidade para tratamento biológico.

5.5.4 Nitrogênio

No ambiente, o nitrogênio pode ser encontrado em várias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos. No meio aquático o nitrogênio pode ser detectado na forma de nitrogênio orgânico, molecular, amônia, nitrito e nitrato (VON SPERLING, 1996).

O nitrogênio é um componente de grande importância em termos da geração e do próprio controle da poluição dos esgotos. É possível constatar a sua presença e estimar o grau de estabilização da matéria orgânica pela variação da

forma como estão presentes os compostos de nitrogênio nas águas residuárias. Ele é um elemento indispensável para o crescimento de algas e micro-organismos responsáveis pelo tratamento de esgotos (VON SPERLING, 1996).

O nitrogênio orgânico presente nos esgotos frescos está quase todo combinado sob a forma de aminoácido, proteína e ureia. As bactérias, por meio de processos biológicos, transformam o nitrogênio presente primeiramente em amônia, depois em nitrito e este a nitrato. A concentração com que o nitrogênio aparece sob essas formas é um indicador do estágio de poluição e da idade do esgoto ou a sua estabilização em relação à demanda de matéria orgânica (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os nitritos são bastante instáveis e facilmente oxidados para a forma de nitratos. Sua presença nos esgotos indica uma poluição antiga e dificilmente excede 1,0 mg/L. Os nitratos representam a forma final de uma estabilização e nos efluentes tratados a sua concentração pode variar, segundo o grau de tratamento, de cerca de 20 mg/L no tratamento secundário até praticamente 0 no tratamento terciário (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Quadro 12 - Distribuição relativa das formas de nitrogênio

Condição	Forma predominante do nitrogênio
Esgoto Bruto	Nitrogênio orgânico
	Amônia
Poluição recente em um curso d'água	Nitrogênio orgânico
	Amônia
Estágio intermediário da poluição em um curso d'água	Nitrogênio orgânico
	Amônia
	Nitrito (Em menores concentrações)
	Nitrato
Poluição remota em um curso d'água	Nitrato
Efluente de tratamento sem nitrificação	Amônia
Efluente de tratamento com nitrificação	Nitrato
Efluente de tratamento com nitrificação/desnitrificação.	Concentrações mais reduzidas de todas as formas de nitrogênio.

Fonte: Von Sperling (1996).

5.5.5 Fósforo

O fósforo na água apresenta-se na forma orgânica e inorgânica. O fósforo orgânico se apresenta combinado com proteínas e aminoácidos. O fósforo inorgânico é encontrado na forma de ortofosfato e polifosfato (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os ortofosfatos são disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões mais simples. As fontes de ortofosfatos na água são o solo, fertilizantes, detergentes, despejos industriais e esgotos domésticos. Os polifosfatos são moléculas mais complexas, podendo se transformar em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise. O fósforo orgânico é geralmente de menor importância nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996).

A importância do fósforo para o tratamento de efluentes está associada ao fato do fósforo ser um nutriente essencial para o crescimento de algas e micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996).

5.5.6 Indicadores de contaminação fecal

De acordo com Von Sperling (1996), a detecção de agentes patogênicos, principalmente vírus, bactérias e protozoários, em amostras de esgoto é particularmente difícil devido às suas baixas concentrações. A determinação da concentração de patogênicos é facilitada através do estudo dos organismos indicadores de contaminação fecal. Esses organismos não são patogênicos, porém dão uma satisfatória indicação de quando uma água está contaminada por fezes e da sua potencialidade para transmitir doenças de veiculação hídrica.

Os principais organismos utilizados como indicadores de contaminação fecal, são os coliformes totais e os coliformes fecais. Os coliformes totais constituem-se por um grande grupo de bactérias e foram as primeiras adotadas como indicadores de poluição humana (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os coliformes fecais constituem um subgrupo dos coliformes totais e representam um grupo de bactérias indicadoras de organismos praticamente de origem exclusivamente fecal (JORDÃO; PESSOA, 2011).

5.6 PROCESSOS E NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Segundo Leme (2010), o tratamento de esgotos consiste na remoção das impurezas presentes que resultam em poluição e contaminação. Os processos utilizados para o tratamento de esgotos e águas residuárias são classificados como: processos físicos, processos químicos e processos biológicos.

Os processos físicos são caracterizados pela predominância de fenômenos físicos de um sistema ou dispositivo de tratamento. Ocorrem principalmente nos processos de remoção de substâncias fisicamente separáveis dos líquidos ou que não se encontram dissolvidas. Nesse caso se incluem: remoção de sólidos grosseiros, remoção de sólidos sedimentáveis e remoção de sólidos flutuantes (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Já nos processos químicos há a utilização de produtos químicos. Os processos químicos são apenas utilizados quando, por via de regra, processos físicos e biológicos não atuam eficientemente nas características que se deseja reduzir ou remover, ou ter sua eficiência melhorada. Os processos químicos comumente empregados em sistemas de tratamento de esgoto são: coagulação e floculação; filtração de esgotos; incineração do lodo; diluição dos esgotos; homogeneização dos esgotos ou do lodo (JORDÃO; PESSOA, 2011).

São considerados como processos biológicos os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos (JORDÃO; PESSOA, 2011).

De acordo com Campos (1999), o tratamento de efluentes pode abranger diferentes níveis, denominados tecnicamente de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar almeja apenas a remoção de sólidos grosseiros por meio de grades. O tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica por meio da sedimentação ou flotação de materiais constituídos principalmente de partículas em suspensão. Em ambos prenomina os mecanismos físicos de remoção de poluentes.

O tratamento secundário destina-se à degradação biológica de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fosforo). Quando a degradação é feita, naturalmente ocorre a decomposição de carboidratos, proteínas e de óleos e graxas. As bactérias que efetuam o tratamento, por outro lado, se reproduzem e tem a sua massa total aumentada em função da quantidade de matéria degradada (CAMPOS, 1999).

Segundo Von Sperling (1996), o tratamento terciário é fundamentado em processos biológicos e tem por objetivo a redução das concentrações de poluentes específicos ou ainda a remoção de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

Quadro 13 - Níveis do tratamento dos esgotos

Nível	Tratamento
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areias).
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis.
	DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis).
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário).
	DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos).
Terciário	Nutrientes
	Patógenos
	Compostos não biodegradáveis
	Metais pesados
	Sólidos inorgânicos dissolvidos
	Sólidos em suspensão remanescentes

Fonte: Von Sperling (1996).

5.7 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

Há séculos existem lagoas naturais ou artificiais que recebem despejos de animais, de usos domésticos e agrícolas, e de pequenas comunidades, que, sem que os especialistas se deem conta, realizam os fenômenos próprios de depuração de lagoas de estabilização. Porém, foi apenas nos últimos cinquenta anos que experimentos objetivos e critérios racionais de projetos começaram a ser desenvolvidos de modo a se estabelecer parâmetros para o dimensionamento e melhor entendimento do funcionamento de lagoas de estabilização (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento dos esgotos. De forma geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento devido aos seguintes aspectos: clima favorável, operação simples e necessidade de poucos ou nenhum equipamento (VON SPERLING, 2002).

5.7.1 Lagoas Facultativas

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. O processo basicamente consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam. As vantagens do tratamento de efluentes por lagoas facultativas estão relacionadas à grande simplicidade e à confiabilidade da operação. No entanto, os processos naturais são lentos, necessitando de longos tempos de detenção para que as reações se completem (VON SPERLING, 2002).

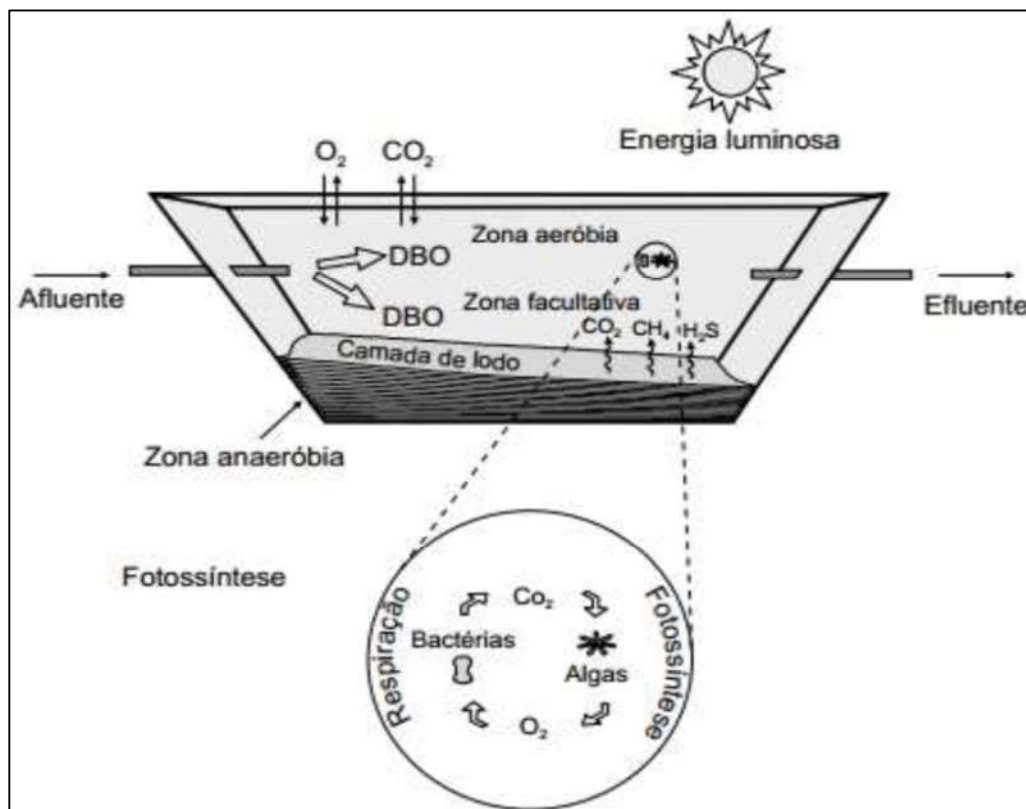
No processo de tratamento por lagoa facultativa o esgoto afluente entra por uma extremidade da lagoa, em um percurso que demora vários dias, e sai na extremidade oposta. Durante esse percurso, uma série de mecanismos contribui para a purificação dos esgotos. Esses mecanismos ocorrem nas três zonas das lagoas, denominadas: zonas anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (VON SPERLING, 2002).

A matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a formar o lodo de fundo (zona anaeróbia). O lodo formado é decomposto por microrganismos anaeróbios, sendo dessa maneira convertido lentamente em água, gás carbônico, metano e outros. Após certo período, somente a parte não biodegradável permanece na camada de fundo. Na camada mais superficial, tem-se a zona aeróbia. Nessa zona, a matéria orgânica dissolvida, juntamente com a matéria orgânica em suspensão, é oxidada por meio da respiração aeróbia. O oxigênio necessário para o processo é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas (VON SPERLING, 2002).

Para que a fotossíntese ocorra é necessária uma fonte de energia luminosa, que nesse caso é representada pelo sol. A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada nas regiões próximas à superfície da lagoa. À medida que se aprofunda na lagoa, a penetração da luz é menor, o que ocasiona a predominância

do consumo de oxigênio (respiração), sobre a sua produção (fotossíntese), com a eventual ausência de oxigênio dissolvido a partir de uma certa profundidade. Nas lagoas facultativas existem zonas onde pode ocorrer a presença ou a ausência de oxigênio. Estas zonas são denominadas facultativas (VON SPERLING, 2002).

