

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JOYCE PEREIRA MAXIMIANO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO POR MEIO DE TESTES DE HIPÓTESE

Uberlândia

2021

JOYCE PEREIRA MAXIMIANO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO POR MEIO DE TESTES DE HIPÓTESE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Prof. Dra. Maria Lyda Bolanos Rojas

Uberlândia

2021

JOYCE PEREIRA MAXIMIANO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO POR MEIO DE TESTES DE HIPÓTESE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia.

Aprovada em 21 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dra. Maria Lyda Bolanos Rojas (UFU)

---

Prof. Dra. Sueli Moura Bertolino (UFU)

---

João Carlos Pereira Maia (UFU)

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Reginaldo Maximiano, pelo apoio e confiança em mim. Além do trabalho duro todos esses anos, para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Agradeço à Deus pela força e foco nos momentos mais difíceis da graduação, pela minha saúde e a saúde de toda minha família.

À toda minha família, pelo apoio em todos os momentos. Especialmente, aos meus avós Silvany e Geraldo, por me criar e me incentivar. À minha irmã Andrêssa, pelo suporte e cumplicidade.

À minha orientadora, Maria Lyda Bolanos Rojas, por aceitar me orientar na realização deste trabalho, por toda a orientação dada e ensinamentos passados durante as aulas no curso da engenharia ambiental, o que despertou meu interesse pelo saneamento básico.

Ao pessoal da SAE, especialmente à Marly e ao Vicente, por contribuírem com meu trabalho, sempre esclarecendo minhas dúvidas e fornecendo os dados necessários e auxílio nas visitas às ETEs.

Aos meus amigos, Patrícia Ferreira, Lúcio Carlos, Yasmin Pires, Felipe Ferreira, Michael Douglas, Bruno Ramos, Rafael Freitas, Arthur Dias, Gabriel Silva, Wellington Pereira, Guilherme Costa, pela amizade e por todos os momentos que passamos juntos, além dos conhecimentos trocados nas aulas.

Ao João Carlos Pereira Maia pelos conselhos, pela amizade, pelas sugestões que contribuíram com meu trabalho e por todo o apoio nesses anos de graduação.

Por fim, à Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de estudar em uma universidade pública de qualidade com diversas experiências ricas para qualquer currículo, e para crescimento como ser humano.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	5
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. JUSTIFICATIVA .....	13
3. OBJETIVO GERAL.....	14
3.1. Objetivos Específicos .....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
4.1. Legislação sobre Saneamento Básico no Brasil .....	15
4.2. Legislação sobre recursos hídricos e saneamento básico em Minas Gerais.....	19
4.3. Situação atual do Esgotamento Sanitário em Minas Gerais .....	21
4.4. Tratamento de Esgoto no Brasil .....	24
4.5. Tipos de Lagoas de Estabilização.....	27
5. METODOLOGIA.....	30
5.1. Caracterização da área de estudo.....	30
5.2. Caracterização do Distrito Industrial.....	40
5.3. Análise estatística .....	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
7. CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
8. APÊNDICES .....	85
8.1. APÊNDICE A – TABELA DE INTERAÇÃO DA TEMPERATURA.....	85
8.2. APÊNDICE B – TABELA DE INTERAÇÃO DO PH.....	86
8.3. APÊNDICE C – TABELA DE INTERAÇÃO DA DBO. ....	87
8.4. APÊNDICE D – TABELA DE INTERAÇÃO DA DQO.....	88
8.5. APÊNDICE E – TABELA DE INTERAÇÃO DA TURBIDEZ.....	89
8.6. APÊNDICE F – TABELA DE INTERAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	90

