



ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS NO MUNICÍPIO DE HORIZONTE, CEARÁ

ARTIGO ORIGINAL

MEDEIROS, Saulo César Arrais de¹

MEDEIROS, Saulo César Arrais de. **Análise de eficiência de uma estação de tratamento de efluentes em uma indústria de bebidas no município de Horizonte, Ceará.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 04, Vol. 02, pp. 146-180. Abril de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/industria-de-bebidas>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/industria-de-bebidas

RESUMO

Atualmente, a crise hídrica vem sendo um grande problema para toda a população mundial, e, diante disso, é necessário que medidas sejam tomadas para preservação desse recurso altamente valioso à existência da vida. Como uma forma de mitigar tal crise, técnicas para reutilizar a água vêm crescendo entre pessoas e indústrias de forma a auxiliar na diminuição com os gastos de água. Dessa forma, busca-se atingir um consumo mais sustentável e econômico deste recurso de suma importância. Por conta disso, esta pesquisa parte do seguinte questionamento: a partir da análise da estação de tratamento estudada, o efluente gerado está apto a ser reutilizado obedecendo os parâmetros estabelecidos pelas regulamentações e legislações vigentes? Assim, o presente trabalho tem por objetivo geral analisar a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes, que tem como finalidade reutilizar a água em processos que tragam sustentabilidade a Empresa. A metodologia adotada consiste em um estudo de caso em uma indústria de bebidas localizada no município de Horizonte, no estado do Ceará, ao qual buscou-se analisar uma estação de tratamento de efluentes, na qual recebe contribuição dos efluentes gerados nos processos industriais e, também, nos resíduos provenientes dos sanitários existentes. A partir disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que serviu de embasamento para fundamentação deste artigo, assim como foram realizadas as coletas de dados, que consistem nas visitas técnicas realizadas à estação de tratamento para levantamento de dados. Foram analisados, para caracterizar a eficiência, diversos parâmetros para verificação e comparação com a legislação vigente do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) e pela Norma Regulamentadora (NBR 16969). O tratamento do efluente apresentou, em sua totalidade, resultados positivos apesar



de que em alguns períodos da pesquisa a estação de tratamento apresentou problemas técnicos, diminuindo a eficiência esperada. Porém, apesar dos problemas, não comprometeu a eficiência necessária para atender ao que é exigido pela resolução COEMA. A análise da água de reuso foi satisfatória atendendo aos padrões recomendados pela NBR 13969.

Palavras-chave: Estação de Tratamento; Reuso de água; Análise de Eficiência.

1. INTRODUÇÃO

Reuso de água é a reutilização da água, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade. (FIORI; FERNANDES e PIZZO, 2006)

Ainda segundo Fiori; Fernandes e Pizzo (2006), para alcançar uma solução mais sustentável, a racionalização do uso da água combinado com seu reúso adequado contribuem para poupar este recurso que vem se tornando bastante escasso.

A solução de reusar a água tem como objetivo evitar o consumo de água potável em procedimentos em que a necessidade de potabilidade seja dispensável. Além de contribuir com a sustentabilidade e melhorias para futuras gerações, quem reutiliza água tem uma economia bastante considerável. (HESPANHOL, 2003)

Diante disso, surge o questionamento deste artigo: a partir da análise da estação de tratamento estudada, o efluente gerado está apto a ser reutilizado obedecendo os parâmetros estabelecidos pelas regulamentações e legislações vigentes?

Ademais, de acordo com a Norma Brasileira 9648 de 1986, que trata do estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, define-se esgoto sanitário como: “despejo líquido de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. (ABNT, 1986)

Vale salientar que o nível de tratamento da água é proporcional ao nível de pureza final que é estabelecido, quanto maior o grau dos contaminantes a serem extraídos, mais complicado é o sistema de tratamento. (MIERZWA e HESPANHOL, 2012)



O objetivo geral é analisar a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes, que tem como finalidade reutilizar a água em processos que tragam sustentabilidade a Empresa. Os objetivos específicos são avaliar os valores dos seguintes parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Materiais Sedimentáveis, Nitrogênio Total, pH, Amônia Total, Materiais Flutuantes, Sólidos Suspensos, Sulfato, Coliformes Termotolerantes, Substâncias solúveis em Hexano e Sulfeto, ao longo do tempo de estudo. Analisando estatisticamente se há uma variabilidade nos resultados obtidos durante um ano de tratamento. Comparar os resultados obtidos dos parâmetros com a legislação COEMA nº 02, artigo 12 de 2017 e avaliar a eficiência da água de reuso analisando se está dentro dos padrões conforme a NBR 13969/1997 da ABNT e COEMA/CE Nº 02.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada consiste em um estudo de caso em uma indústria de bebidas, em que foi analisada uma estação de tratamento de efluentes com posterior reúso de água. A partir disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca do assunto combinado com diversas visitas técnicas para levantamento de dados.

2.1 LOCAL DE PESQUISA

Para a realização da pesquisa foi analisada uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas, localizada no município de Horizonte, distante 43 quilômetros de Fortaleza, na qual foi projetada para tratar todo o efluente gerado nos processos industriais e esgoto em geral provenientes das bacias sanitárias.

A Figura 1 mostra uma visão geral da estação de tratamento.

Figura 1: Estação de Tratamento de Efluentes.



Fonte: Autor (2018).

2.2 PARÂMETROS ANALISADOS

Para elaboração desse trabalho foram levantados dados de um ano de tratamento (outubro de 2017 a outubro de 2018) no qual foram analisados diversos parâmetros seguindo as diretrizes gerais do método *Standart Methods for the Examinations of Water and Wasterwater 22th Edition* (2012), para verificação dos limites estabelecidos pela COEMA Nº 2 de 02 de fevereiro de 2017. Os parâmetros analisados foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH, Amônia Total, Fósforo Total, Materiais Flutuantes, Materiais Sedimentáveis, Nitrogênio Total, Sólidos Suspensos Totais, Sulfato, Coliformes Termotolerantes, Substâncias Solúveis em Hexano e Sulfeto.

As verificações foram realizadas mensalmente na entrada do esgoto bruto, também chamado de afluente, onde foi analisado os parâmetros de DBO, DQO, Fósforo Total, Materiais Sedimentáveis e Nitrogênio Total e, também, na saída da estação, chamado de efluente, onde foram analisados todos os parâmetros acima citados.



Por motivos estritamente particulares, a Empresa não realizou as verificações dos parâmetros referentes ao mês de março de 2018 e, também, não foram realizadas as verificações dos parâmetros de DBO, Fósforo Total e Nitrogênio Total no mês de maio de 2018.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ETE

Visando tratar com eficiência os efluentes gerados, a estação de tratamento utiliza o procedimento de Lodos Ativados, um dos métodos mais utilizados para tratamento de águas residuárias domésticas e industriais. A ETE é responsável por tratar em média uma vazão de 13,4 m³/h e é composta pelos seguintes procedimentos:

- Peneiramento: é a primeira etapa da estação de tratamento, e tem como objetivo reter sólidos mais grosseiros, além de fazer uma primeira filtragem, também evita danificação dos processos adiante. O peneiramento é feito por duas peneiras mecanizadas, que são alternadas quando é necessário realizar a limpeza de uma delas. É importante salientar que na estação em questão, pouco material grosseiro foi detectado.

Figura 2: Peneira Mecanizada.



Fonte: Autor (2018).

- Tanque de Equalização: tem como objetivo misturar e homogeneizar o efluente industrial e o efluente proveniente das bacias sanitárias. Nesta etapa, um compressor de ar é utilizado para fazer a mistura dos efluentes. O tanque de equalização foi construído em concreto e tem dimensões de 14 metros de comprimento por 11 metros de largura, com capacidade de 585 m³.

Figura 3: Tanque de Equalização do efluente.



Fonte: Autor (2018).

- Regulador de pH: No Equalizador é retirado uma amostra do efluente para ser verificado o pH, pois dependendo do pH a atividade bacteriana pode ser comprometida. Após verificação, o efluente deve estar com o pH entre 7 e 8,5, caso esteja abaixo do intervalo ideal, o efluente é submetido ao processo de dosagem de cal. Em situação contrária, ou seja, caso o pH se encontre acima do intervalo, o efluente é submetido a uma dosagem de ácido fosfórico.

- Reator Biológico Aerado: Nesta etapa do processo, em um reservatório construído de concreto, com dimensões de 24 metros de comprimento por 13 metros de largura e capacidade para, aproximadamente, 1.622 m³ é feito a dosagem das bactérias do tipo aeróbia. O mesmo compressor de ar utilizado no equalizador, é utilizado no RBA, porém nessa etapa existem difusores de ar com membranas para controlar essa saída brusca de ar fazendo com que a oxigenação ocorra de forma mais homogênea mantendo a atividade plena das bactérias.

Figura 4: Reator Biológico Aerado.



Fonte: Autor (2018).

- Decantadores: Após passagem pelo RBA, o efluente chega aos dois decantadores. A partir disso, o lodo formado pelas bactérias fica depositado no fundo dos reservatórios, onde dependendo do estado do lodo, são levados para os leitos de secagem. Durante esse processo, o efluente fica em constante recirculação com o RBA para aproveitar ao máximo a atividade das bactérias existentes e, assim, tratar a água com maior eficiência. E, por fim, no topo do reservatório há um captador de água tratada que segue para os tanques de reutilização.

Figura 5: Decantadores.



Fonte: Autor (2018).

- Leitos de Secagem: Local para onde é destinado o lodo resultante do processo de tratamento do efluente, onde posteriormente é utilizado como adubo no programa de reflorestamento da região.

Figura 6: Leitos de secagem do lodo.



Fonte: Autor (2018).

- Tanque de Reutilização de água: Reservatório final do tratamento, com capacidade de 676 m³, onde toda a água tratada dos Decantadores é destinada. Todo o efluente gerado é tratado e reutilizado na jardinagem e nas bacias sanitárias.