Figura 7 - Representação do processo de oxidação de matéria orgânica em lagoa facultativa



Fonte: Gonsalves (2003 apud HENRIQUES, 2018)

5.7.2 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são usadas ao final de um sistema de lagoas de estabilização. Através delas é esperado a melhoria da qualidade do efluente previamente tratado, por meio da redução de organismos patogênicos. Busca-se a diminuição da concentração de bactérias, vírus, cistos de protozoários, ovos de helmintos e, por consequência, de doenças de veiculação hídrica. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

As lagoas de maturação encaixam-se no nível de tratamento terciário. Os principais fatores naturais que atuam como agentes desinfetantes nestas lagoas são: insolação, temperatura, pH, escassez de alimentos, organismos predadores, compostos tóxicos e elevada concentração de oxigênio dissolvido, no caso dos cistos de protozoários e ovo de helmintos o mecanismo de remoção é a sedimentação (HENRIQUES, 2018)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DBO₅

De acordo com Jordão (2011), a eficiência do tratamento na redução de DBO₅ em lagoas de estabilização varia de 80 a 90%. Conforme pode ser visto no Quadro 14, e tomando como base a literatura, todas as estações de tratamento analisadas apresentaram valores de eficiência na remoção de DBO₅ dentro da faixa considerada satisfatória, com destaque para a ETE de Caiçara do Rio do Vento, que obteve uma eficiência média, para o efluente filtrado, de 93,5%.

Segundo Filho (2007), em sistemas de lagoas de estabilização em série compostos por uma lagoa facultativa, seguida de duas lagoas de maturação, as concentrações esperadas de DBO₅ após o tratamento variam em torno de 10 a 74 mg/L. Analisando novamente o Quadro 14, pode-se perceber que, mesmo apresentando eficiências satisfatórias na remoção de DBO₅, todas as ETEs apresentaram valores de concentrações finais de DBO₅ bastante acima do que se é encontrado na literatura.

Ainda de acordo com Filho (2007), esses valores de concentrações de DBO altos podem decorrer da falta de operação, de sistemas executados de maneira incompleta, como a maioria das lagoas facultativas primárias no Rio Grande do Norte, que, por falta de recursos e continuidade, foram concluídas sem os parâmetros básicos de funcionabilidade, mas que, mesmo assim, atendem a toda a população contemplada no projeto. Outro fator que também pode ser responsável pelas altas concentrações de DBO₅ são os sistemas executados sem obedecer aos parâmetros de projetos, tais como profundidade útil e dimensões, que conseqüentemente interferem no tempo de detenção hidráulica, taxa de aplicação superficial etc.

No que concerne às concentrações afluentes de DBO_5 , a ETE de Pipa foi a única que apresentou valor dentro a faixa que é encontrada na literatura 250 mg/L – 400 mg/L. As demais estações de tratamento obtiveram valores bastante altos, sendo a ETE de Caiçara do Rio do Vento a que teve o maior resultado, com uma concentração de 871,97 mg/L. Essas concentrações elevadas geralmente são consequências de ações culturais do uso da água em municípios do interior do nordeste brasileiro, onde as pessoas utilizam ao máximo esse recurso hídrico antes do descarte na rede coletora. Esse fato é comum já que a intermitência no abastecimento é uma realidade nos municípios dessa região que convive com o stress hídrico constantemente. Ainda é costumeiro a utilização de águas salobras para as tarefas diárias, para preservar o máximo a água potável disponível (SOUZA 2018). Além disso, no que se refere a carga orgânica, existe a possibilidade de que as ETEs em estudo estejam recebendo carga superior ao projetado e com características que diferem do tipo de esgoto a ser tratado.

Na resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, o CONAMA estabelece através do seu Art. 21, I, alínea d, a condição de concentração máxima permitida de DBO_5 de 120 mg/L para efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO_5 , ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. O CONAMA também determina que para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO_5 , para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada.

Apesar da sobrecarga orgânica nos sistemas de tratamento, as ETEs apresentaram valores de eficiência na remoção de DBO_5 condizentes com os sistemas de tratamento implantados, e obtiveram concentrações para o efluente final dentro do limite especificado pelo CONAMA.

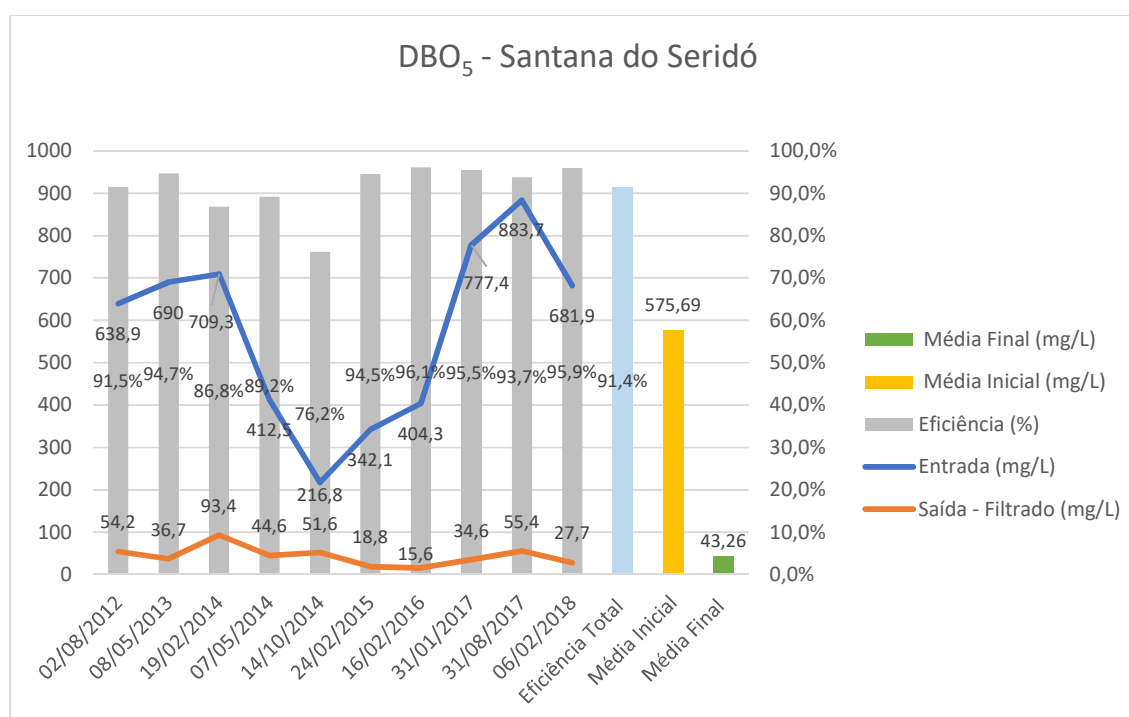
Quadro 14 - Eficiência das ETEs no tratamento de DBO_5

ETE	Concentração média de entrada de DBO_5	Concentração média de saída (filtrada) de DBO_5	Eficiência de tratamento

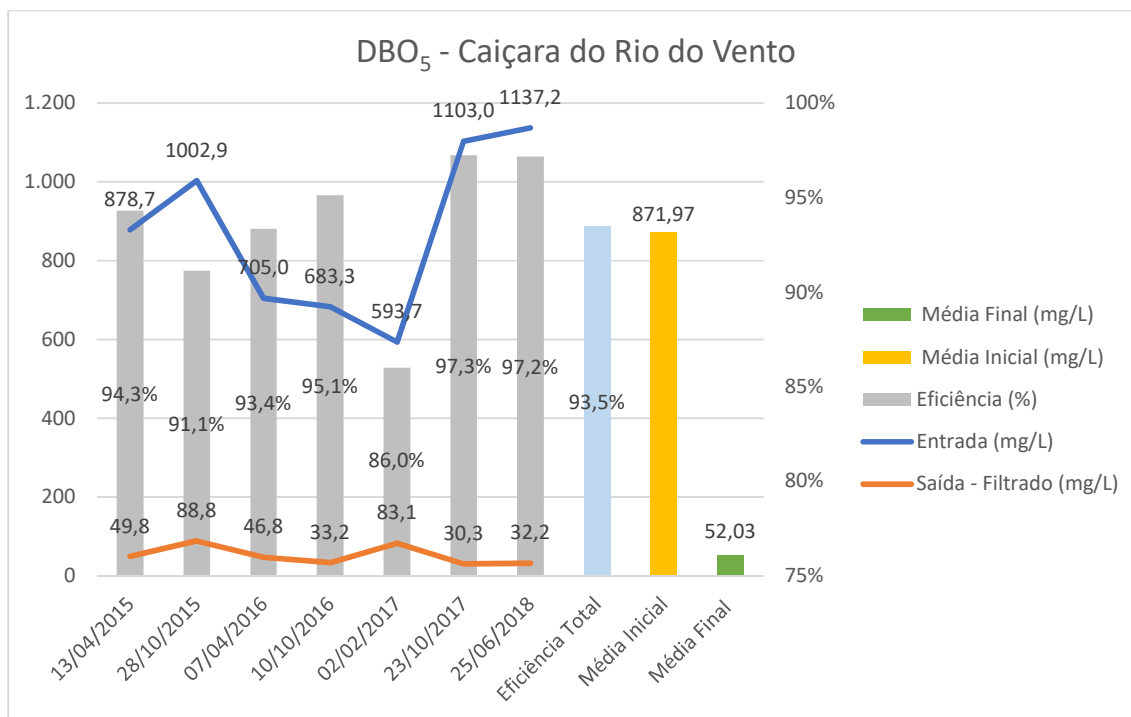
Santana do Seridó	575,69 mg/L	43,26 mg/L	91,4%
Caiçara do Rio do Vento	871,97 mg/L	52,03 mg/L	93,50%
Pipa	356,825 mg/L	40,705 mg/L	88,00%
Santo Antônio	848,70 mg/L	87,65 mg/L	89,70%
Pedro Velho	507,80 mg/L	87,65 mg/L	84,30%

Fonte: Autor (2019)

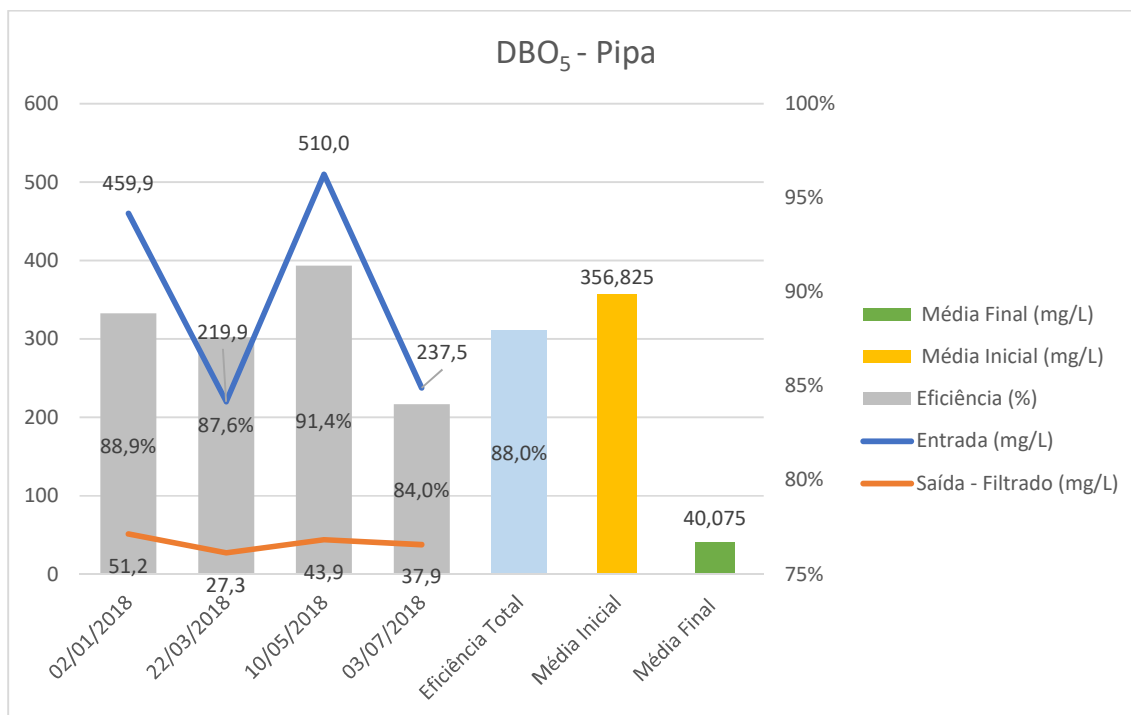
Gráfico 1 - Eficiência no tratamento de DBO₅ – Santana do Seridó