8.7. APÊNDICE G – TABELA DE INTERAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	91
8.8. APÊNDICE H - TABELA DOS DADOS DE PH, DBO E DQO DA ETE INDUSTRIAL.....	92
8.9. APÊNDICE I - TABELA DOS DADOS DE TEMPERATURA, ÓLEOS E GRAXAS E SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS DA ETE INDUSTRIAL.....	93
8.10. APÊNDICE J - TABELA DOS DADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS, TURBIDEZ E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ETE INDUSTRIAL.....	94
8.11. APÊNDICE K - TABELA DOS DADOS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E ESCHERICHIA COLI DA ETE INDUSTRIAL.....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - ETE Novo Horizonte e ETE Industrial.....	31
Figura 2 - Grades seguidas das caixas de areia da ETE Novo Horizonte. ....	32
Figura 3 - Reator anaeróbio da ETE Novo Horizonte. ....	33
Figura 4 - Reator anaeróbio da ETE Novo Horizonte. ....	33
Figura 5 - Biofiltro aerado submerso da ETE Novo Horizonte.....	34
Figura 6 – Decantador secundário da ETE Novo Horizonte. ....	34
Figura 7 - Leitões de secagem da ETE Novo Horizonte. ....	35
Figura 8 - Lagoa Facultativa Aerada na ETE Industrial.....	36
Figura 9 - Lagoa de maturação da ETE Industrial.....	36
Figura 10 - Lagoa de raízes da ETE Industrial. ....	37
Figura 11 - Lagoa final de reuso da ETE Industrial. ....	38
Figura 12 - Efluente final tratado na ETE Industrial antes de ser lançado no córrego.....	39
Figura 13 - Desenho esquemático da ETE Novo Horizonte. ....	39
Figura 14 - Desenho esquemático da ETE Industrial. ....	40
Figura 15 - Distrito Industrial e demais bairros atendidos pelas ETEs. ....	40
Figura 16 - Teste da ANOVA no PAST.....	43
Figura 17 - Valores estatísticos gerados pelo PAST. ....	45
Figura 18 - Valores do teste de Tukey gerados pelo PAST. ....	46
Figura 19 - Valores das diferenças das médias geradas pelo PAST.....	46
Figura 20 - Gráfico das médias de DBO ao longo dos anos gerado pelo PAST.....	47
Figura 21 - Gráfico da média e intervalos de confiança da DBO gerado pelo PAST. ....	48
Figura 22 - Teste de Kruskal-Wallis no PAST.....	49
Figura 23 - Valores do teste de Kruskal-Wallis gerados no PAST para os coliformes termotolerantes. ....	50
Figura 24 - Valores do teste de Mann-Whitney gerados no PAST para os coliformes termotolerantes. ....	51
Figura 25 - Gráfico das médias e intervalos de confiança dos coliformes termotolerantes. ....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual da população atendida com coleta de esgoto e extensão da rede entre 2010 e 2018. ....	23
Gráfico 2 - Distribuição dos municípios mineiros de acordo com percentual de coleta de esgoto. ....	23
Gráfico 3 - Panorama da situação das ETES em Minas Gerais.....	24
Gráfico 4 - Gráfico das médias de temperatura de 2019 à 2021. ....	55
Gráfico 5 - Gráfico das médias e intervalos de confiança da temperatura de 2019 à 2021. ....	55
Gráfico 6 - Gráfico das médias de pH de 2019 à 2021.....	56
Gráfico 7 - Gráfico das médias e intervalos de confiança do pH. ....	57
Gráfico 8 - Gráfico das médias de DBO nas entradas e saída das lagoas. ....	58
Gráfico 9 - Gráfico das médias e intervalos de confiança da DBO.....	59
Gráfico 10 - Gráfico das médias de DQO nos pontos de coleta.....	60
Gráfico 11 - Gráfico das médias e intervalos de confiança de DQO. ....	62
Gráfico 12 - Gráfico das médias de turbidez nos pontos de coleta. ....	63
Gráfico 13 - Gráfico das médias ao longo dos anos e intervalos de confiança da turbidez. ....	64
Gráfico 14 - Gráfico das médias dos sólidos sedimentáveis nos pontos de coleta.....	65
Gráfico 15 - Gráfico das médias ao longo dos anos e intervalos de confiança dos sólidos sedimentáveis. ....	65
Gráfico 16 - Gráfico das médias de condutividade elétrica nos pontos de coleta. ....	67
Gráfico 17 - Gráfico das médias e intervalos de confiança ao longo dos anos da condutividade elétrica. ....	68
Gráfico 18 - Gráfico das médias dos sólidos suspensos totais de 2019 à 2021.....	68
Gráfico 19 - Gráfico das médias dos sólidos suspensos totais nos pontos de coleta.....	69
Gráfico 20 - Gráfico das médias de óleos e graxas ao longo dos anos.....	70
Gráfico 21 - Gráfico das médias de óleos e graxas nos pontos de coleta.....	70
Gráfico 22 - Gráfico das médias e intervalos de confiança dos coliformes termotolerantes nos pontos de coleta. ....	72
Gráfico 23 - Gráfico das médias e intervalos de confiança de E. coli entre 2020 e 2021.....	74