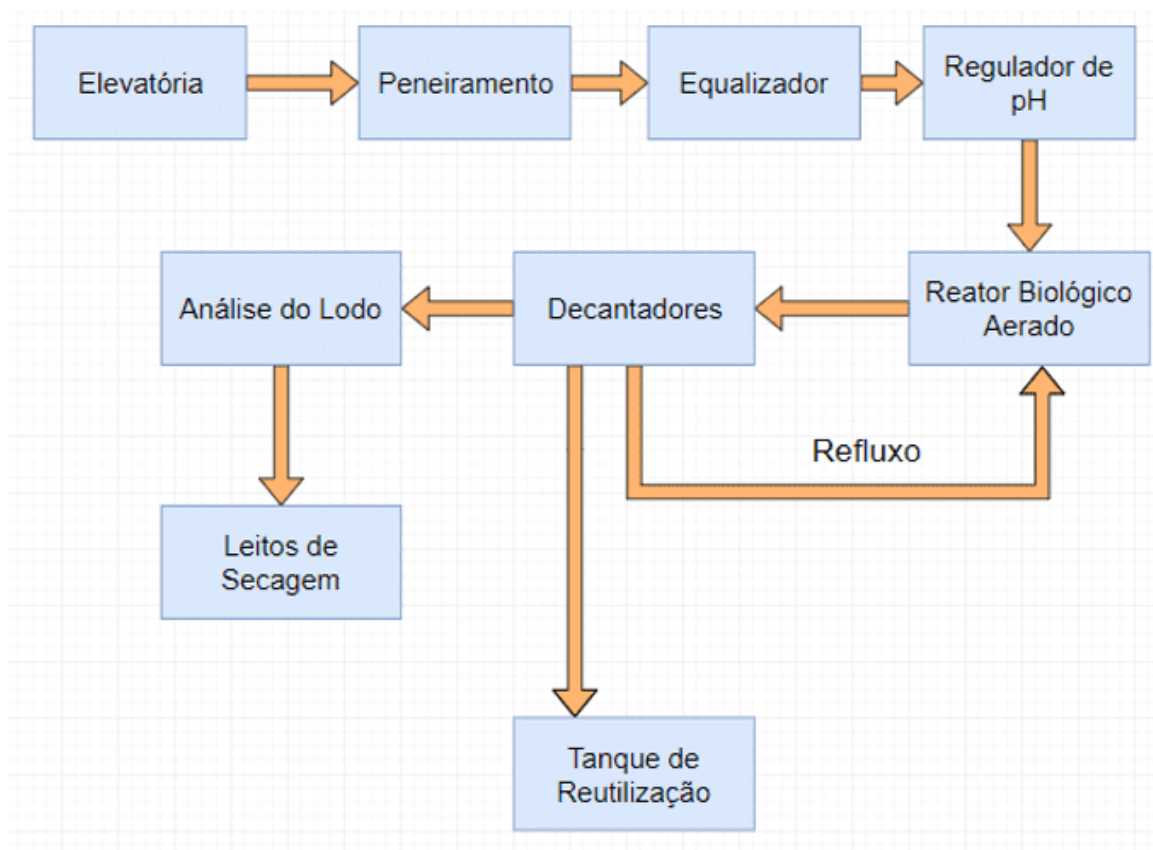
Figura 7: Tanque de Reuso.



Fonte: Autor (2018).

A Figura 8 abaixo, mostra um esquema resumido das etapas em sequência do tratamento do esgoto bruto até a saída do efluente tratado.

Figura 8: Esquema dos processos da ETE.



Fonte: Autor (2018).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para uma melhor análise e dados mais precisos foram utilizados cálculos estatísticos de Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos resultados obtidos para a maioria dos parâmetros analisados.

A média (\bar{x}) é calculada através da somatória dos resultados obtidos de cada mês analisado, dividido pela quantidade de meses em que o estudo foi fundamentado. Como mostra a equação 1



$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (1)$$

Em que x é o resultado obtido para cada mês de cada parâmetro analisado e N é o número total de meses analisados.

O desvio padrão e o coeficiente de variação, segundo Bonafini (2015), tem como objetivo apresentar a variabilidade dos resultados em uma amostra, geralmente comparados com a média dos resultados para proporcionar uma descrição geral de um conjunto de dados.

O desvio padrão (D.P) é calculado pela raiz quadrada do somatório dos quadrados da diferença entre cada valor observado e a média aritmética desses valores, dividida pela quantidade de meses menos um, conforme mostra a equação 2.

$$D.P = \sqrt{\sum \frac{(x - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

Em que x é o valor de cada parâmetro analisado em cada mês; \bar{x} é a média aritmética dos valores; N é o número de meses em que foi estudado.

O Coeficiente de variação (C.V) é calculado dividindo-se o desvio padrão pela média e, depois, multiplica-se por 100 para obter o resultado em porcentagem. Conforme mostra a equação 3.

$$C.V = \frac{D.P}{\bar{x}} * 100 \quad (3)$$



3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

3.1 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

A análise de eficiência da estação de tratamento foi realizada a partir dos parâmetros que são verificados mensalmente por ensaios de amostras feitos em laboratórios terceirizados, para que sejam comparados com o que a Resolução COEMA Nº 2 (2017), Artigo 12 estabelece.

As Tabelas 1 e 2 abaixo, mostram os resultados obtidos dos parâmetros que são analisados no esgoto bruto e no esgoto tratado.

Tabela 1: Parâmetros do afluente.

| | Out 2017 | Nov 2017 | Dez 2017 | Jan 2018 | Fev 2018 | Abr 2018 | Mai 2018 | Jun 2018 | Jul 2018 | Ago 2018 | Set 2018 | Out 2018 | |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| DBO(mg/L) | 560 | 220 | 540 | 510 | 560 | 520 | - | 635 | 614 | 450 | 492 | 281 | |
| DQO (mg/L) | 1017,1 | 413,6 | 1010,7 | 924,4 | 1077,7 | 1045,6 | 2229,7 | 1199,2 | 993,6 | 848,7 | 1057,8 | 613,4 | |
| Fósforo Total (mg/L) | 4,55 | 4,06 | 8,4 | 5,17 | 12,63 | 6,07 | - | 2,22 | 3,8 | 4,11 | 0,07 | 6,78 | |
| Materiais Sediment. (mL/L.h) | 2,5 | 1,8 | 20 | 11 | 1 | 6 | 0,1 | 8,3 | 4,5 | 0,2 | 6 | 20 | |
| Nitrogênio Total (mg/L) | 1,7 | 2 | 5,4 | 2,32 | 9,13 | 2,08 | - | 7,05 | 11,62 | 0,9 | 0,6 | 5,5 | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Autor (2018).

Tabela 2: Parâmetros do efluente.

| | Out 2017 | Nov 2017 | Dez 2017 | Jan 2018 | Fev 2018 | Abr 2018 | Mai 2018 | Jun 2018 | Jul 2018 | Ago 2018 | Set 2018 | Out 2018 | |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| pH | 7,99 | 7,8 | 7,5 | 7,55 | 7,63 | 7,66 | 7,1 | 7,85 | 7,5 | 7,81 | 7,62 | 8,15 | |



| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| DBO (mg/L) | 15 | 9 | 105 | 13 | 8 | 10 | - | 30 | 44,3 | 110 | 4,4 | 9,6 | |
| DQO (mg/L) | 27,7 | 15,2 | 228 | 21,9 | 15,1 | 21,3 | 189,5 | 57,4 | 83 | 243 | 21,4 | 62 | |
| Amônia Total (mg/L) | 0,79 | 0,73 | 0,98 | 0,77 | 1,3 | 1,39 | 2,57 | 5,3 | 0,42 | 2,01 | 4,5 | 0,27 | |
| Fósforo Total (mg/L) | 0,87 | 3,8 | 0,01 | 1,1 | 1,89 | 2,12 | - | 6,24 | 11,98 | 5,83 | 3,45 | 14 | |
| Materiais Flut. | ----- Ausência ----- | | | | | | | | | | | | |
| Materiais Sedimen. (mL/L.h) | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 1 | 0,1 | |
| Nitrogênio Total(mg/L) | 3,3 | 1,1 | 12,1 | 0,82 | 1,4 | 2,03 | - | 3 | 0,64 | 1,65 | 0,3 | 5,75 | |
| Sólidos Susp. Totais (mg/L) | 8 | 12 | 7 | 5 | 10 | 8 | 28,7 | 14 | 26 | 94 | 21 | 9 | |
| Sulfato(mg/L) | 3,61 | 27,72 | 21,86 | 0,1 | 15,6 | 0,1 | 128,3 | 16,28 | 45,76 | 70,33 | 0,36 | 35,3 | |
| Coliformes Termot. (NMP/100 mL) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| Subst. Sol. Hexano (mg/L) | 2 | 5 | 7,7 | 5,2 | 3,7 | 2 | 8,7 | 2 | 4,5 | 16,3 | 6,8 | 2,6 | |
| Sulfeto (mg/L) | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |

Fonte: Autor (2018).

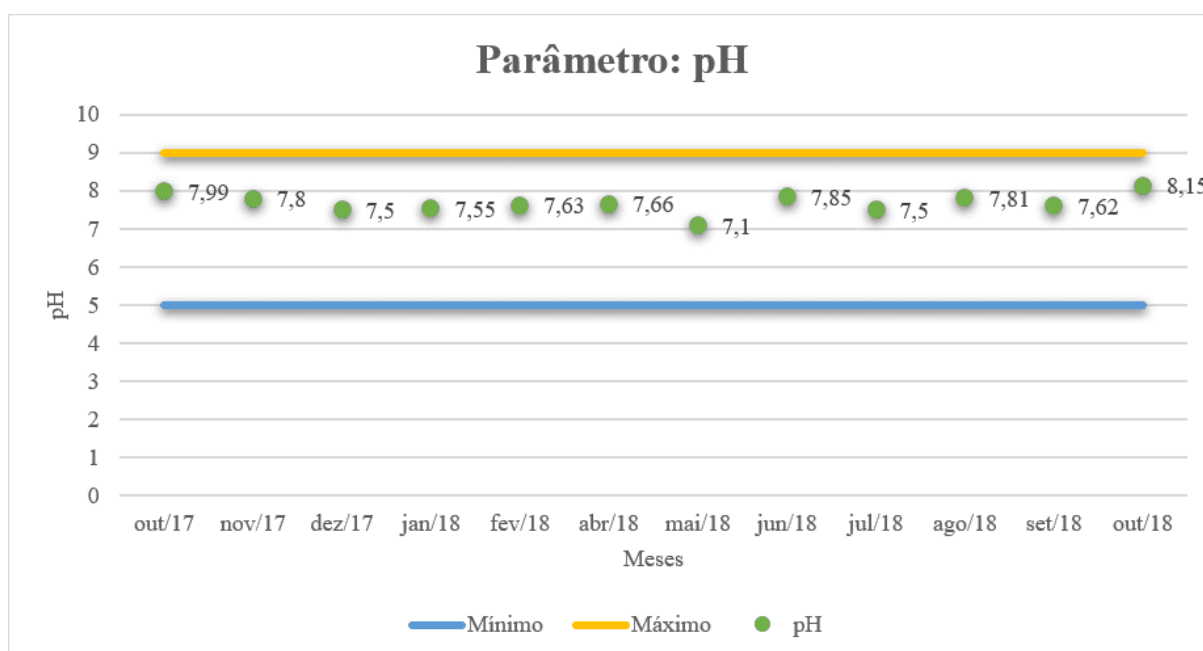
3.1.1 ANÁLISE DO PH

Segundo Sperling (2005), o pH representa a concentração de íons hidrogênio, mostrando um indicativo sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade do efluente.

Ainda segundo Sperling (2005), é importante a verificação de pH, pois quando detectado pH muito baixo, causa corrosividade nas águas para abastecimento. Caso seja detectado pH elevado, pode gerar incrustações nas águas. Além disso, quando detectado valores de pH que fogem da neutralidade, pode-se afetar a atividade bacteriana nos efluentes.

O gráfico 1 abaixo mostra os valores de pH obtidos pelos ensaios realizados ao longo dos meses em que o estudo foi realizado.

Gráfico 1: Análise do pH do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, o menor valor do pH foi de 7,1 em maio de 2018 e o maior foi de 8,15 em outubro de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Medidas de Dispersão para o pH.

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|----------------------|-----------|
|----------------------|-----------|



| | |
|-----------------------|------|
| Média | 7,68 |
| Desvio Padrão | 0,27 |
| Coef. de Variação (%) | 0,27 |

Fonte: Autor (2018).