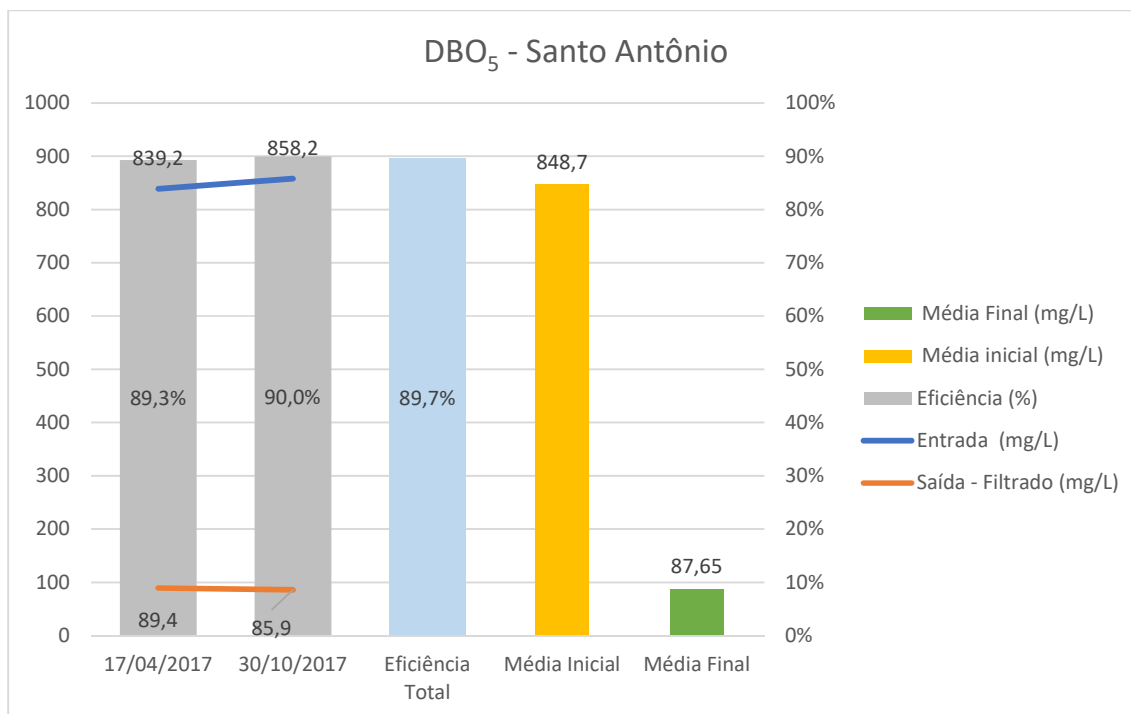
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 2 - Eficiência no tratamento de DBO₅ – Caiçara do Rio do Vento

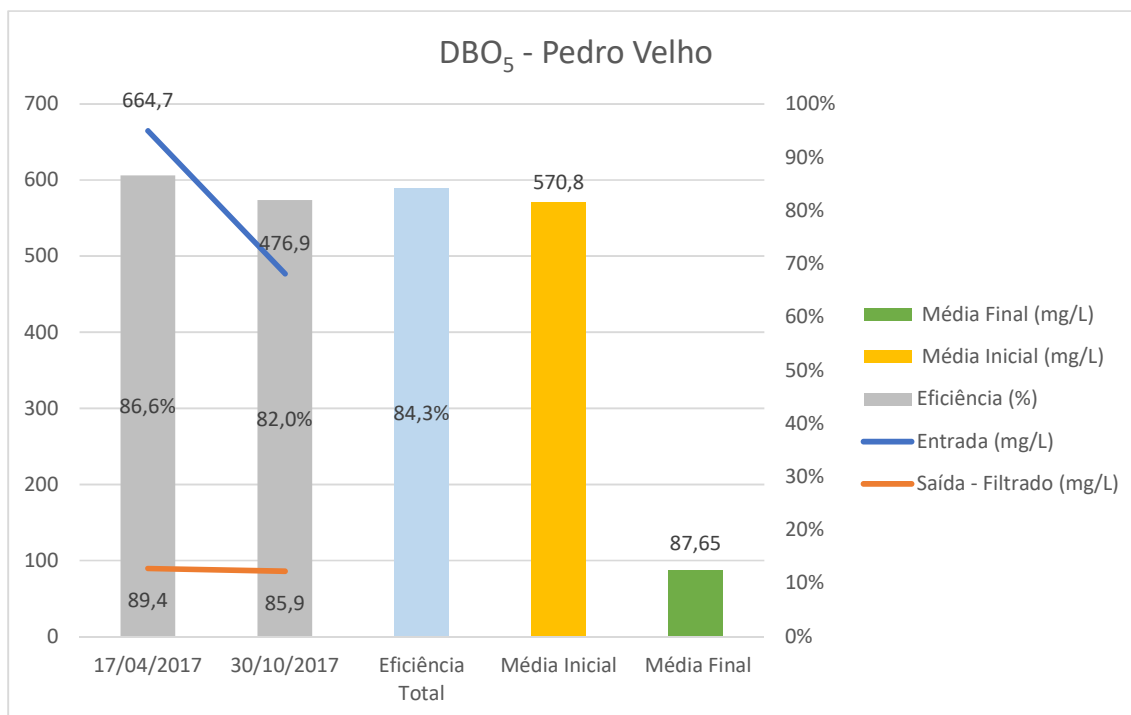
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 3 - Eficiência no tratamento de DBO₅ – Pipa

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 4 - Eficiência no tratamento de DBO₅ – Santo Antônio

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 5 - Eficiência no tratamento de DBO₅ – Pedro Velho

Fonte: Autor (2019)

6.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DQO

Na resolução nº 430, o CONAMA não estabelece valores de concentrações máximas de DQO permitidas para lançamento em corpos aquáticos ou disposição final. No entanto, em estações de tratamento de esgoto com sistemas de lagoas de estabilização em série, como os das ETEs em estudo, é previsto uma eficiência na remoção da Demanda Química de Oxigênio de 70% a 83%. As concentrações finais de DQO esperadas nos efluentes tratados vão de 145 a 345 mg/L (FILHO, 2011).

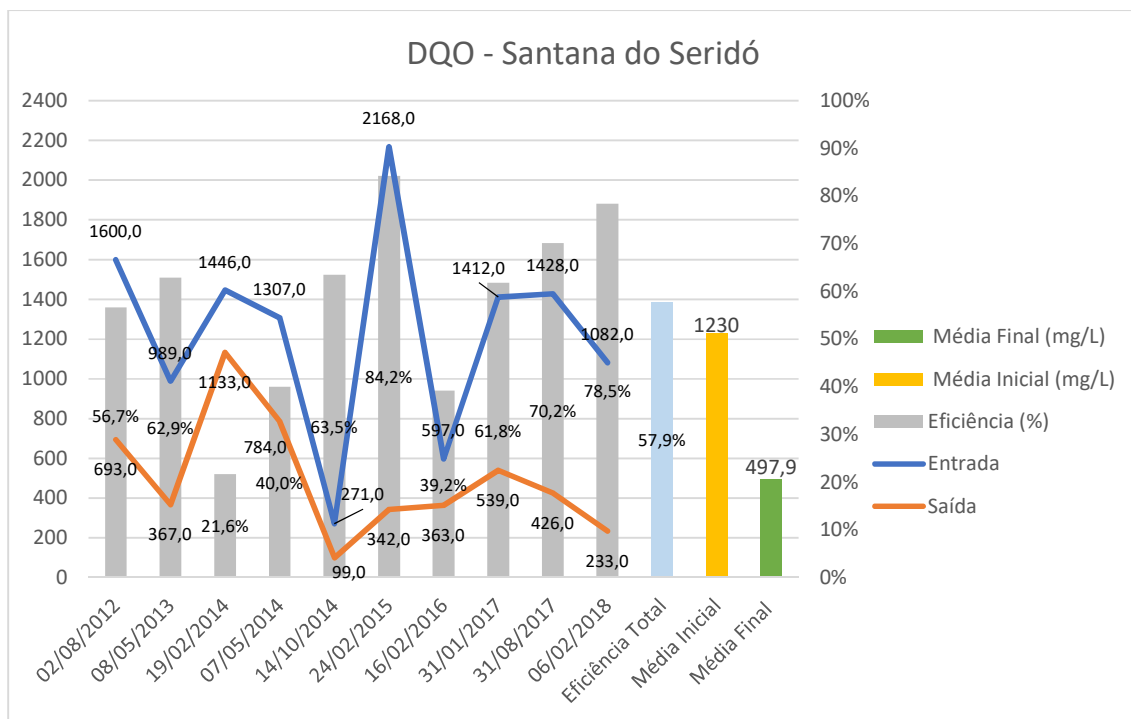
Em termos de comparação quantitativa o Quadro 15 mostra as concentrações médias de DQO nos efluentes brutos e tratados, bem como as eficiências médias da remoção desse parâmetro para as ETEs em estudo. É possível perceber que nenhuma das estações de tratamento de esgoto analisadas alcançaram valores de eficiências médias e concentrações finais de DQO dentro das faixas consideradas como satisfatórias na literatura para sistemas com essa mesma configuração.

No que concerne às concentrações afluentes, com exceção da ETE de Pipa, todas as demais estações de tratamento obtiveram resultados acima da faixa comumente encontrada na literatura, que varia de 450 mg/L a 800 mg/L. Uma possível explicação para essas altas concentrações no esgoto bruto seria a de contribuições industriais não relatadas. Outra possível causa pode estar vinculada a baixos consumos per capita de água, baixas taxas de infiltração e baixos coeficientes de retorno esgoto/água (FILHO, 2007).

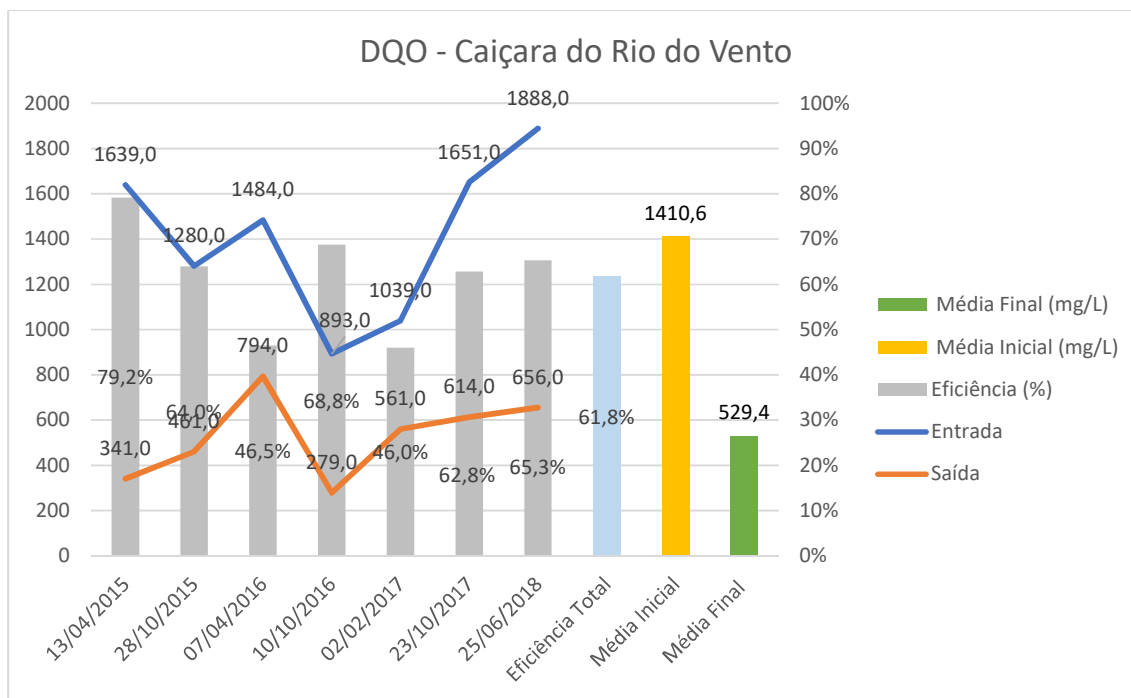
Quadro 15 - Eficiência das ETEs no tratamento de DQO