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação, número e percentual de municípios que se enquadram em cada faixa do IESM em Minas Gerais, 2016. ....	22
Tabela 2 – Lista de empreendimentos do Distrito Industrial em Araguari – MG. ....	41
Tabela 3 – Tabela dos valores da ANOVA para cada parâmetro. ....	53
Tabela 4 - Valores de Q e p do Teste de Tukey para a temperatura. ....	54
Tabela 5 - Valores de Q e p do teste de Tukey para o pH. ....	56
Tabela 6 - Valores de Q e p do teste de Tukey para a DBO. ....	57
Tabela 7 - Valores de Q e p do teste de Tukey para a DQO. ....	60
Tabela 8 - Valores de Q e p do teste de Tukey para a turbidez. ....	62
Tabela 9 - Valores de Q e p do teste de Tukey para os sólidos sedimentáveis. ....	64
Tabela 10 - Valores de Q e p do teste de Tukey para a condutividade elétrica. ....	66
Tabela 11 - Valor-p do teste de Kruskal-Wallis. ....	71
Tabela 12 - Valores p do teste de Mann-Whitney para os coliformes termotolerantes. ....	71
Tabela 13 - Valores de p do teste de Mann-Whitney para Escherichia coli. ....	73

## RESUMO

As lagoas de estabilização são um sistema de tratamento de efluente doméstico e industrial, que apresenta muitas vantagens. São econômicas, apresentam boa eficiência na remoção da matéria orgânica e são de fácil operação e manutenção. Este trabalho objetiva avaliar o desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Industrial, localizada em Araguari – MG. A ETE Industrial trata efluente doméstico e industrial, sendo composta por lagoa facultativa, lagoa de maturação, lagoa de raízes e lagoa de reuso. A avaliação ocorreu a partir dos relatórios mensais de monitoramento do efluente, sendo avaliados os seguintes parâmetros: pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), temperatura, turbidez, condutividade elétrica, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, *E. coli* e coliformes termotolerantes. Por meio dos testes estatísticos de hipótese, ANOVA, Teste de Tukey, Teste de Kruskal-Wallis e Teste de Mann-Whitney, foram feitas as comparações dos valores médios dos parâmetros nos anos de 2019, 2020 e 2021 e a comparação nas entradas e saída do tratamento. Houve a comparação dos resultados com a legislação estadual e federal (DN COPAM 01/2008 e Resolução CONAMA 430/2011, respectivamente), e com a legislação mineira que estabelece padrões de qualidade para água de reuso (DN CERH 65/2020). Para água de reuso, o pH está dentro do limite estabelecido pela DN CERH nº 65/2020 e a quantidade de *E. coli* está acima do permitido. Os demais parâmetros estudados não possuem valores limites estabelecidos por esta lei. Os resultados dos testes estatísticos foram gerados no software PAST, mostrando que em todos os anos, a temperatura, o pH, a condutividade elétrica, sólidos suspensos totais e óleos e graxas, estavam de acordo com o limite estabelecido pela legislação. Já a DBO, a DQO, a turbidez, sólidos sedimentáveis, *E. coli* e coliformes termotolerantes, estavam acima do valor permitido pela legislação, em pelo menos um dos anos avaliados. Em 2019, a remoção de DBO foi de 50,05% e a remoção de DQO foi de 53,88%. Em 2020, a remoção de DBO foi de 73,56% e a remoção de DQO foi de 74,08%. Em 2021, a remoção de DBO foi de 86,58% e a remoção de DQO foi de 85,41%. É indicado o acréscimo de um tratamento químico na ETE Industrial para melhor desinfecção do efluente, e mais detalhamento nos relatórios mensais de monitoramento para melhor acompanhar a eficiência do tratamento.