Diante dos cálculos estatísticos, foi observado que os valores obtidos para o pH são bem próximos da média, ou seja, são mais constantes ao longo dos meses. Dessa Maneira, o desvio padrão próximo de zero mostra que a variação do pH foi muito baixa, sendo comprovado pelo Coeficiente de Variação

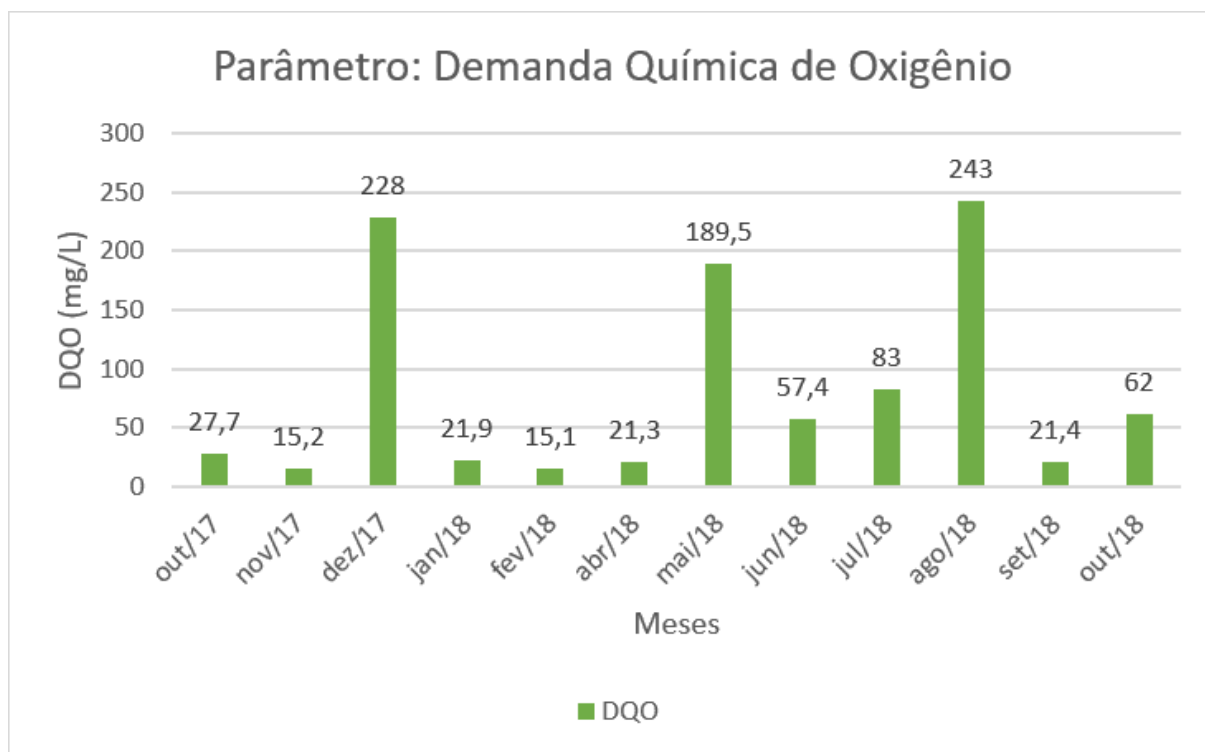
Portanto, conforme exige a COEMA (2017), o efluente só poderá ser destinado a um corpo hídrico se o pH estiver entre o mínimo de 5 e o máximo de 9. Diante disso, como mostra o gráfico 1, os resultados obtidos para o parâmetro pH do efluente satisfazem ao que é exigido pela legislação.

3.1.2 ANÁLISE DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Segundo Sperling (2005), a DQO estima o consumo de oxigênio necessário para estabilizar quimicamente a matéria orgânica.

O Gráfico 2 mostra os resultados obtidos de DQO ao longo dos meses analisados

Gráfico 2: Análise da DQO do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, o menor valor de DQO observado foi em fevereiro de 2018 e o maior foi em agosto de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Medidas de Dispersão para DQO.

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 82,125 |
| Desvio Padrão | 86,684 |
| Coef. de Variação (%) | 105,55 |

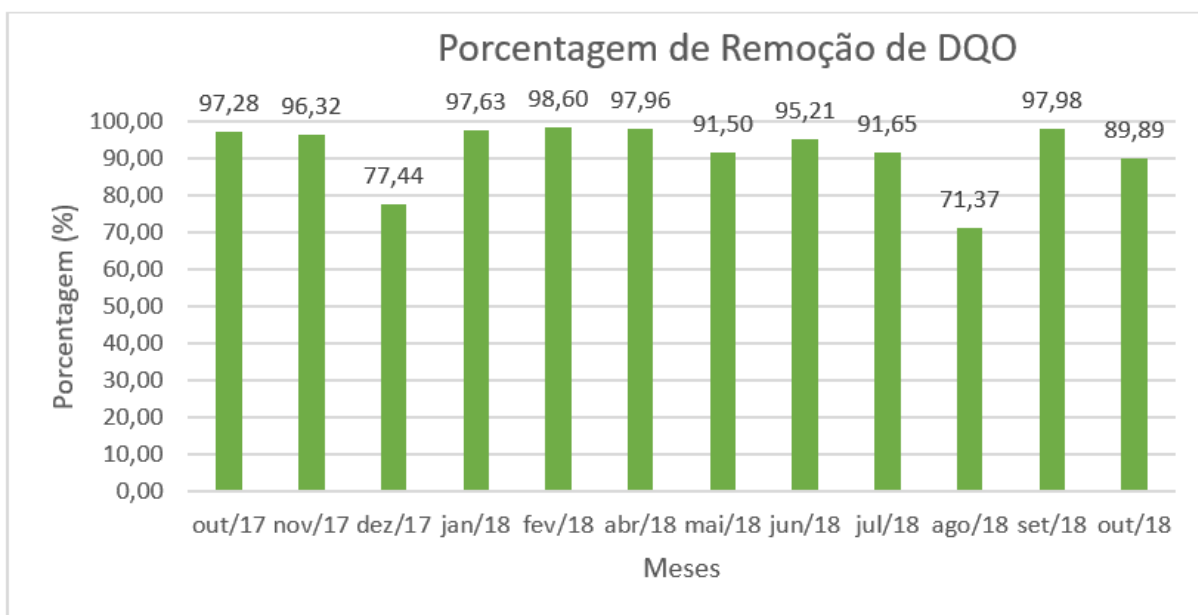
Fonte: Autor (2018).

Diante dos cálculos estatísticos, foi observado que os valores estabelecidos estão com uma variação bastante acentuada quando comparados com sua média entre os

meses analisados. Conforme mostra o desvio padrão e o coeficiente de variação provando que a DQO sofreu bastante oscilação durante o período.

O gráfico 3 a seguir, mostra a porcentagem de DQO que foi removida após o processo de tratamento do efluente.

Gráfico 3: Porcentagem de Remoção de DQO.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, constata-se a menor porcentagem de remoção de DQO no mês de agosto de 2018 e a maior em fevereiro de 2018. A média de remoção de DQO no período analisado foi de 91,9%.

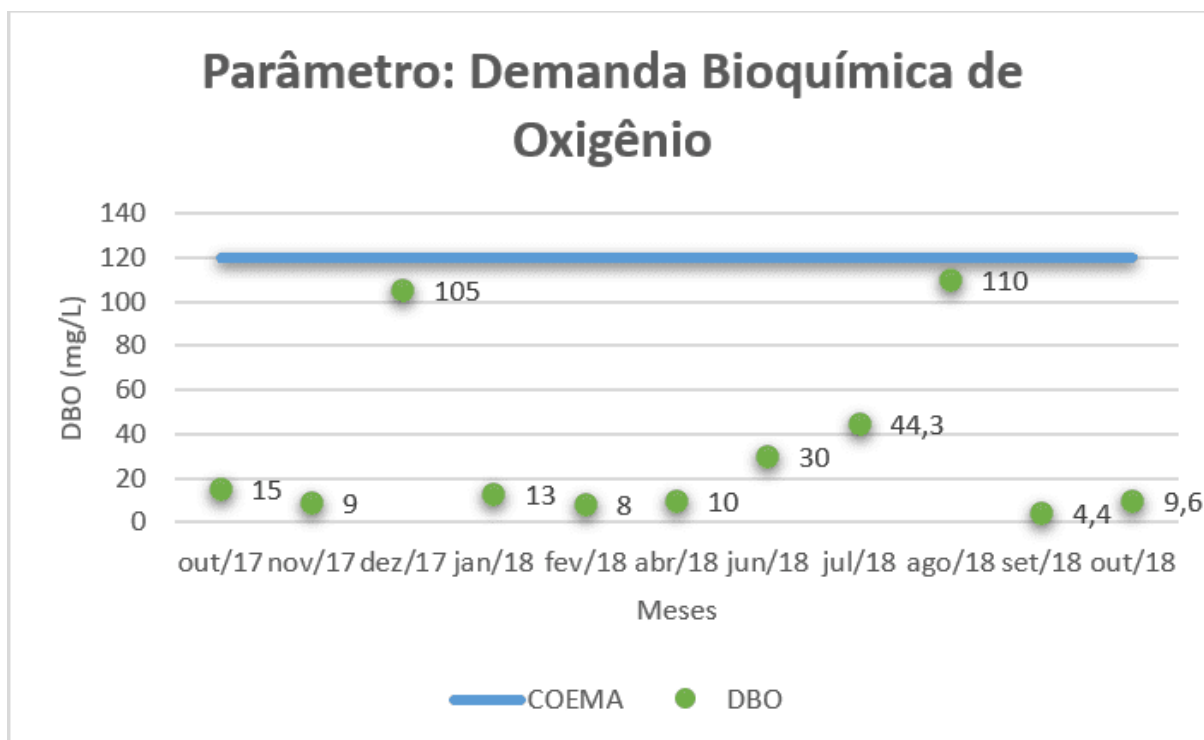
A COEMA (2017) não estabelece um valor a ser atendido para a DQO do efluente, porém a Empresa trabalha com uma meta de remoção de 85%. Contudo, nos meses de dezembro de 2017 e agosto de 2018 a meta não foi alcançada devido a problemas nos difusores de ar utilizados para oxigenar as bactérias, com isso as bactérias não tiveram uma eficiência adequada.

3.1.3 ANÁLISE DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

Para Sperling (2005), a DBO é um dos parâmetros mais essenciais a serem analisados pois ele indica o nível de poluição de um corpo d'água.

O Gráfico 4 mostra os resultados obtidos para a DBO ao longo dos meses de análise.

Gráfico 4: Análise da DBO do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, o menor valor de DBO observado foi em setembro de 2018 e o maior foi em agosto de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Medidas de Dispersão para DBO.