ETE	Concentração média de entrada de DQO	Concentração média de saída de DQO	Eficiência de tratamento
Santana do Seridó	1230,0 mg/L	497,9 mg/L	57,9%
Caiçara do Rio do Vento	1410,6 mg/L	529,4 mg/L	61,80%
Pipa	542,25 mg/L	237,75 mg/L	55,80%
Santo Antônio	1065,5 mg/L	458,00 mg/L	56,00%
Pedro Velho	1023,80 mg/L	350,00 mg/L	61,50%

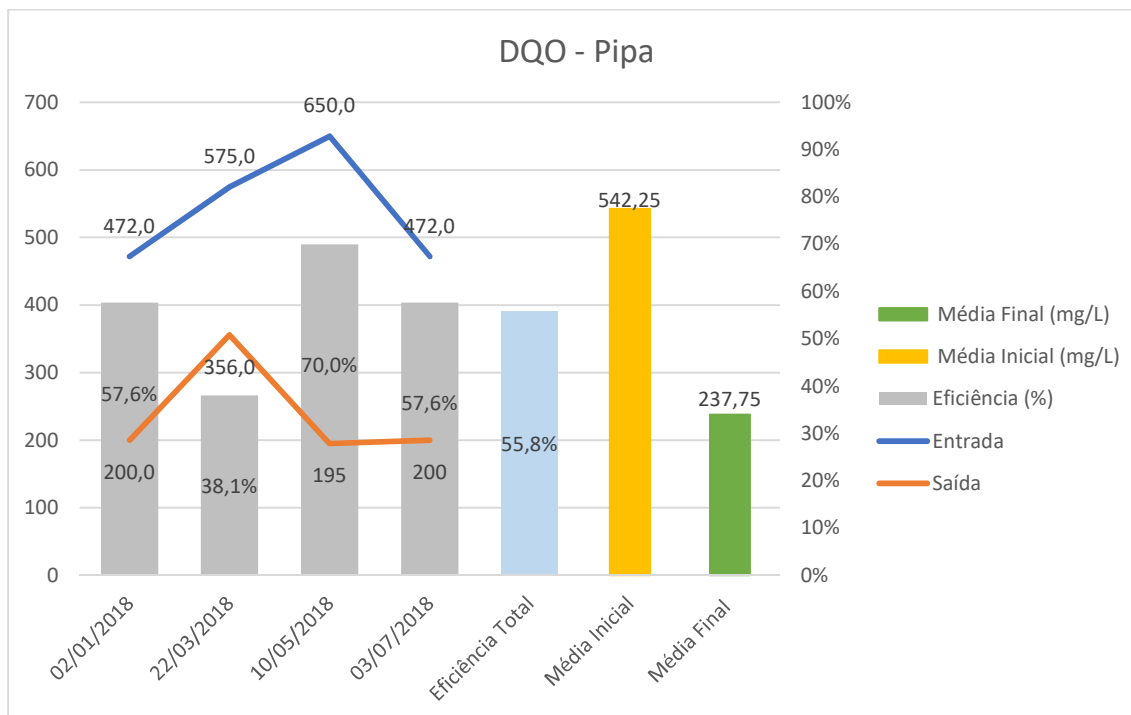
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 6 - Eficiência no tratamento de DQO – Santana do Seridó

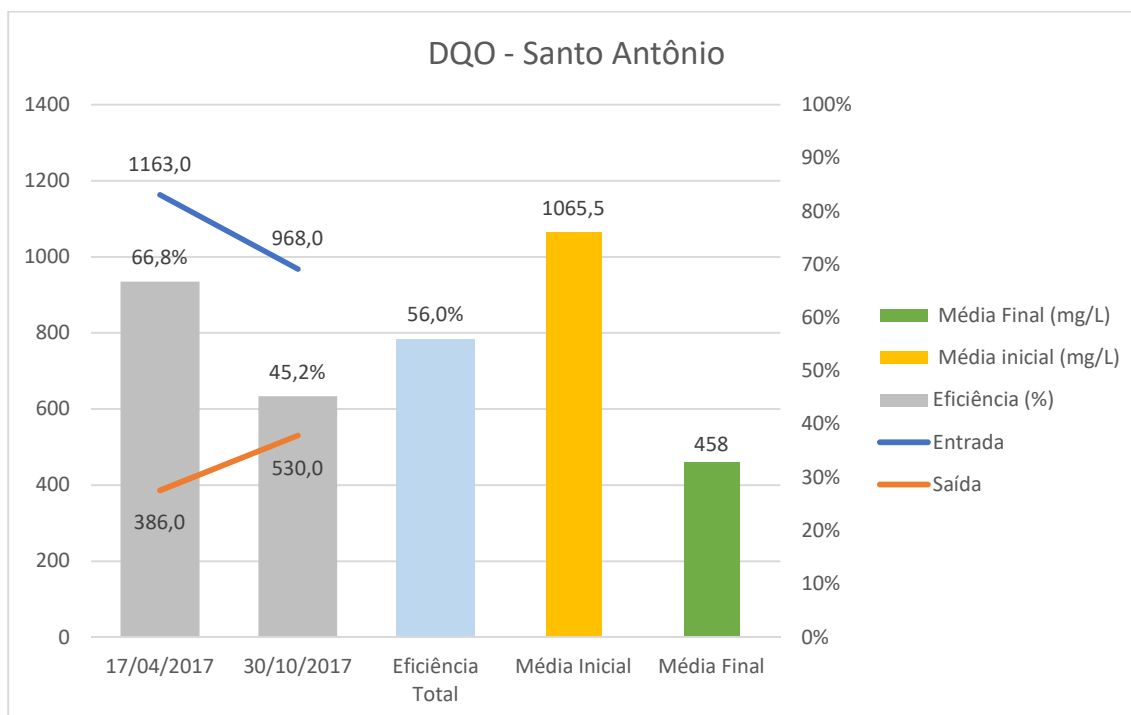
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 7 - Eficiência no tratamento de DQO – Caiçara do Rio do Vento

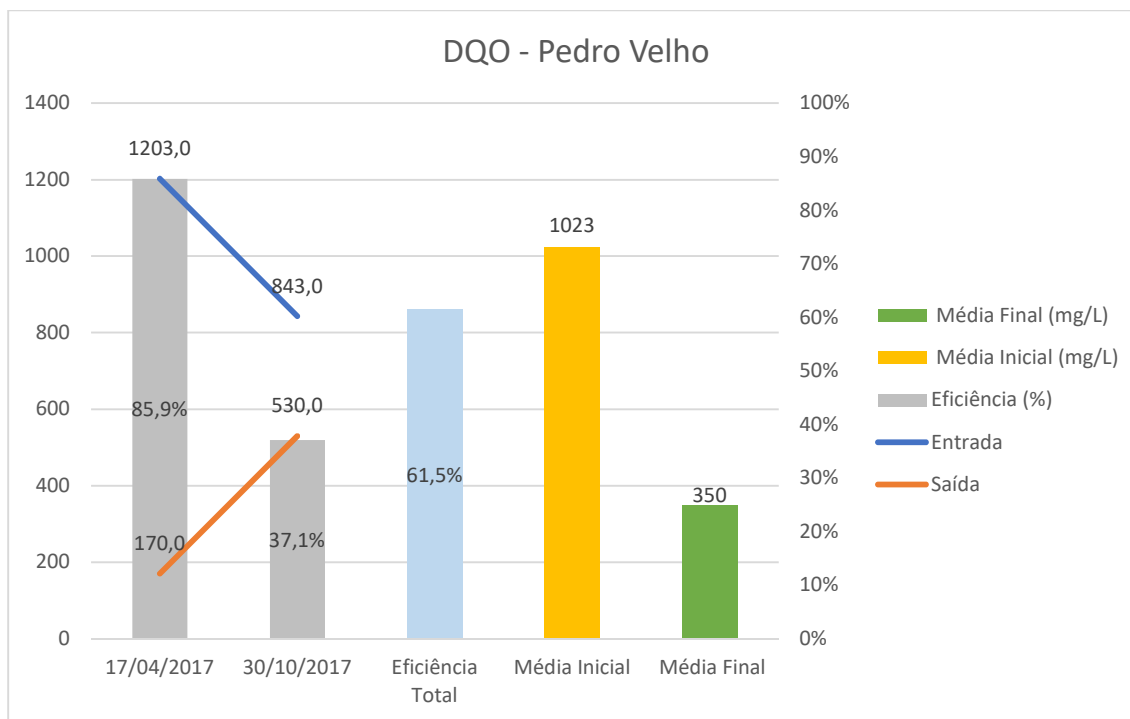
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 8 - Eficiência no tratamento de DQO – Pipa

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 9 - Eficiência no tratamento de DQO – Santo Antônio

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 10 - Eficiência no tratamento de DQO – Pedro Velho

Fonte: Autor (2019)

6.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL

De acordo com Von Sperling (2002), o fósforo se apresenta em esgotos domésticos principalmente na forma de fosfatos e fósforo orgânico, estando os fosfatos em maior quantidade. De todos os métodos existentes para o tratamento de esgotos, as lagoas de estabilização bem projetadas e operadas se mostram como boas alternativas para atingir eficiências significativas de remoção desse parâmetro. Em lagoas de maturação o principal mecanismo para a retirada desse nutriente é a precipitação dos fosfatos em condições de elevado pH (SOUZA, 2018).

Jordão (2011) afirma que em sistemas de tratamento de esgoto com as mesmas configurações das ETEs em estudo é esperado uma eficiência média na remoção dos fósforos totais do efluente tratado de no mínimo 40%. Analisando o Quadro 16, pode-se perceber que a remoção do fósforo nas ETEs em estudo foi bastante discreta, com valores bem abaixo do que normalmente é encontrado na literatura, mostrando inclusive eficiência de tratamento com valor inferior à 2% para a ETE de Caiçara do Rio do Vento. A remoção de fósforo pode ser maximizada dependendo das características físicas do sistema.

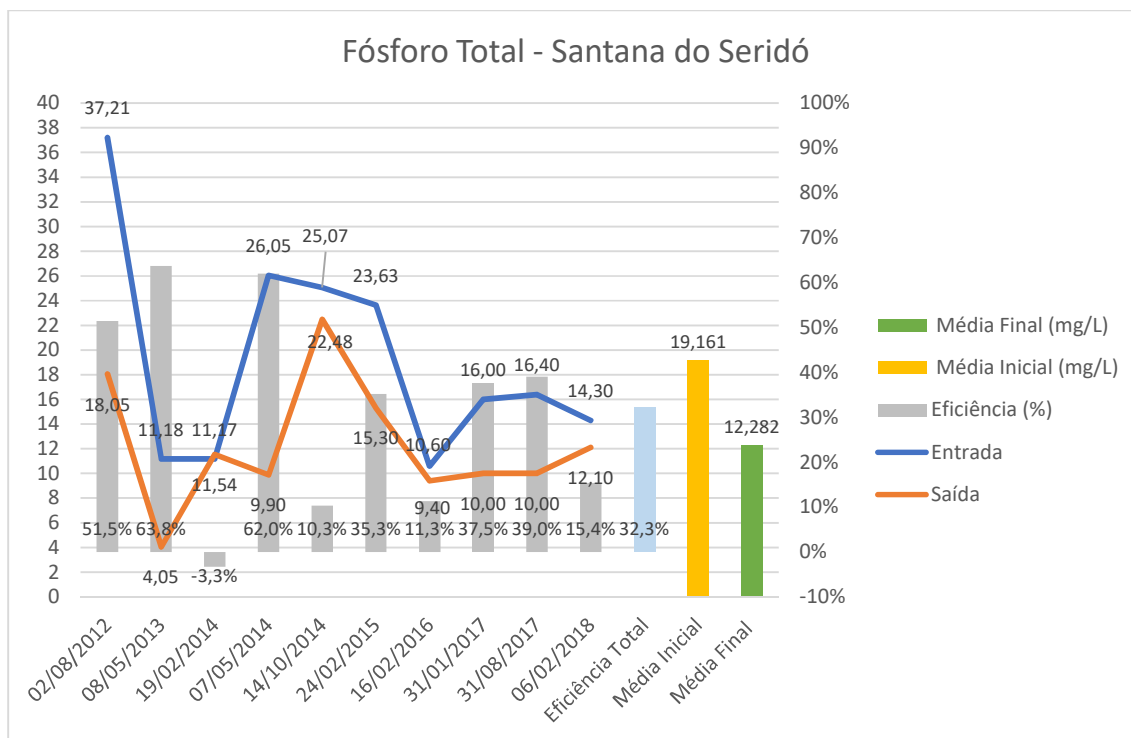
O CONAMA, em sua resolução nº 430/2011, deixa a cargo dos órgãos ambientais competentes definir os parâmetros praticáveis para o fósforo. A maioria das legislações voltadas para o reuso também não apresentam valores de concentrações ou eficiências de tratamento mínimas para o fósforo, uma vez que a necessidade do aporte deste nutriente vai depender do uso programado. Para irrigação, por exemplo, a necessidade deste nutriente vai depender da cultura a ser irrigada e das técnicas utilizadas (SOUZA, 2018).