**Palavras-chave:** Lagoas de estabilização. Reuso da água. ETE Industrial. Araguari. Testes estatísticos.

## ABSTRACT

The stabilization ponds are a domestic and industrial effluent treatment system that has many advantages. They are economical, present good efficiency in removing organic matter and they are easy to operate and maintain. This work aims to evaluate the performance of Industrial Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in Araguari – MG. The Industrial WWTP treats domestic and industrial effluent, composed of a facultative pond, a maturation pond, a root pond and a reuse pond. The evaluation was based on the monthly monitoring reports of the effluent, and the following parameters were evaluated: pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), temperature, turbidity, electrical conductivity, oils and grease, sedimentable solids, total suspended solids, *E. coli* and thermotolerant coliforms. By means of the statistical hypothesis tests, ANOVA, Tukey's Test, Kruskal-Wallis' Test and Mann-Whitney's Test, the comparisons of the mean values of the parameters in the years 2019, 2020 and 2021 and the comparison in the entrances and exist of the treatment were obtained. The results were compared with state and federal legislation (COPAM ND 01/2008 and CONAMA Resolution 430/2011, respectively), and with the Minas Gerais legislation that establishes quality standards for reuse water (CERH ND 65/2020). For reuse water, the pH is within the limit established by the CERH ND 65/2020 and the amount of *E. coli* is above the permitted limit. The other parameters studied don't have limit values established by this law. The results of statistical tests were generated in the PAST software, showing that in all years, the temperature, pH, electrical conductivity, total suspended solids and oils and grease were in accordance with the limit established by the legislation. On the other hand, BOD, COD, turbidity, settleable solids, *E. coli*, and thermotolerant coliforms were above the value allowed by the legislation, in at least one of the years evaluated. In 2019, BOD removal was 50.05% and COD removal was 53.88%. In 2020, BOD removal was 73.56% and COD removal was 74.08%. In 2021, BOD removal was 86.58% and COD removal was 85.41%. The addition of a chemical treatment in the Industrial WWTP is indicated to better disinfect the effluent, and more detail in the monthly monitoring reports to better follow up on the treatment efficiency.

**Keywords:** Stabilization ponds. Water reuse. Industrial WWTP. Araguari. Statistical tests.

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico é um direito garantido pela nossa Constituição Federal, sendo assim objeto de diversas políticas públicas e o foco de metas tanto em escalas municipais, quanto em escalas estaduais e federais. A lei federal nº 14.026/2020 orienta que os serviços prestados por um saneamento básico de qualidade, englobam a limpeza urbana, abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo dos resíduos sólidos, sendo capazes de melhorar a qualidade de vida da população, além de ocasionarem benefícios econômicos e ambientais (BRASIL, 2020).

No Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto apresentado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2019, observa-se 1.609 municípios com índice de atendimento urbano por rede coletora de esgotos superior a 70% (73 municípios a mais que em 2018); 405 municípios com índices na faixa de 40 a 70%; 253 municípios com valores que se enquadraram entre 20 a 40%; 137 municípios na faixa de 10 a 20%; e, na última faixa, abaixo de 10%, 185 municípios. No total, é mostrado o resultado de 4.225 municípios, sendo 2.589 com índice de atendimento urbano de água calculado e 1.634 municípios que responderam ao formulário simplificado de esgoto, ou seja, que não possuem sistema público de esgoto. No SNIS 2019, estão registrados 610 municípios com índice de atendimento urbano com esgoto igual a 100% (14,4% do total de municípios da amostra) (BRASIL, 2019).

Diversas tecnologias de tratamento de água e esgoto têm surgido e sido aperfeiçoadas no decorrer dos últimos anos. Cabe aos responsáveis da área, verificarem os prós e contras de cada uma delas para que o máximo de pessoas possam ser atendidas, buscando sempre a universalização dos serviços públicos do saneamento básico e a preservação dos recursos ambientais. Custo-benefício, condições climáticas do local, investimento disponível, tipo de efluente a ser tratado, eficiência do tratamento e parâmetros a serem seguidos pela legislação, são indicativos relevantes que devem ser observados ao se escolher e aplicar algum tipo de tratamento.

Para se projetar uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o objetivo do tratamento e o nível que o esgoto precisa ser processado, devem ser definidos claramente. Além de serem coletadas outras informações relevantes, tais como a população a ser atendida, área disponível, local a receber o efluente tratado, o lodo gerado, etc. Os processos de tratamento podem ser classificados em físicos, químicos ou biológicos, sendo que não atuam de forma isolada e assim, o tratamento será classificado como físico, químico ou biológico dependendo da predominância

do processo unitário. Quanto ao nível de tratamento a classificação se baseia em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. A maioria das estações tratam o efluente até o nível secundário (SANTOS, André, 2007).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos e o Marco Regulatório do Saneamento Básico são as leis federais que norteiam o presente trabalho, além de legislações estaduais específicas do Estado de Minas Gerais. O tipo de tratamento de efluente doméstico e industrial estudado será lagoas de estabilização. A lagoa de estabilização é uma alternativa de tratamento muito escolhida no Brasil, o clima favorece aos processos de tratamento, a operação e manutenção são simples (a mais trabalhosa é a lagoa aerada), não demanda alto investimento quando se compara à outras tecnologias de tratamento, apresenta alta eficiência e efluente tratado de boa qualidade.