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|----------------------|-----------|
| Média | 32,573 |

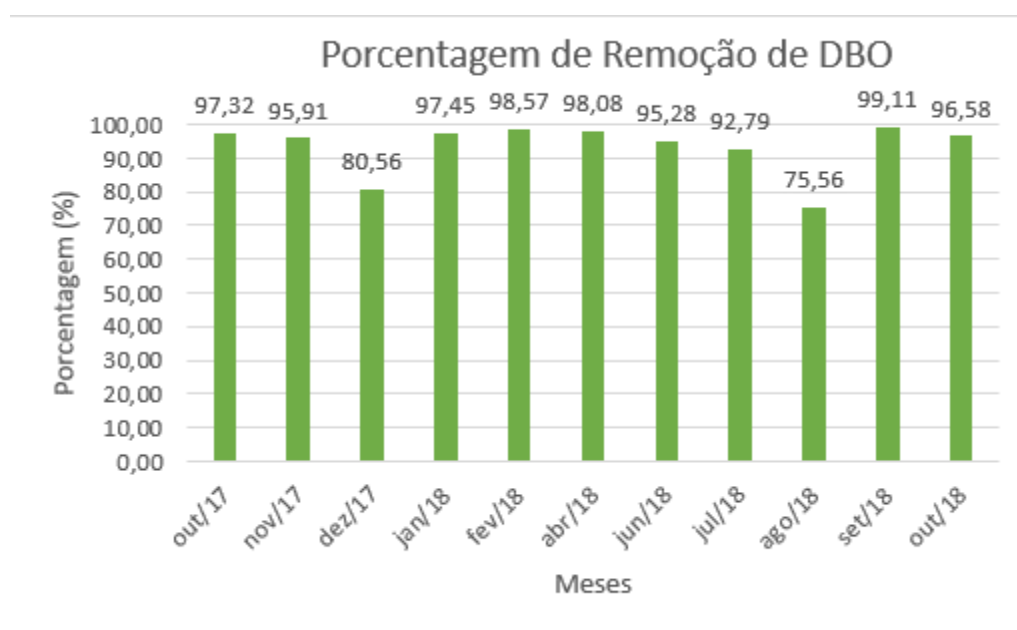
| | |
|-----------------------|--------|
| Desvio Padrão | 40,16 |
| Coef. de Variação (%) | 123,29 |

Fonte: Autor (2018).

Diante dos cálculos estatísticos, foi observado uma variação alta entre os valores estabelecidos para a DBO comparados com a sua média entre os meses de estudo. O desvio padrão e o coeficiente de variação mostram isso matematicamente, já que resultados muito acima de zero mostram a alta oscilação dos resultados.

O gráfico 5 a seguir, mostra a porcentagem de DBO que foi removida após o processo de tratamento do efluente.

Gráfico 5: Porcentagem de Remoção de DBO.



Fonte: Autor (2018).

Foi observado que no mês de agosto de 2018 tem-se a menor porcentagem de remoção de DBO e no mês de setembro de 2018 tem-se a maior porcentagem. A média de remoção de DBO ao longo dos meses de estudo foi de 93,38%. Assim como a DQO, a empresa procura ter uma porcentagem de remoção de 85%, porém por

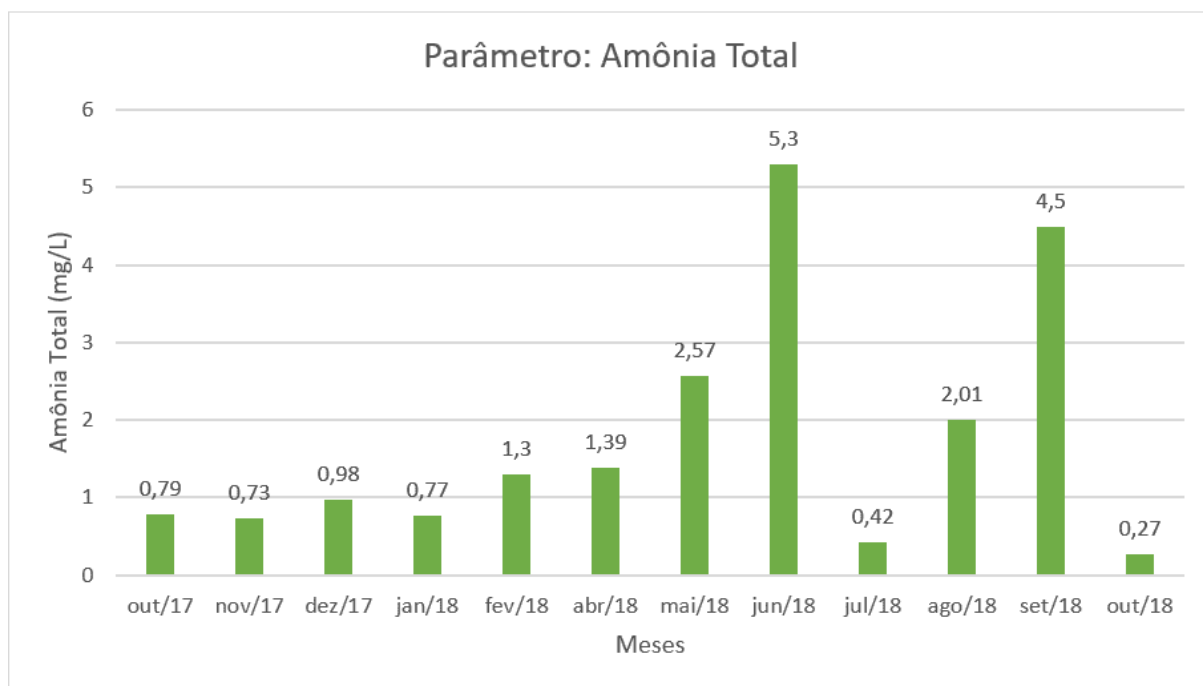
problemas nos difusores de ar, a meta não foi alcançada nos meses de dezembro de 2017 e agosto de 2018.

Portanto, conforme exige a COEMA (2017), o efluente só poderá ser destinado a um corpo hídrico se a DBO estiver até no máximo 120mg/L de efluente. Diante disso, como mostra o gráfico 5, os resultados obtidos para o parâmetro DBO do efluente satisfazem ao que é exigido pela legislação.

3.1.4 ANÁLISE DE AMÔNIA TOTAL

O Gráfico 6 mostra os níveis de amônia total no efluente ao longo dos meses.

Gráfico 6: Análise de Amônia Total do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, foi verificado o menor índice de amônia total no mês de outubro de 2018 e o maior índice no mês de junho de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos, são calculados a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a tabela 6 a seguir.



Tabela 6: Medidas de Dispersão para Amônia Total.

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 1,753 |
| Desvio Padrão | 1,616 |
| Coef. De Variação (%) | 92,19 |

Fonte: Autor (2015).

Diante dos cálculos estatísticos, foi observado uma variação relativamente alta dos valores de amônia total em comparação com a média dos meses analisados. Apesar do desvio padrão ter sido aparentemente baixo, o coeficiente de variação mostra que ainda assim houve uma variação considerável dos resultados obtidos ao longo do tempo, conforme mostra o gráfico 6.

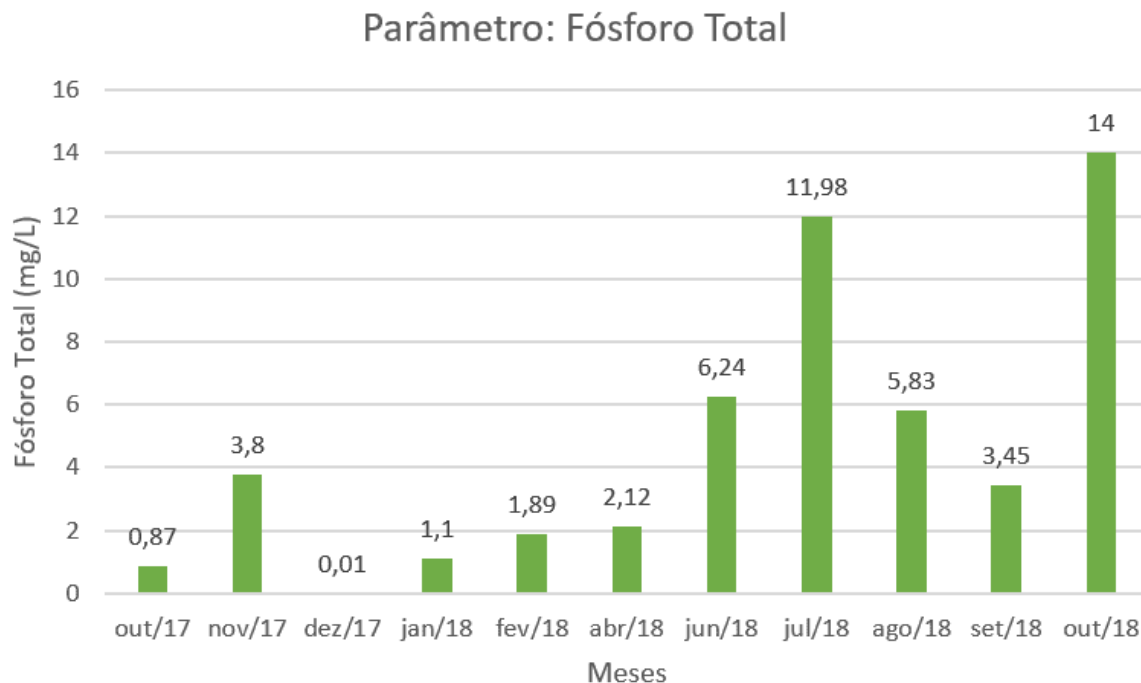
A COEMA (2017) não estabelece um valor a ser exigido para os níveis de amônia no efluente.

3.1.5 ANÁLISE DE FÓSFORO TOTAL

Segundo Sperling (2005), o fósforo tem sua importância pois serve como nutriente que servirá para o crescimento dos microrganismos responsáveis por estabilizar a matéria orgânica presente no efluente.

O Gráfico 7 mostra os resultados obtidos para o fósforo total ao longo dos meses de análise.

Gráfico 7: Análise de Fósforo Total do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, foi verificado o menor índice de fósforo total no mês de dezembro de 2017 e o maior índice no mês de outubro de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos, são calculados a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a tabela 7 a seguir.

Tabela 7: Medidas de Dispersão para Fósforo Total.

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 4,663 |
| Desvio Padrão | 4,811 |
| Coef. de Variação (%) | 103,17 |

Fonte: Autor (2018).

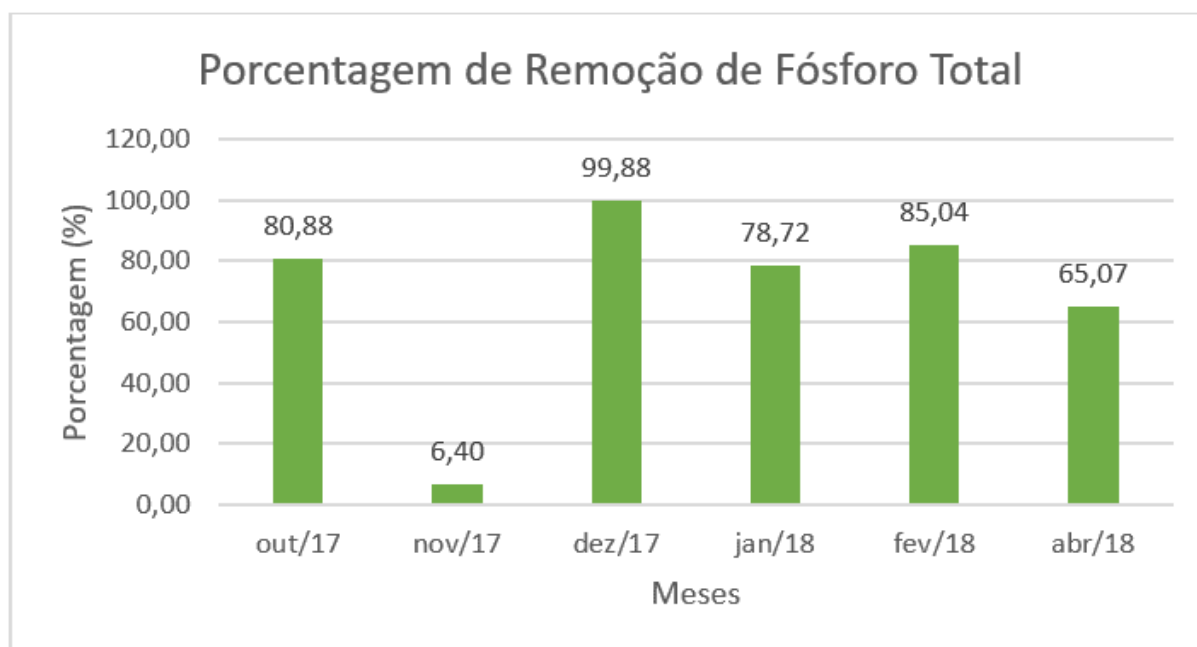
Diante dos cálculos estatísticos foi observado uma variação alta dos níveis de fósforo total em comparação com sua média ao longo dos meses analisados. Apesar do

desvio padrão ter sido aparentemente baixo, o coeficiente de variação mostra que ainda assim houve uma variação considerável dos resultados obtidos ao longo do tempo, conforme mostra o gráfico 7.