Das ETEs analisadas, a de Santana do Seridó foi a que ao mesmo tempo recebeu a maior concentração média de fósforo no afluente bruto e a que alcançou o maior valor na eficiência de remoção de fósforo, com um valor de 32,30%.

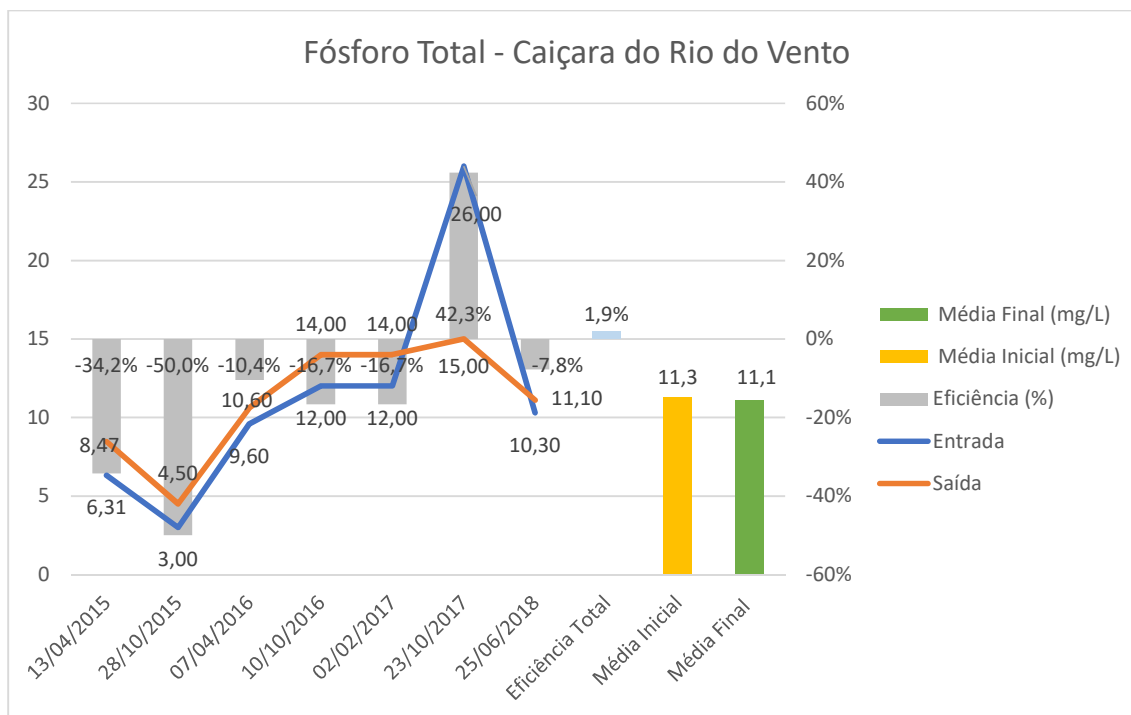
Quadro 16 - Eficiência das ETEs no tratamento de Fósforo Total

ETE	Concentração média de entrada de Fósforo Total	Concentração média de saída de Fósforo Total	Eficiência de tratamento
Santana do Seridó	19,16 P mg/L	12,28 P mg/L	32,30%
Caiçara do Rio do Vento	11,3 P mg/L	11,1 P mg/L	1,90%
Pipa	5,20 P mg/L	4,03 P mg/L	23,50%
Santo Antônio	12,20 P mg/L	9,65 P mg/L	8,90%
Pedro Velho	7,55 P mg/L	5,80 P mg/L	23,80%

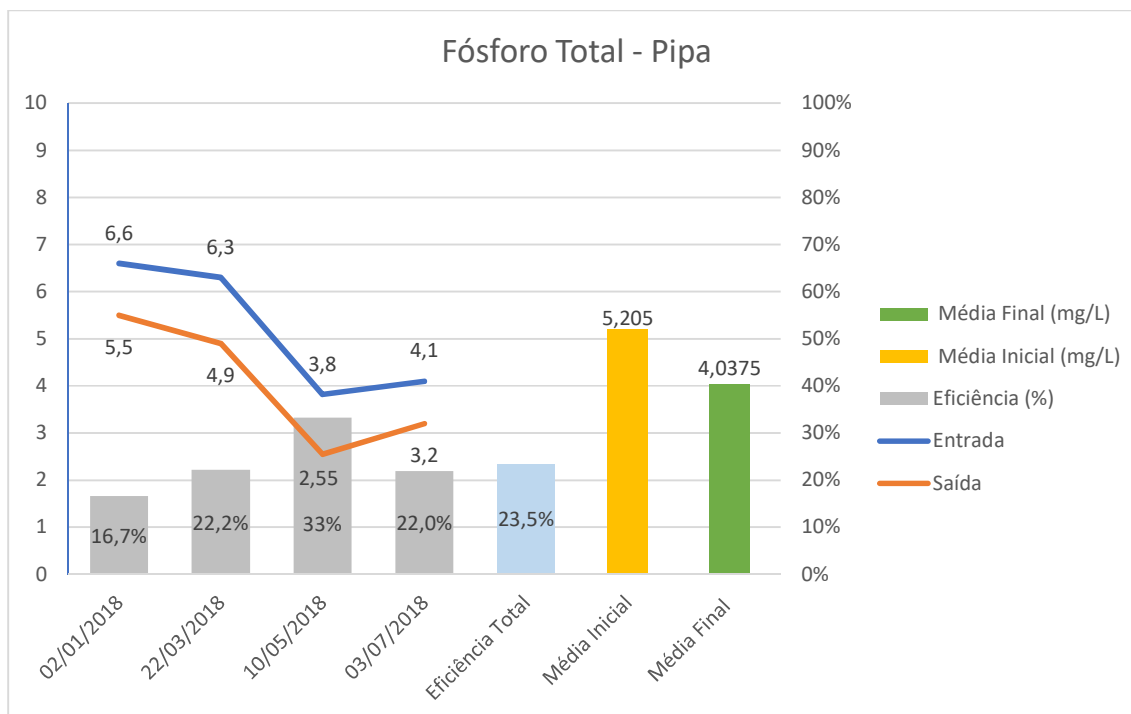
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 11 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Santana do Seridó

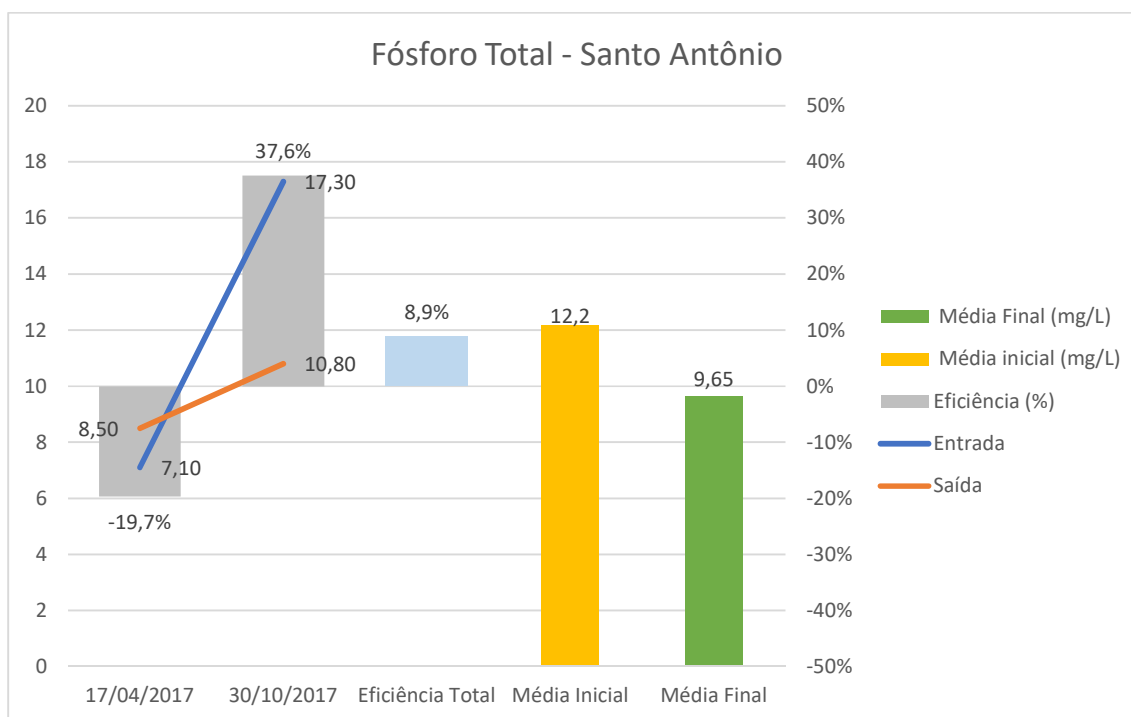
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 12 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Caiçara do Rio do Vento

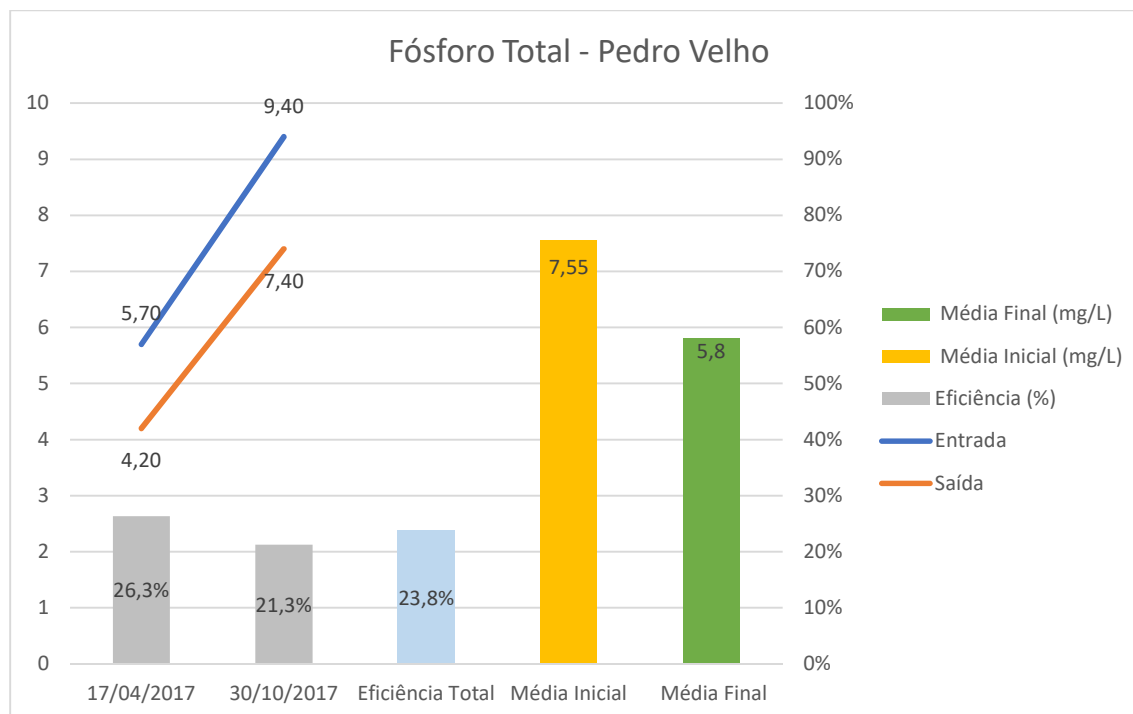
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 13 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Pipa

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 14 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Santo Antônio

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 15 - Eficiência no tratamento de Fósforo – Pedro Velho

Fonte: Autor (2019)

6.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONICAL

O nitrogênio é um nutriente responsável pelo crescimento dos vegetais. Valores elevados de nitrogênio aumentam a velocidade de desenvolvimento das plantações podendo prejudicar a qualidade e reduzir a massa final da cultura para qual as águas provenientes de estações de tratamento de esgoto estão sendo utilizadas, sendo necessário o monitoramento periódico para evitar o fornecimento desequilibrado deste nutriente (SOUSA, 2018).