Conforme mostra nas Tabelas 1 e 2, nos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro de 2018 foram verificados níveis mais altos, em comparação ao inicial, de fósforo total após tratamento, isso ocorreu, pois na etapa de Equalização (Figura 3), é retirado uma amostra de efluente para análise de pH, e nos meses citados, a análise resultou em um pH elevado. Diante disso, é feito uma dosagem de ácido fosfórico para neutralizar o pH, ocasionando um acréscimo nos níveis de fósforo no efluente. Por isso, foi observado elevada variação (Tabela 7) dos níveis de fósforo total.

O Gráfico 8 mostra as porcentagens de fósforo total que foram removidas ao final do tratamento.

Gráfico 8: Porcentagem de Remoção de Fósforo Total.



Fonte: Autor (2018).



Foi observado que no mês de novembro de 2017 tem-se a menor porcentagem de remoção de fósforo total e no mês de dezembro de 2017 tem-se a maior porcentagem. A média de remoção de Fósforo Total ao longo dos meses de estudo foi de 69,33%.

A COEMA (2017) não estabelece um valor a ser exigido para os níveis de fósforo total no efluente

3.1.6 ANÁLISE DE MATERIAIS FLUTUANTES

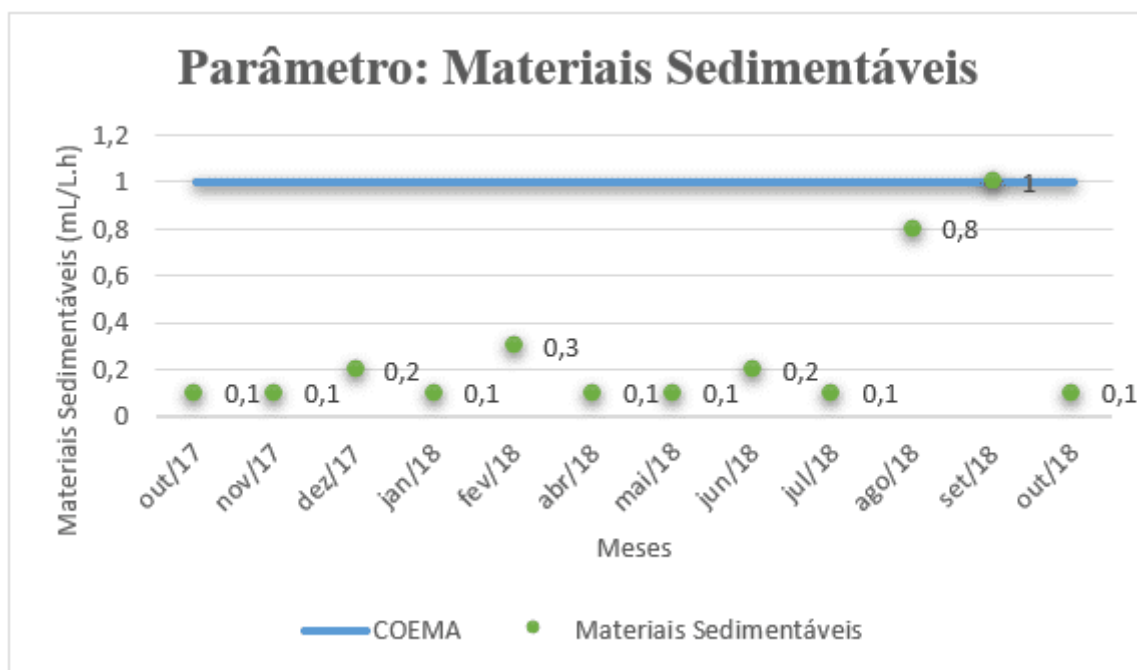
A análise de materiais flutuantes no efluente tratado concluiu que em nenhum mês foi detectado presença de materiais flutuantes. A Resolução COEMA Nº 2 (2017), Artigo 12, exige ausência de materiais flutuantes para o efluente, portanto os resultados obtidos para este parâmetro satisfazem a norma.

3.1.7 ANÁLISE DE MATERIAIS SEDIMENTÁVEIS

Segundo Sperling (2005), os materiais sedimentáveis são aqueles suscetíveis a sedimentar no período de uma hora. Para determinar os níveis desses materiais é utilizado um recipiente conhecido como cone Imhoff. Ainda citando Sperling (2005), geralmente na etapa primária do tratamento, os sólidos sedimentáveis são removidos cerca 70%.

O Gráfico 9, mostra os níveis de materiais sedimentáveis detectados no efluente ao longo dos meses analisados.

Gráfico 9: Análise de Materiais Sedimentáveis do efluente ao longo dos meses



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, nos meses de outubro e novembro de 2017, janeiro, abril, maio, julho e outubro de 2018 foram verificados os menores valores obtidos de materiais sedimentáveis e o maior foi em setembro de 2018 atingindo o máximo permitido pela COEMA (2017). Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Medidas de Dispersão para materiais sedimentáveis

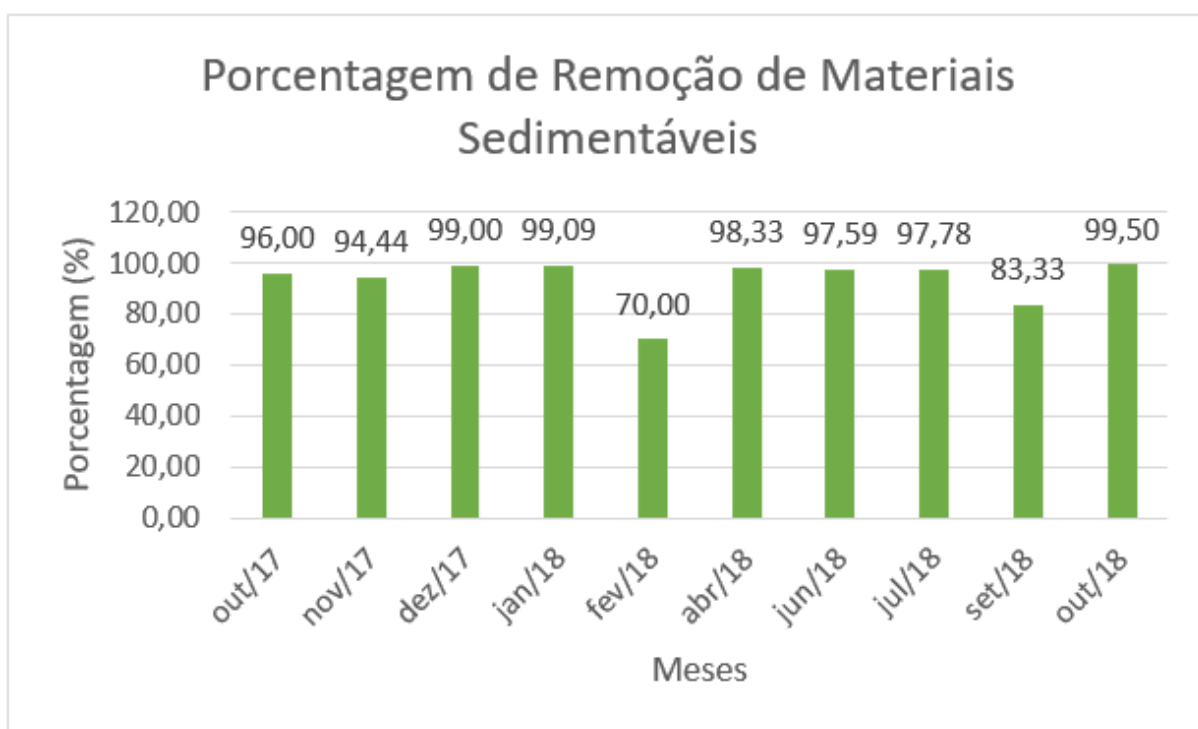
| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 0,267 |
| Desvio Padrão | 0,306 |
| Coef. de Variação (%) | 114,56 |

Fonte: Autor (2018).

Analisando os cálculos estatísticos, é verificado alta variação dos resultados de materiais sedimentáveis em comparação com sua média. Apesar do desvio padrão ter sido aparentemente baixo, o coeficiente de variação mostra que ainda assim houve uma variação considerável dos resultados obtidos ao longo do tempo, conforme mostra o gráfico 8.

O Gráfico 10 mostra as porcentagens de Materiais Sedimentáveis que foram removidos ao final do tratamento.

Gráfico 10: Porcentagem de Remoção de Materiais Sedimentáveis.



Fonte: Autor (2018).

Foi observado que no mês de fevereiro de 2018 tem-se a menor taxa com 70% de remoção e no mês de outubro com 99,5%, tem-se a maior remoção de materiais sedimentáveis no período de estudo. A média de remoção ficou, aproximadamente, 85%.

Portanto, conforme exige a COEMA (2017), o efluente só poderá ser destinado a um corpo hídrico se os materiais sedimentáveis estiverem até no máximo 1mL/L.h de

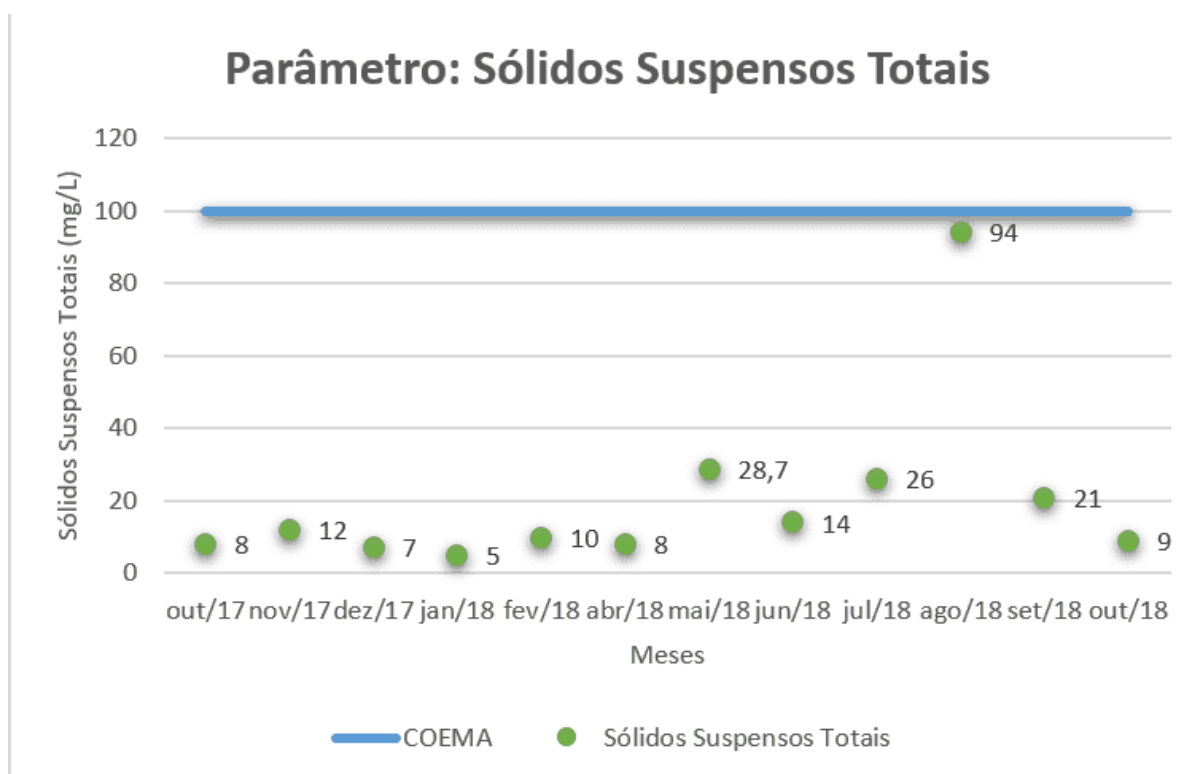
efluente. Diante disso, como mostra o gráfico 10, os resultados obtidos para o parâmetro materiais sedimentáveis do efluente satisfazem ao que é exigido pela legislação.

3.1.8 ANÁLISE DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

Para Sperling (2005), sólidos suspensos são todos aqueles que não foram dissolvidos.

O Gráfico 11 mostra os níveis de sólidos suspensos detectados ao longo dos meses de análise do efluente.

Gráfico 11: Análise de Sólidos Suspensos Totais do efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, no mês de janeiro de 2018 foi verificado o menor valor obtido de sólidos suspensos totais e o maior foi em agosto de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 9 a seguir.



Tabela 9: Medidas de Dispersão para Sólidos Suspensos Totais

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 20,225 |
| Desvio Padrão | 24,478 |
| Coef. de Variação (%) | 121,03 |

Fonte: Autor (2018).

Os cálculos estatísticos mostram uma variação elevada entre os valores obtidos ao longo dos meses de análise quando comparados com sua média. Diante do exposto na Tabela 9, é comprovado que houve uma alta oscilação dos resultados para sólidos suspensos totais, conforme o desvio padrão e o coeficiente de variação mostram matematicamente esta flutuação.

Portanto, conforme exige a COEMA (2017), o efluente só poderá ser destinado a um corpo hídrico se os materiais sedimentáveis estiverem até no máximo 100 mg/L de efluente. Diante disso, como mostra o gráfico 11, os resultados obtidos para o parâmetro sólidos suspensos totais do efluente satisfazem ao que é exigido pela legislação.

3.1.9 ANÁLISE DE SULFETO

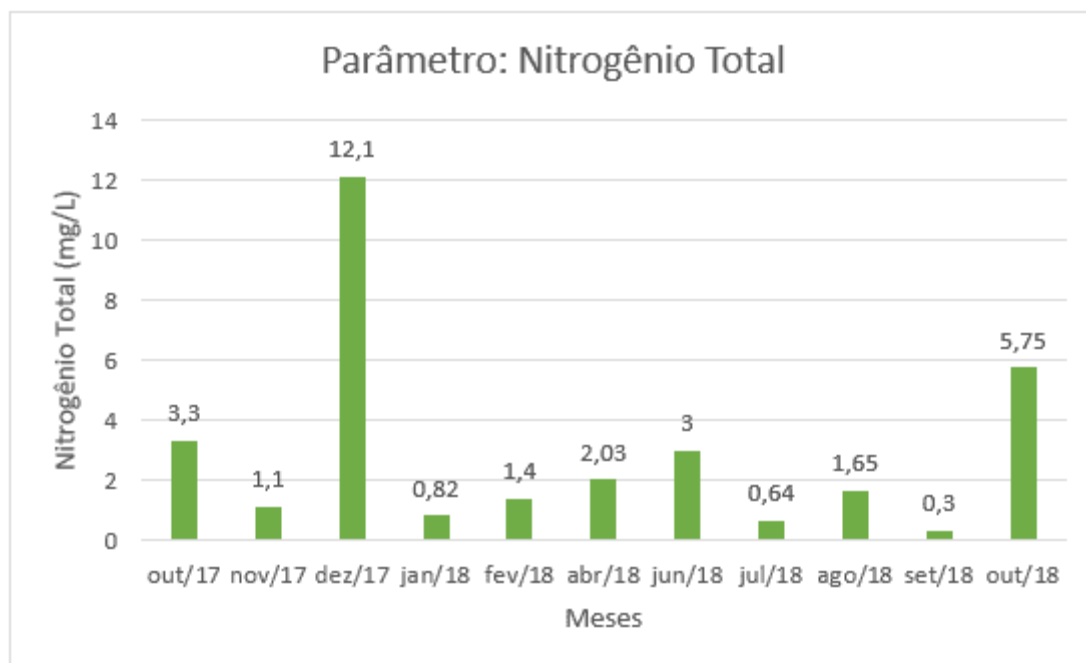
A análise de Sulfeto no efluente tratado concluiu que ao longo dos meses analisados obteve-se uma média de apenas 0,00175 mg/L. Diante disso, não foi necessário analisar graficamente este parâmetro pois os valores, em sua totalidade, foram bastante reduzidos. A Resolução COEMA (2017) exige um valor máximo de 1 mg/L de sulfeto no efluente, portanto, os resultados obtidos para este parâmetro satisfazem a norma.

3.1.10 ANÁLISE DE NITROGÊNIO TOTAL

Para Sperling (2005), o Nitrogênio é essencial para a proliferação dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos.

O gráfico 12 mostra os resultados de Nitrogênio total obtidos nas análises ao longo dos meses de observação.

Gráfico 12: Análise de Nitrogênio Total no efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, foi verificado o menor índice de nitrogênio total no mês de setembro de 2018 e o maior índice no mês de dezembro de 2017. Para melhor análise dos resultados obtidos, são calculados a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a tabela 10 a seguir.

Tabela 10: Medidas de Dispersão para Nitrogênio Total.

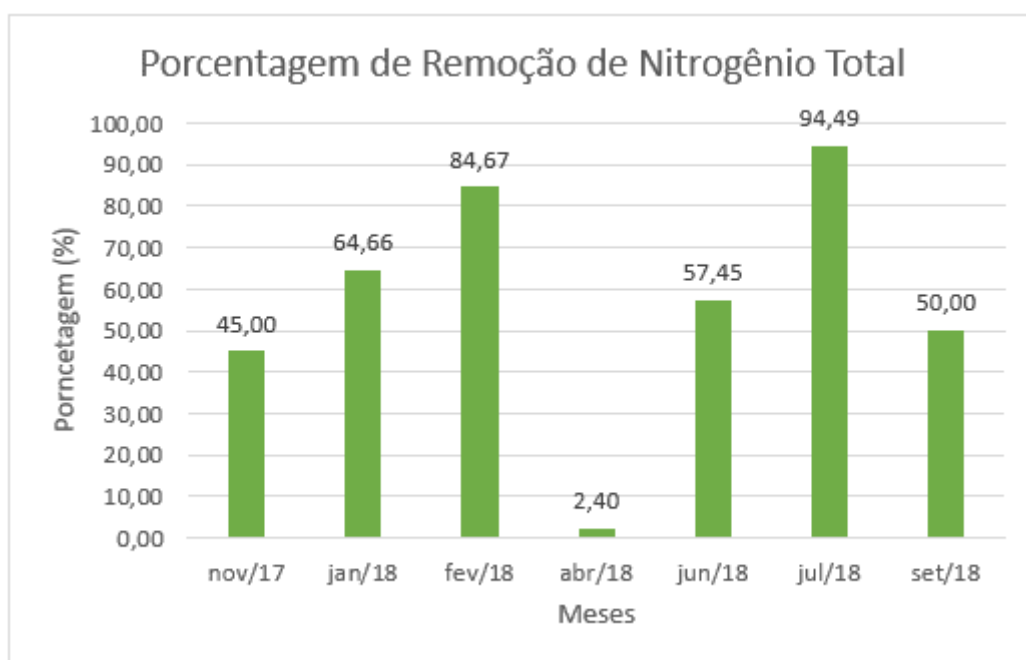
| Medidas de Dispersão | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Média | 2,917 |
| Desvio Padrão | 3,542 |
| Coef. de Variação (%) | 121,41 |

Fonte: Autor (2018).

Os resultados estatísticos mostram alta variação entre os valores observados ao longo dos meses analisados quando comparados ao valor médio de Nitrogênio Total presente no efluente. Tal variação é comprovada pelo cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação que mostram alta oscilação dos resultados de nitrogênio total, conforme gráfico 12.

O Gráfico 13, mostra os percentuais de remoção de nitrogênio total no decorrer dos meses analisados

Gráfico 13: Porcentagem de Remoção de Nitrogênio Total.



Fonte: Autor (2018).

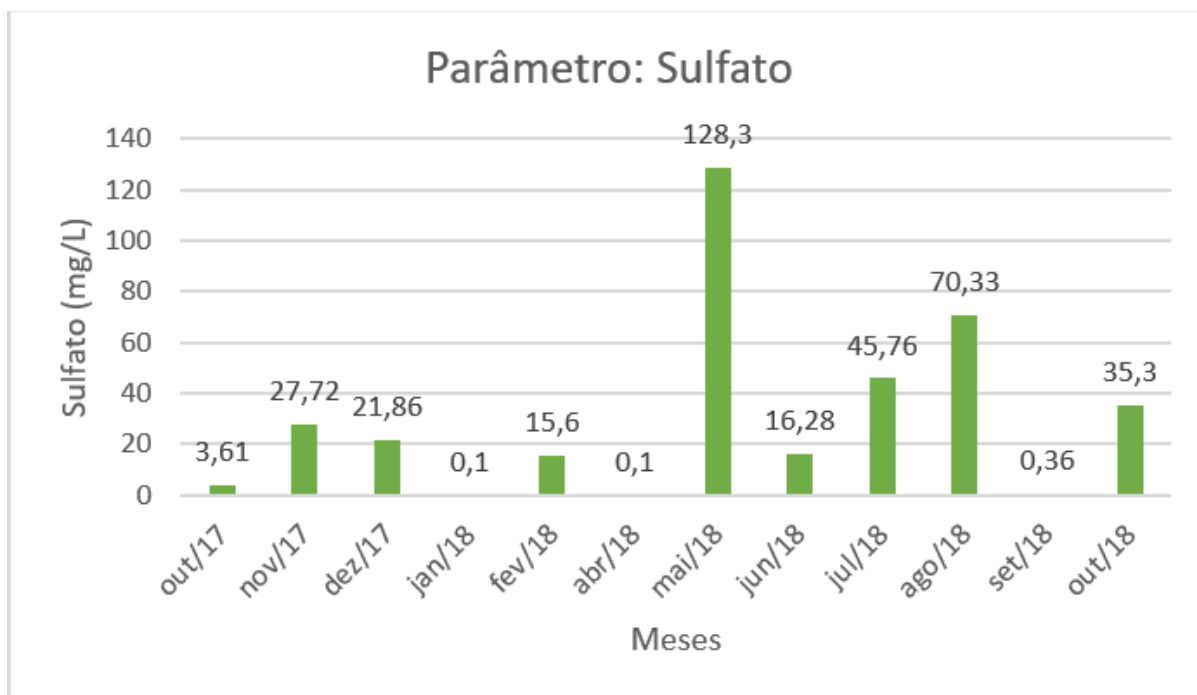
Foi observado que no mês de abril de 2018 tem-se a menor taxa com apenas 2,4% de remoção e no mês de julho com 94,49%, tem-se a maior remoção de nitrogênio total no período de estudo. A média de remoção ficou, aproximadamente, 57%.