Os principais mecanismos para a remoção do nitrogênio em lagoas de estabilização são: a volatilização da amônia (NH_3), assimilação da amônia pelas algas, assimilação dos nitratos pelas algas, nitrificação-desnitrificação e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. Tradicionalmente a volatilização da Amônia é considerado o mecanismo mais importante e para isso a atividade fotossintética das algas é primordial, uma vez eleva o pH do meio líquido favorecendo o desprendimento da amônia livre para a atmosfera (SOUSA, 2018 apud VON SPERLING 2014).

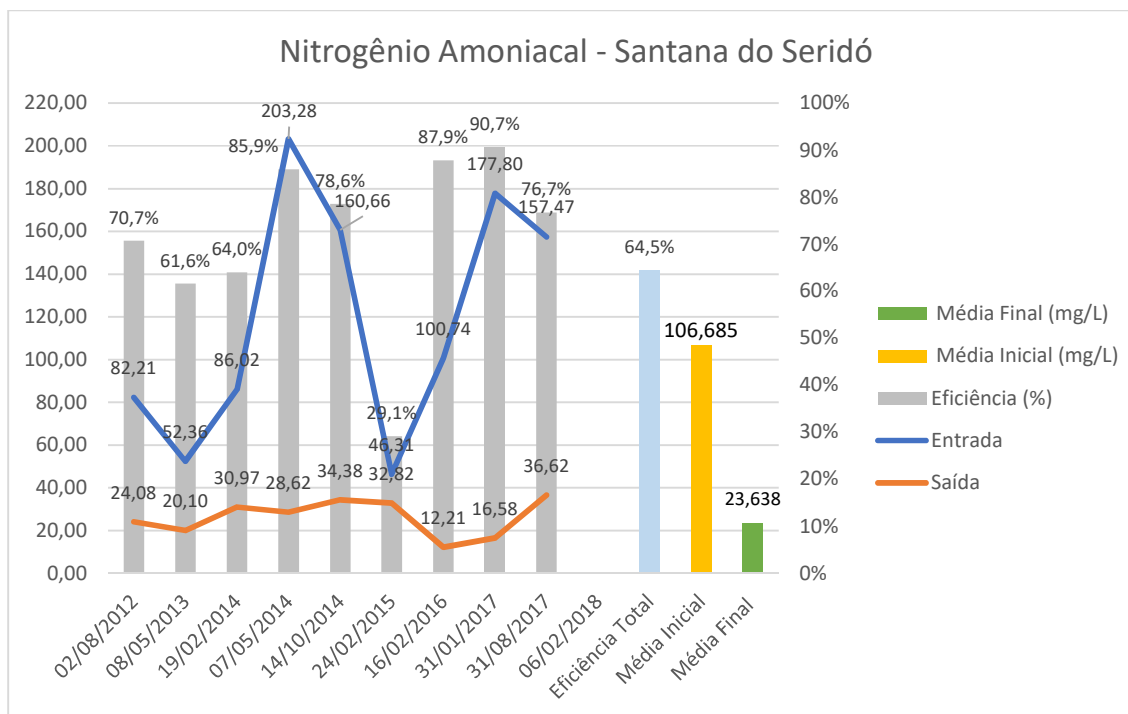
Em sua resolução nº 430/2011, o CONAMA sugere que a concentração máxima de nitrogênio amoniacal de 20 mg/L no efluente tratado pode ser aplicada a sistemas de tratamento de esgotos sanitários. No entanto, em função das características locais, fica a critério do órgão ambiental competente determinar as condições e padrões de lançamento referentes ao nitrogênio.

Em esgotos provenientes dos mesmos sistemas de tratamento de esgoto das ETEs em estudo, compostos por lagoa facultativa e lagoas de maturação, é esperado uma redução média na concentração de nitrogênio amoniacal de 40 a 65% (JORDÃO, 2011). Analisando o Quadro 17 pode-se perceber que apenas as ETEs de Santo Antônio e Pipa alcançaram concentrações de nitrogênio amoniacal no efluente tratado dentro do limite sugerido pela CONAMA. Ainda de acordo com o Quadro 17, as estações de Caiçara do Rio do Vento e de Pipa não apresentaram eficiências de remoção condizentes com a faixa esperada na literatura. Um fator que pode explicar valores baixos nos índices de eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal é a baixa variação de pH durante as fases de tratamento, uma vez que para se alcançar boa remoção é necessário um pH com valores superiores a 9, condição que favorece a volatilização da amônia (HENRIQUES, 2018 apud VON SPERLING, 2002).

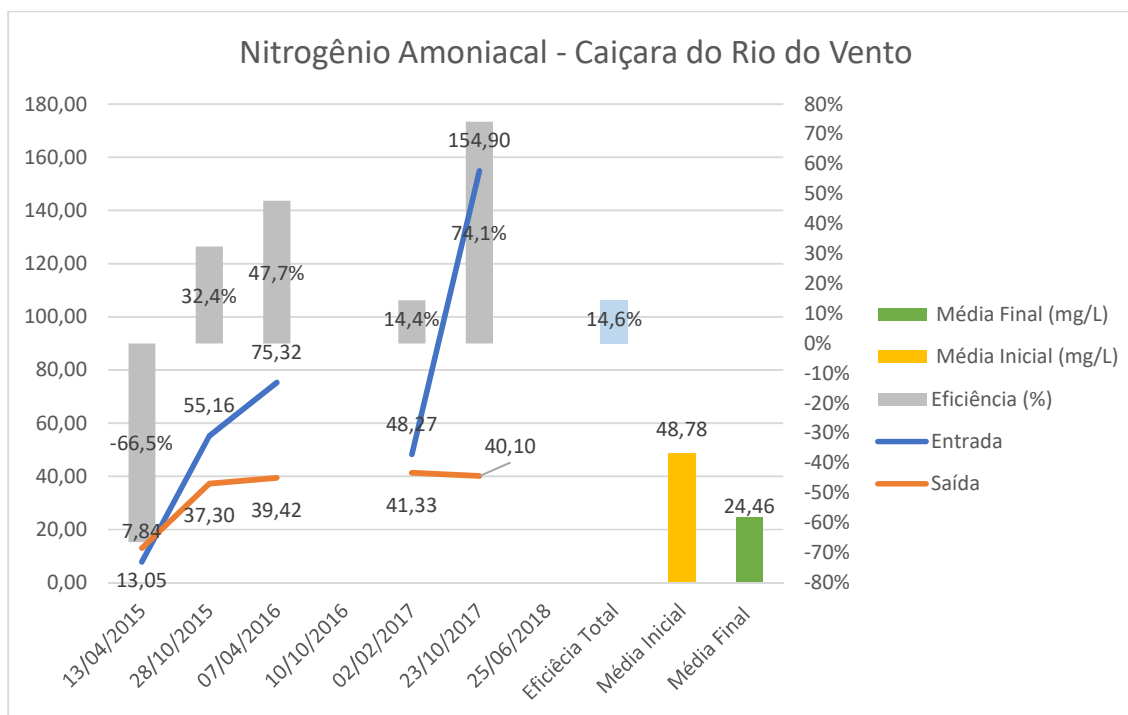
Quadro 17 - Eficiência das ETEs no tratamento de Nitrogênio Amoniacal

ETE	Concentração média de entrada de Nitrogênio Amoniacal	Concentração média de saída de Nitrogênio Amoniacal	Eficiência de tratamento
Santana do Seridó	165,68 NH_3^{2-} - N mg/L	23,63 NH_3^{2-} - N mg/L	64,50 %
Caiçara do Rio do Vento	48,78 NH_3^{2-} - N mg/L	24,46 NH_3^{2-} - N mg/L	14,60 %
Pipa	13,96 NH_3^{2-} - N mg/L	5,63 NH_3^{2-} - N mg/L	30,00 %
Santo Antônio	35,82 NH_3^{2-} - N mg/L	16,79 NH_3^{2-} - N mg/L	52,50 %
Pedro Velho	46,04 NH_3^{2-} - N mg/L	21,75 NH_3^{2-} - N mg/L	53,40 %

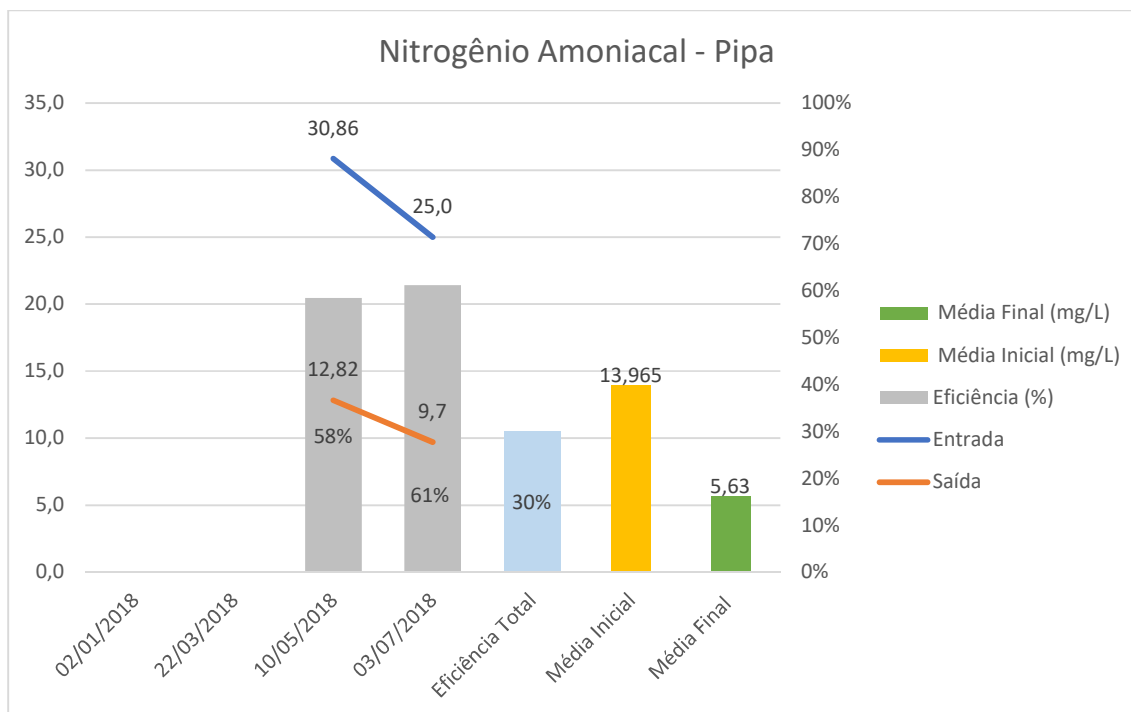
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 16 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Santana do Seridó