A COEMA (2017) não estabelece um valor a ser exigido para os níveis de Nitrogênio total no efluente.

3.1.11 ANÁLISE DE SULFATO

O Gráfico 14 mostra os níveis de sulfato detectados no efluente ao longo dos meses analisados.

Gráfico 14: Análise de Sulfato no efluente ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, o valor máximo encontrado de Sulfato foi em maio de 2018 e o mínimo foi em janeiro e abril de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos, são calculados a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a tabela 11 a seguir.

Tabela 11: Medidas de Dispersão para o Sulfato

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|----------------------|-----------|
| Média | 30,443 |
| Desvio Padrão | 37,409 |



| | |
|-----------------------|--------|
| Coef. de Variação (%) | 112,88 |
|-----------------------|--------|

Fonte: Autor (2018)

Os dados estatísticos apontam para uma elevada variação entre os resultados de sulfato no efluente quando comparados a sua média ao longo dos meses analisados. Essa variação é comprovada pelo desvio padrão e pelo coeficiente de variação que mostram alta oscilação dos resultados de sulfato no afluente, algo comum nas análises estatísticas observadas.

A COEMA (2017) não estabelece um valor a ser exigido para os níveis de sulfato no efluente.

3.1.12 ANÁLISE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A análise de Coliformes Termotolerantes no efluente tratado concluiu que ao longo dos meses analisados obteve-se uma média de, aproximadamente, 1,09 NMP/100mL. Diante disso, não foi necessário analisar graficamente este parâmetro pois os valores, em sua totalidade, foram bastante reduzidos.

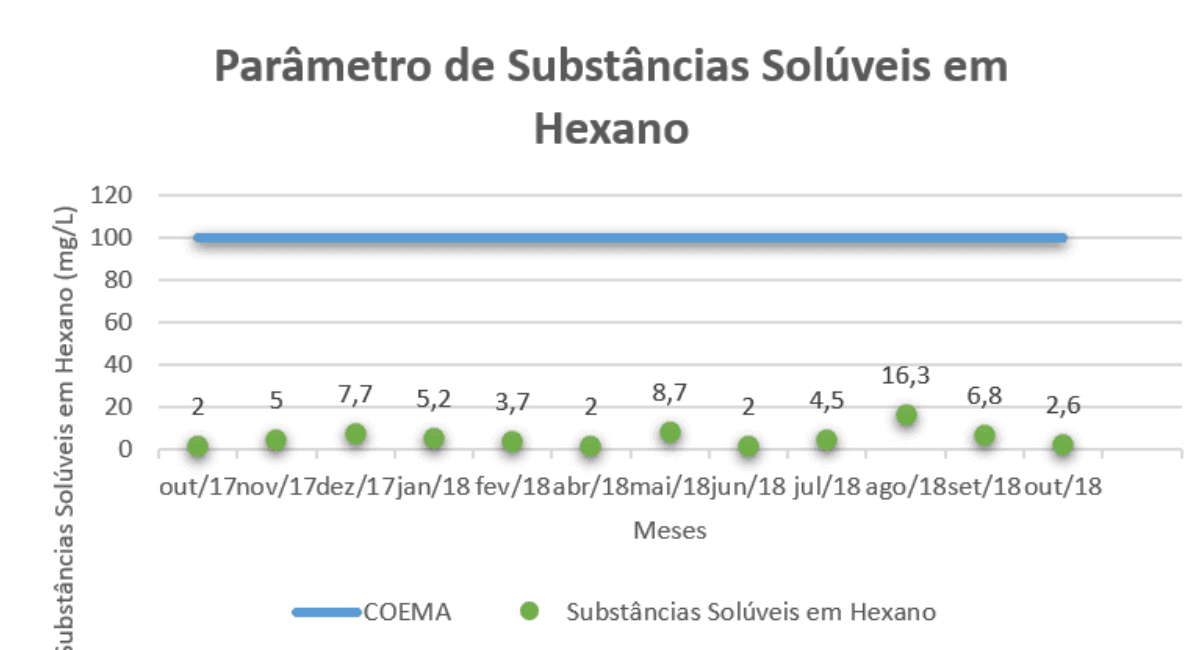
O principal motivo para os baixos valores de coliformes deve-se a uma dosagem de cloro realizada no final do tratamento, pois como dito anteriormente, todo o efluente tratado é reutilizado e, por isso, deve ser combatido os níveis de coliformes. Vale ressaltar, que segundo o responsável técnico da ETE, a dosagem de cloro é bastante criteriosa, pois ao ser reutilizado na jardinagem da região, a água é absorvida pelo solo podendo contaminar lençóis freáticos caso a dosagem de cloro seja elevada.

A COEMA (2017) estabelece um valor a ser exigido para os níveis de coliformes termotolerantes no efluente de até 5000 CT/100mL. Além disso, conforme as classes de reuso, a norma brasileira 13969/1997 exige coliformes inferiores a 500 NMP/100mL. Portanto, os resultados apresentados atendem a NBR 13969.

3.1.13 ANÁLISE DE SUBSTÂNCIAS SOLÚVEIS EM HEXANO

O Gráfico 15 mostra os resultados obtidos de substâncias solúveis em hexano ao longo dos meses analisados.

Gráfico 15: Análise de Substâncias Solúveis em Hexano no efluente ao longo dos meses



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, no período estudado, nos meses de outubro de 2017, abril e junho de 2018 foram verificados os menores valores obtidos de substâncias solúveis em hexano e o maior foi em agosto de 2018. Para melhor análise dos resultados obtidos são calculados os valores de média, desvio padrão e o coeficiente de variação, como mostra a Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Medidas de Dispersão para Substâncias Solúveis em Hexano

| Medidas de Dispersão | Resultado |
|----------------------|-----------|
| Média | 5,542 |
| Desvio Padrão | 4,08 |



| | |
|-----------------------|-------|
| Coef. de Variação (%) | 73,63 |
|-----------------------|-------|

Fonte: Autor (2018).

Os dados estatísticos mostram baixa variação de substâncias solúveis em hexano quando comparado com a sua média obtida ao longo dos meses analisados. Destoando dos resultados dos parâmetros anteriores, o coeficiente de variação para as substâncias solúveis em hexano deu consideravelmente baixas, conforme o gráfico 15 que mostra a baixa oscilação dos resultados obtidos para o afluente.

Portanto, conforme exige a COEMA (2017), o efluente só poderá ser destinado a um corpo hídrico se os materiais sedimentáveis estiverem até no máximo 100 mg/L de efluente. Diante disso, como mostra o gráfico 16, os resultados obtidos para o parâmetro substâncias solúveis em hexano do efluente satisfazem ao que é exigido pela legislação citada.

3.2 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO REUSO

A análise de eficiência da água de reuso será baseada na avaliação dos parâmetros exigidos pela NBR 13969/1997 e pela Resolução COEMA Nº 02, artigo 38, de 02 de fevereiro de 2017.

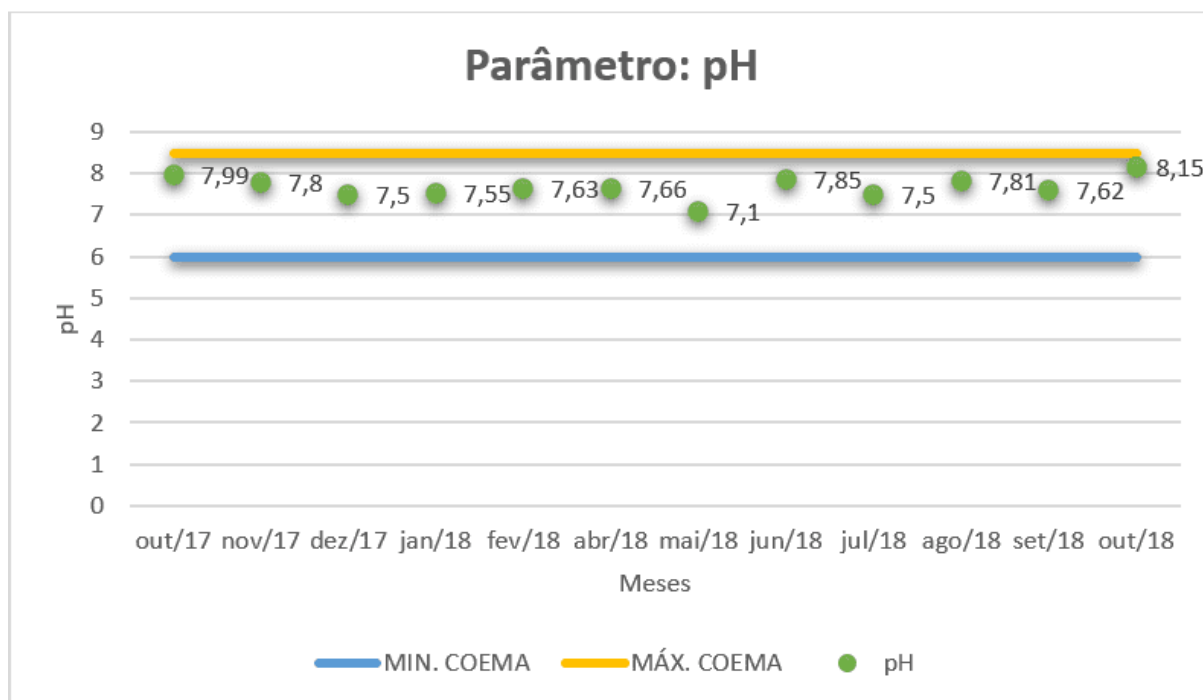
A NBR 13969 (1997) classifica a água de reuso em quatro classes de acordo com o uso previsto e para cada classe ela recomenda valores de parâmetros a serem seguidos. São eles: Turbidez, Coliformes, Sólidos dissolvidos totais, pH e cloro residual. A empresa onde foi feito o estudo de caso não realizou análises de turbidez e cloro residual.

A COEMA (2017), em seu artigo 38, recomenda que efluentes sanitários para fins urbanos, deve-se obedecer aos seguintes parâmetros, são eles: Coliformes, Ovos Geohelmintos, Condutividade Elétrica e pH. A empresa optou por não realizar análises dos parâmetros de ovos Geohelmintos e condutividade elétrica.