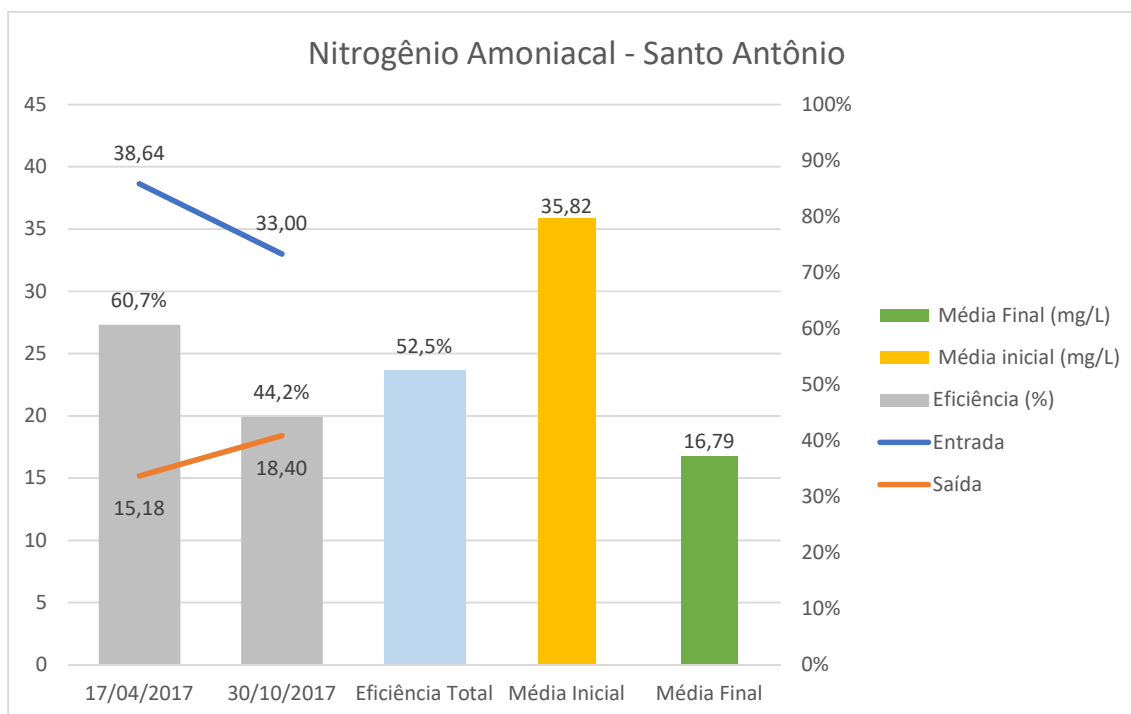
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 17 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Caiçara do Rio do Vento

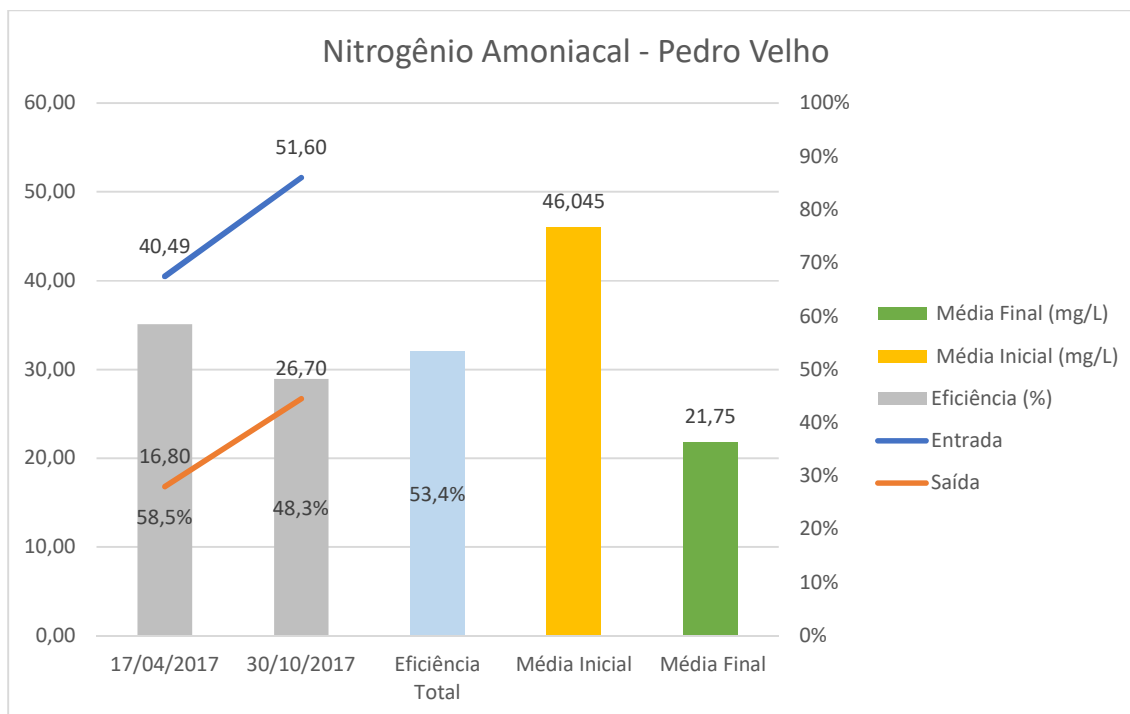
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 18 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Pipa

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 19 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Santo Antônio

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 20 - Eficiência no tratamento de Nitrogênio Amoniacal – Pedro Velho

Fonte: Autor (2019)

6.3 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Para as análises de tratamento o teor de sólidos sedimentáveis presente no esgoto é determinado pelo método da sedimentação com cone Imhoff. O CONAMA estabelece através do Art. 16 de sua resolução nº 430, a concentração máxima para materiais sedimentáveis de 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento de esgotos em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os sólidos sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.

Foi observado, como mostra o Quadro 18, que para as estações de tratamento analisadas, as maiores médias de concentrações de sólidos sedimentáveis foram registradas no esgoto bruto, o que é comum nesse tipo de efluente. Ao fim do tratamento, essas concentrações reduziram e apresentaram valores bastante baixos. O maior decaimento na concentração deste parâmetro ocorreu na ETE de Santo Antônio, onde a eficiência média de tratamento chegou a 98,6%. Este resultado indica que ocorreu decantação destes sólidos para compor a biomassa do lodo presente no fundo da lagoa facultativa (HENRIQUES, 2018).

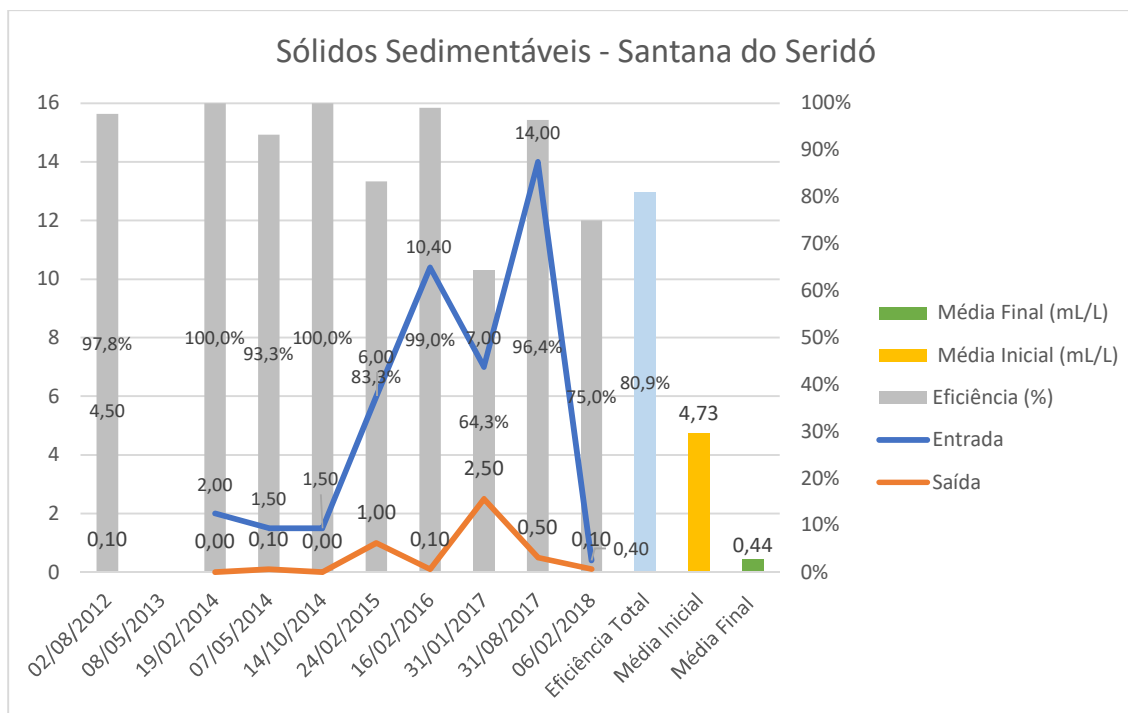
Com exceção da ETE de Caiçara do Rio do Vento, que apresentou um teor médio de 2,92 mL/L de sólidos sedimentáveis no efluente tratado, todas as outras estações de tratamento alcançaram concentrações finais médias dentro do limite estabelecido pelo CONAMA, e com valores de eficiência acima de 65,0%.

Quadro 18 - Eficiência das ETEs na remoção de Sólidos Sedimentáveis

ETE	Teor médio de entrada de Sólidos Sedimentáveis	Teor médio de saída de Sólidos Sedimentáveis	Eficiência de tratamento
Santana do Seridó	4,73 mL/L	0,44 mL/L	80,90 %
Caiçara do Rio do Vento	8,57 mL/L	2,92 mL/L	58,70 %
Pipa	2,55 mL/L	0,37 mL/L	66,00 %
Santo Antônio	16,00 mL/L	0,20 mL/L	98,60 %
Pedro Velho	4,25 mL/L	0,25 mL/L	83,30%

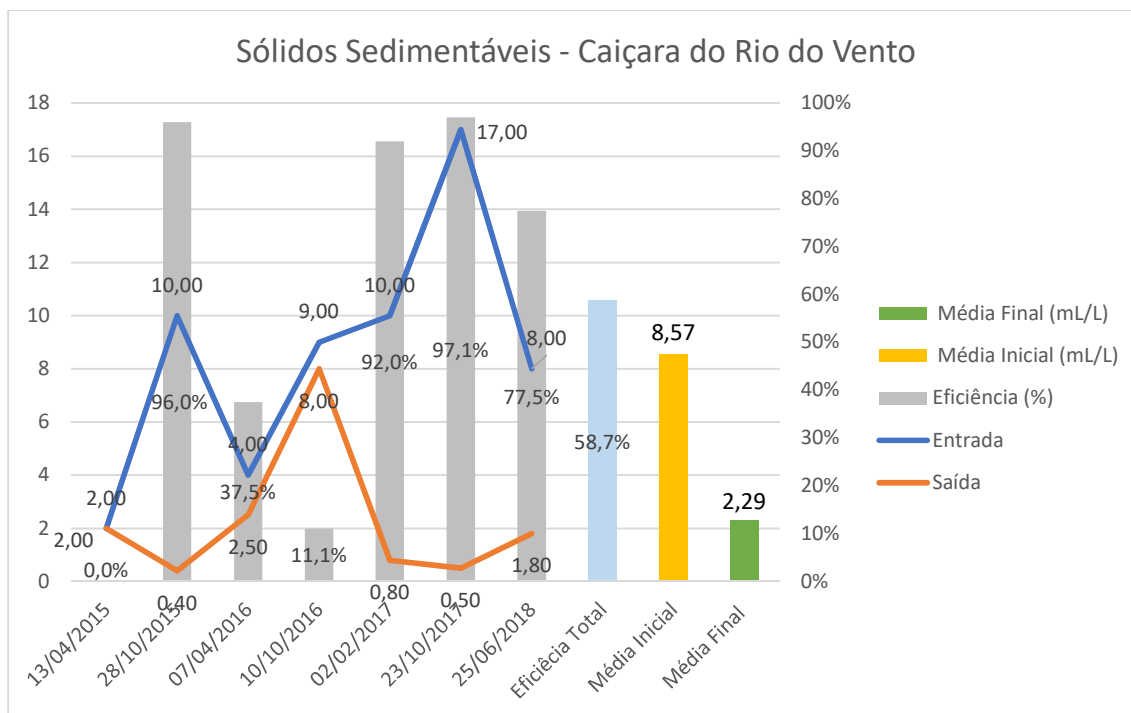
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 21 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Santana do Seridó



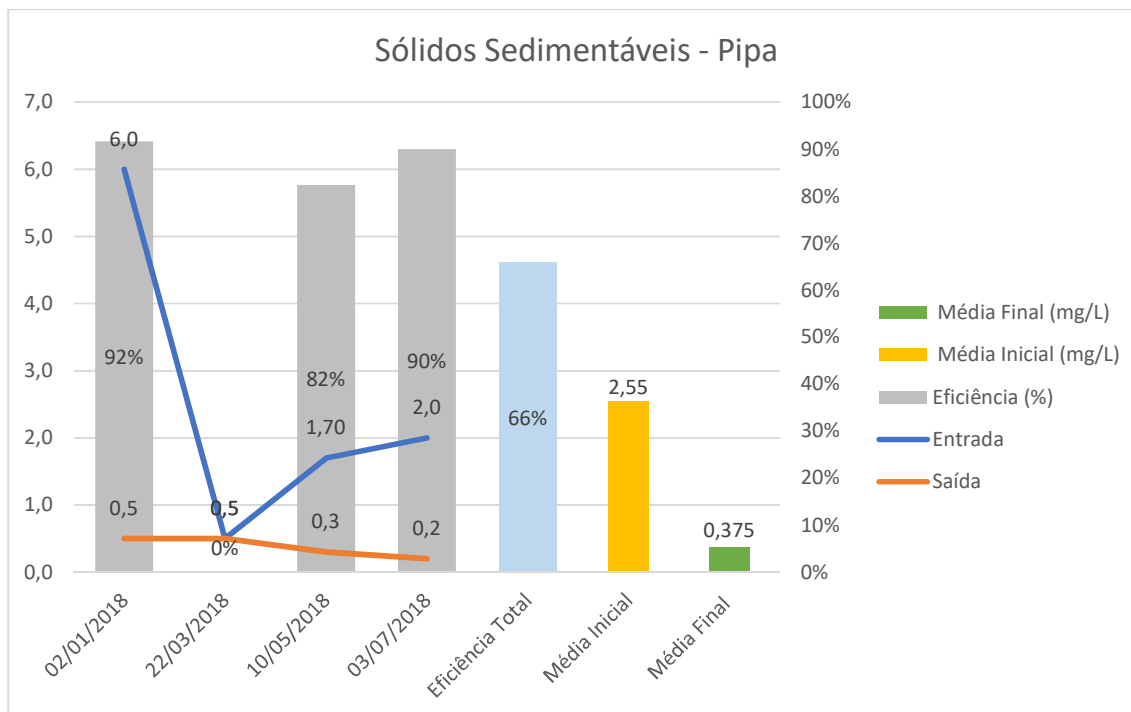
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 22 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Caiçara do Rio do Vento

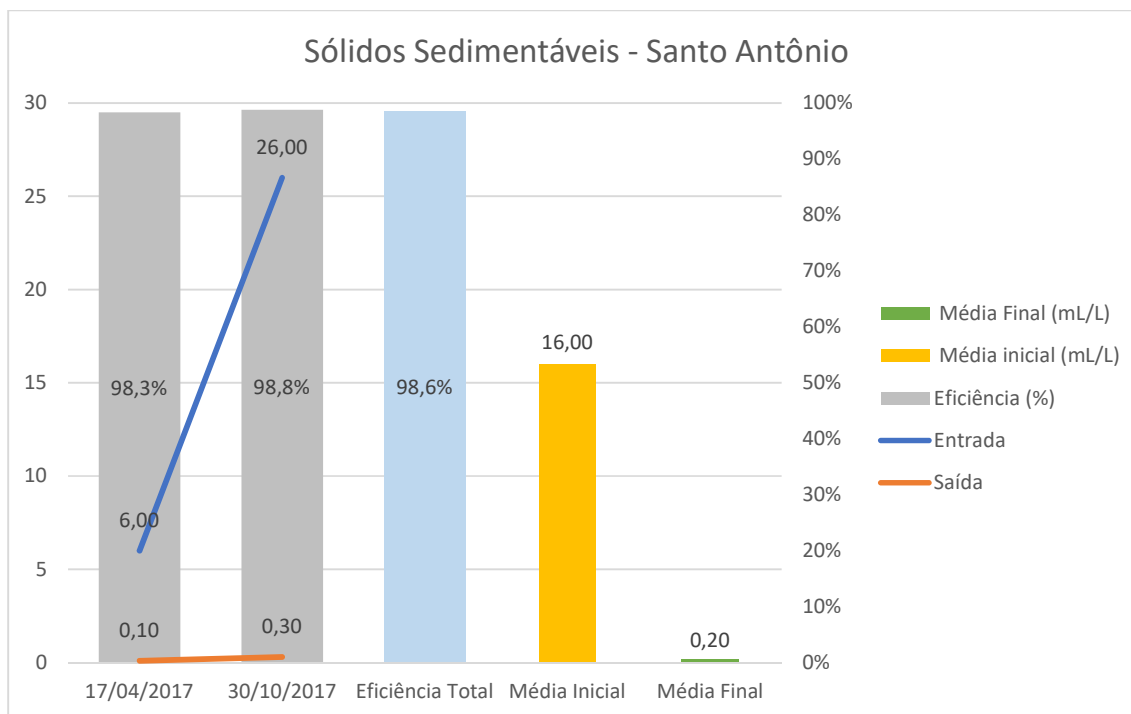


Fonte: Autor (2019)

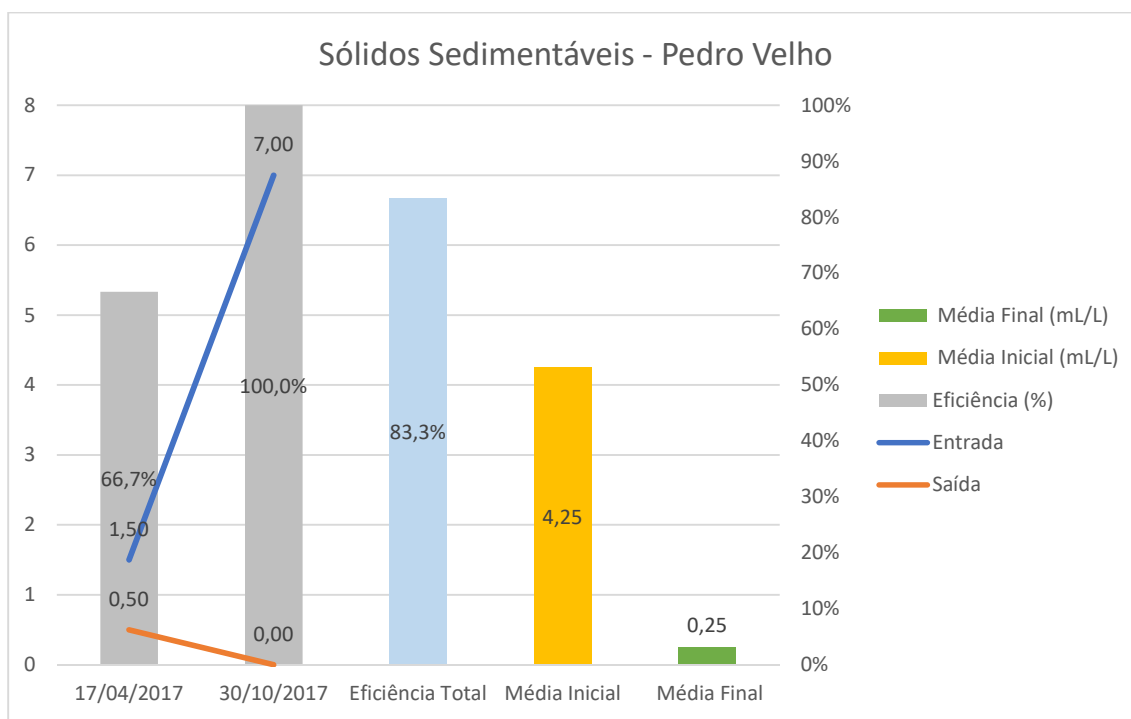
Gráfico 23 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Pipa



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 24 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Santo Antônio

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 25 - Eficiência no tratamento de Sólidos Sedimentáveis – Pedro Velho

Fonte: Autor (2019)

6 CONCLUSÕES

A partir das análises dos diagnósticos de eficiências e diante dos resultados obtidos nessa pesquisa a cerca das cinco estações de tratamento de esgoto, do tipo lagoa de estabilização, no estado do Rio Grande do Norte, foi possível perceber que:

- As eficiências médias para a remoção de matéria orgânica (DBO_5) obtidas pelas ETEs analisadas apresentaram valores condizentes com os sistemas de tratamento implantados, e dentro da faixa considerada satisfatória na literatura (80% a 90%). Apesar das indicações de estarem operando em condição de sobrecarga orgânica, todas as ETEs alcançaram concentrações para o efluente final dentro do limite especificado pelo CONAMA (120 mg/L).

- Em relação ao parâmetro DQO, mesmo não sendo estabelecido pelo CONAMA um valor de concentração máximo permitido para o efluente tratado, nenhuma das ETEs analisadas alcançou eficiências de remoção e concentrações finais dentro do que se é esperado na literatura.

- No que diz respeito à remoção dos fósforos totais, para as ETEs em estudo os valores encontrados das eficiências de tratamento desse parâmetro foram bastante discretos, bem abaixo do que normalmente é encontrado na literatura para sistemas com as mesmas configurações (40%). O CONAMA deixa a cargo dos órgãos ambientais competentes definir os parâmetros praticáveis para o fósforo.

- Em esgotos provenientes dos mesmos sistemas de tratamento de esgoto das ETEs em estudo, é esperado uma eficiência de redução na concentração de nitrogênio amoniacal de 40% a 65%. As ETEs de Pipa e Caiçara do Rio do vento não apresentaram eficiências de remoção condizentes com os valores encontrados na literatura. Apenas as ETEs de Santo Antônio e Pipa alcançaram concentrações médias de nitrogênio dentro do limite sugerido pelo CONAMA (20 mg/L).

- Para a remoção de sólidos sedimentáveis o CONAMA estabelece a concentração final máxima de 1 mL/L em teste de 1 hora em cone inmhoff. Com exceção da ETE de Caiçara do Rio do Vento, que apresentou concentração média de 2,92 mL/L, todas as demais estações de tratamento analisadas alcançaram concentrações finais médias dentro do limite estabelecido, com valores de eficiência de remoção acima de 65,0%.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnósticos de serviços de águas e esgoto 2016**. Brasília, 2018

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**: dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 21 set. 2018.

CAMPOS, José Roberto (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
CARVALHO, Anésio; OLIVEIRA, Mariá. **Princípios básicos do saneamento do meio**. São Paulo: Senac São Paulo, 2010.

FILHO, Pedro. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

HENRIQUES, Margarida. **Avaliação da remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo total em uma estação de tratamento de esgotos do tipo lagoas de estabilização em série na cidade de Mossoró-RN**. 2018. 67 f. Mestrado (Ciências naturais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais – Faculdade de Ciências Exatas e Naturais – FANAT – Universidade Do Estado Do Rio Grande Do Norte – UERN, Mossoró, 2018.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

JORDÃO, Eduardo; PESSOA, Constantino. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro, 2011.

LEME, Edson José. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

OLIVEIRA, Ewerton. **Avaliação da remoção de matéria orgânica na estação de tratamento de esgotos de Ponta Negra/rn**. Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal 2005.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; PELICIONI, Maria Cecília Focesi. **Educação ambiental e sustentabilidade**. 2. ed. Barueri: Manole, 2014. 1004 p. il. (Coleção Ambiental, v. 4).

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 2015.

RODRIGUES, Lucas et al. **Cartografia do saneamento básico do Rio Grande do Norte**. Confins, n. 34, 2018.

SOUZA, Marcel. **Avaliação da prática do reúso com esgoto tratado em lagoas de estabilização no semiárido do rio grande do norte**. Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade e ao tratamento de esgotos, v. 1**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização, v. 3**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básico do tratamento de esgoto, v. 2**. Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 1996.