3.2.1 ANÁLISE DO PH

O Gráfico 16 mostra os resultados obtidos para o parâmetro pH ao longo dos meses analisados, comparando-se com os valores limites estabelecidos pela COEMA (2017).

Gráfico 16: Análise do pH para água de reuso segundo a COEMA/2017.

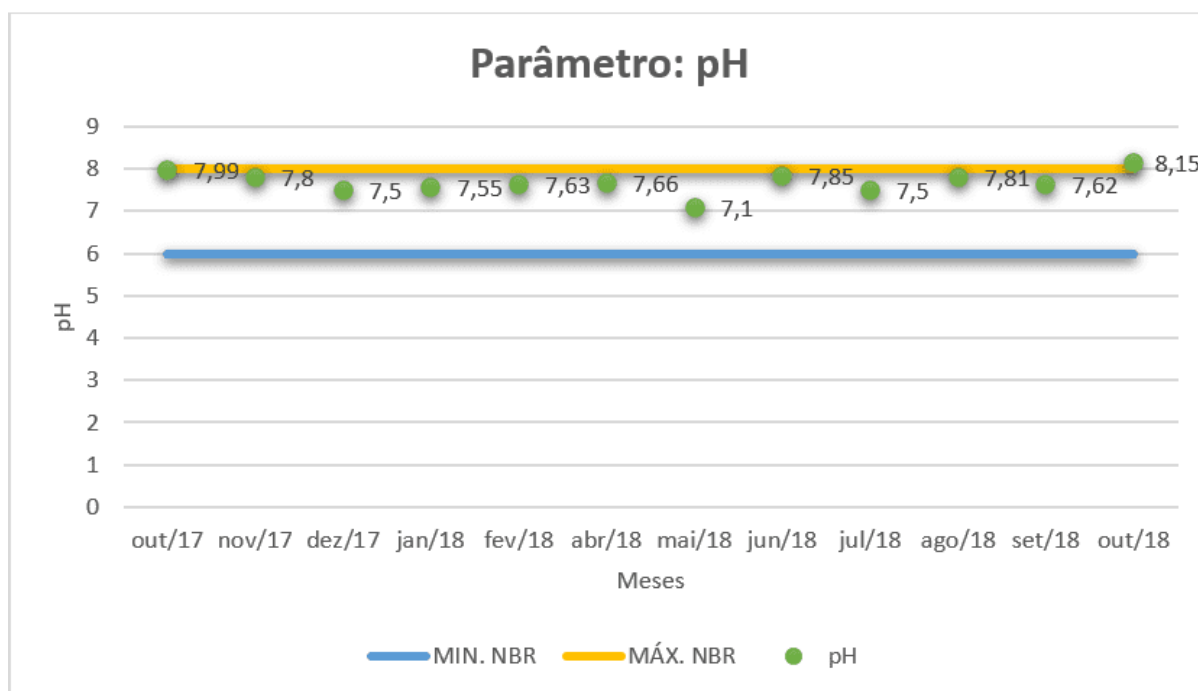


Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, verifica-se que a COEMA (2017) exige valores para o pH entre 6 e 8,5 para a água ser reutilizada. Portanto, segundo a COEMA (2017) a água está propícia para ser reutilizada.

O Gráfico 17 mostra os resultados obtidos para o parâmetro pH ao longo dos meses analisados, comparando-se com os valores referentes a Classe 1 recomendados pela NBR 13969 (1997). As demais classes não estabelecem valores a serem seguidos.

Gráfico 17: Análise de pH para água de reuso segundo a NBR 13969/1997.



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, verifica-se que a NBR citada estabelece valores para o pH entre 6 e 8 para a água de reuso ser classificada como Classe 1. Portanto, somente no mês de outubro o valor observado foi maior que o determinado pela Norma, porém a estação de tratamento analisada em questão tem por finalidade reutilizar a água na jardinagem e nas bacias sanitárias, resultando em uma classificação de reuso nas classes 2 e 3, respectivamente, onde não é exigido valores para o pH. Portanto, atendendo ao que é recomendado pela Norma.

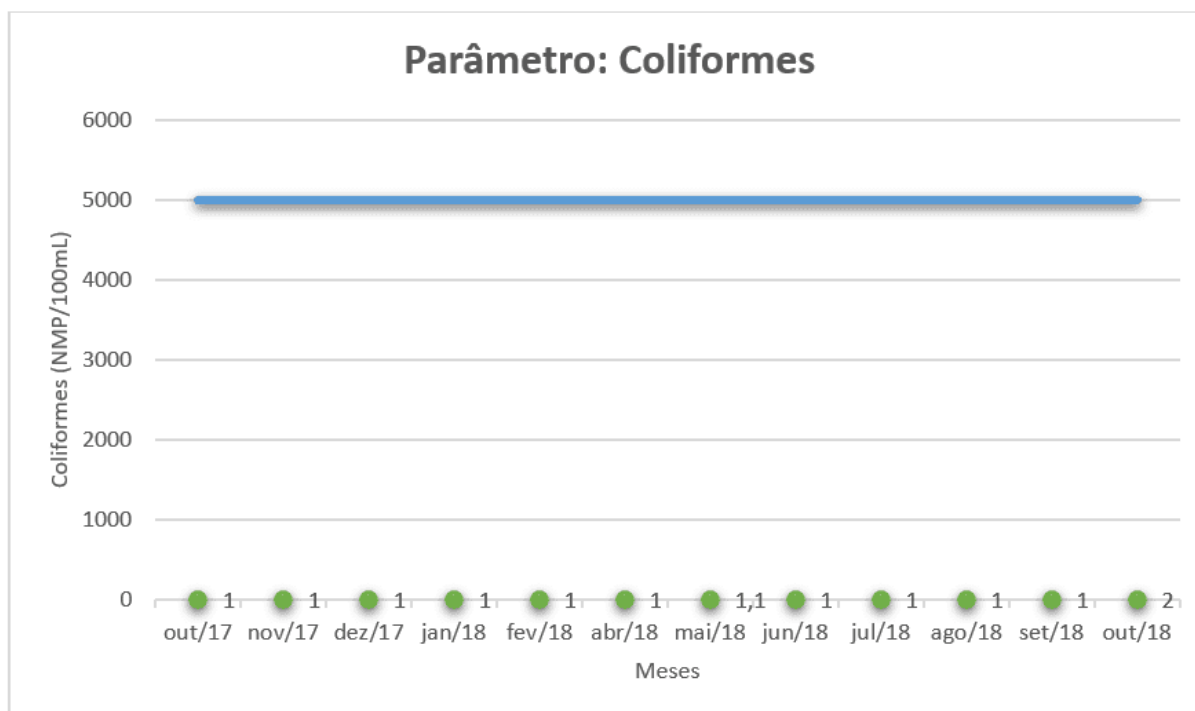
3.2.2 ANÁLISE DE COLIFORMES

O Gráfico 18 mostra os resultados obtidos ao longo dos meses para o parâmetro de coliformes, comparando-os com os valores exigidos pela COEMA (2017)

Conforme dito anteriormente, na estação ao final do tratamento, é feito uma dosagem de cloro que influência diretamente nos resultados de coliformes, fazendo com que

diminua sua incidência, diminuindo drasticamente como pode ser observado no gráfico 18.

Gráfico 18: Análise de Coliformes para água de reuso segundo COEMA (2017).



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, verifica-se que a COEMA (2017) estabelece um valor máximo para coliformes de 5000 NMP/100mL. Portanto, segundo a Resolução a água está propícia para ser reutilizada.

Já a Tabela 12 mostra o valor médio de coliformes ao longo dos meses analisados, comparando-o ao valor máximo recomendado para cada classe segundo a NBR 13969.

Tabela 12: Análise de Coliformes para água de reuso segundo a NBR 13969

| Parâmetro | Unidade | Limite NBR 13969 |
|-----------|---------|------------------|
|-----------|---------|------------------|



| | | Concentração Média no período analisado | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Atende a qual Classe? |
|------------|-----------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Coliformes | NMP/100mL | 1,09 | < 200 | < 500 | < 500 | < 500 | Todas |

Fonte: Autor (2018).

Conforme mostra a tabela, o valor médio apresentado de coliformes foi de apenas 1,09 NMP/100mL. Portanto, o parâmetro estaria dentro do recomendado para qualquer classificação estabelecida pela NBR 13969/1997.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar se a estação de tratamento de efluentes com posterior reuso de uma indústria de bebidas estava trabalhando com a eficiência necessária, conforme é exigido pela legislação vigente.

Dessa maneira, retoma-se a questão norteadora: a partir da análise da estação de tratamento estudada, o efluente gerado está apto a ser reutilizado obedecendo os parâmetros estabelecidos pelas regulamentações e legislações vigentes?

Diante do que foi exposto, concluiu-se que o tratamento do efluente da empresa estudada, que utiliza os processos de lodos ativados, foi considerado bastante satisfatório, pois conseguiu atender as necessidades com a eficiência adequada.

A eficiência analisada através dos parâmetros atendeu em sua totalidade às condições exigidas pela Resolução COEMA Nº 2 de 02 de fevereiro de 2017 e Norma Regulamentadora (NBR 13969/1997), porém em alguns meses de análise mostrou-se inconstante em comparação ao restante devido a problemas técnicos que surgiram.

O pH analisado ao longo do ano de estudo mostrou-se bastante regular, com média de 7,68, atendendo perfeitamente a COEMA e a NBR 13969. A DQO e DBO, mostraram-se irregulares devido a problemas técnicos, porém os resultados, ainda assim, foram satisfatórios alcançando uma eficiência de remoção média de 91,9% e 93,38%, respectivamente. A COEMA não exige um valor para a DQO a ser atendido,



já a DBO teve uma média de 32,573 mg/L atendendo ao exigido pelo Conselho. Conforme exigido pela COEMA, não foram detectados materiais flutuantes no efluente. O mesmo aconteceu para materiais sedimentáveis que mostrou uma eficiência de remoção de 85% e os sólidos suspensos totais, que apresentou uma média de 20,225 mg/L estando bem abaixo do valor máximo exigido. Os coliformes termotolerantes foram bastantes reduzidos, alcançando uma média de 1,09 NMP/100mL, pois sabe-se que é realizado uma dosagem de cloro ao final do tratamento, reduzindo os níveis deste poluente no efluente. Os níveis de coliformes apresentados no efluente atenderam perfeitamente ao exigido pela COEMA e pela NBR 13969, referente ao reuso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: [s.l], 1986. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: [s.l], 1997. 60 p. Disponível em: <http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

BONAFINI, Fernanda Cesar (Org.). **Estatística**. São Paulo: Pearson, 2015. 274 p.

COEMA – **Conselho Estadual de Meio Ambiente**, CEARÁ. Resolução nº 02/2017 de 02 de fevereiro de 2017.

Fiori, S., Fernandes, V. M. C., Pizzo, H. (2006). **Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Reúso de Águas Cinza em Edificações**. Ambiente Construído, v. 6, n. 1, p. 19-30.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria**: Uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 143 p.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. rev. [S. l.]: American Public Health Association, 2012. 724 p. ISBN 0875530133, 9780875530130.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2005. 452 p.

Enviado: Março, 2022.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Aprovado: Abril, 2022.

¹ Pós-graduado em Orçamento, Planejamento e Controle de Obras; Pós-graduado em Engenharia de Avaliações e Perícias; Graduado em Engenharia Civil. ORCID: 0000-0001-7713-8057.