O objeto do estudo é a Estação de Tratamento de Esgoto Industrial, na cidade de Araguari – MG, que utiliza as lagoas de estabilização para tratar o efluente doméstico advindo da Estação de Tratamento de Esgoto Novo Horizonte e o efluente industrial de indústrias do Distrito Industrial, além de promover o reuso do efluente tratado, que basicamente visa a limpeza de rodovias e canteiros urbanos, e o uso no aterro sanitário do município e irrigação de jardins.

A ETE Industrial recebe este nome por estar localizada no Distrito Industrial, e não pelo fato de tratar efluente industrial, assim como a ETE Novo Horizonte recebe este nome pelo bairro Novo Horizonte estar localizado na redondeza.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Uma crescente preocupação com o meio ambiente vem se manifestando mundialmente nos últimos anos, em especial, com as condições de nossos recursos hídricos. A água é considerada por muitos o principal bem vital que possuímos, e sendo um recurso finito é necessário que preservemos o quanto pudermos.

É necessária para produzirmos nossos alimentos, manter a vida dos humanos e animais, prover nossa higiene, garantir limpeza, servir como insumo nas indústrias, enfim, são muitos usos indispensáveis aos seres humanos. Assim, o que acontece com essa água após utilizarmos em nossas casas, em locais públicos e nos ambientes de trabalho como as empresas e indústrias?

Após utilizadas em nossos banhos, limpeza doméstica, descargas do vaso sanitário, consideradas como esgoto doméstico ou efluente doméstico, as águas são direcionadas para a rede de coleta de esgoto ou quando essa rede não existe, são lançadas diretamente em algum corpo hídrico receptor.

Além do efluente doméstico, existe o efluente industrial, aquele líquido que provém dos processos industriais, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto sanitário. Depois desses usos, as características da água se alteram e trazem danos ambientais quando retornam aos corpos hídricos. Mas será que esses danos podem ser reduzidos ou até mesmo evitados?

No Brasil, milhões de pessoas ainda não possuem acesso à água tratada e coleta de esgoto. Mas essa é uma realidade que tende a mudar, visto que cada vez mais, tecnologias de sistemas de coleta e tratamento do efluente vêm sendo estudadas e aplicadas. Os tratamentos biológicos são os mais escolhidos para tratar os efluentes domésticos. Os efluentes industriais possuem substâncias químicas que podem alterar e danificar a vida dos microrganismos que são responsáveis por degradar a matéria orgânica e tratar os efluentes. Assim, tratamentos químicos também têm se apresentado como solução para esse problema.

Araguari ainda não é uma referência quando o assunto é este, mas nos últimos anos houve um grande investimento nas estações de tratamento de esgoto da cidade. Portanto, analisar o desempenho das lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto Industrial, pode explicitar os avanços que o município está apresentando quanto ao tratamento do efluente doméstico da população araguarina e do efluente industrial advindo do Distrito Industrial.

### **3. OBJETIVO GERAL**

Analisar estatisticamente o desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto Industrial de Araguari - MG, no período de 2019 à 2021. E dessa forma, comparar os resultados com a legislação vigente.

#### **3.1. Objetivos Específicos**

- Analisar pH, *Escherichia coli*, temperatura, DBO, DQO, coliformes termotolerantes, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, turbidez e condutividade elétrica nas duas entradas e saída das lagoas de estabilização em 2019, 2020 e 2021 por meio de testes paramétricos e testes não paramétricos;
- Comparar os resultados dos testes com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008 e a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011;

- Comparar os resultados dos testes com os padrões de qualidade para reúso da água estabelecidos para a modalidade de uso “urbano” na Deliberação Normativa CERH-MG N° 65, de 18 de junho de 2020;
- Discutir os resultados, verificando a qualidade desse efluente e, desse modo, verificando também a eficiência do tratamento nessa estação.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Legislação sobre Saneamento Básico no Brasil**

A Lei n° 11.445, de 05 de janeiro de 2007, também denominada como marco regulatório do saneamento básico, estabelece as diretrizes para a política nacional do saneamento básico. No ano de 2020, ela foi atualizada pela Lei n° 14.026, de 15 de julho de 2020. A definição de saneamento básico é apresentada no Art. 3 da lei como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes; (BRASIL, 2007)

Como o acesso ao saneamento básico é um direito previsto por lei, a universalização do saneamento é uma meta governamental há anos. Em 2013, o Plano Nacional do Saneamento Básico (PLANSAB) foi aprovado pelo Decreto n° 8.141 de 20 de novembro de 2013 e pela Portaria Interministerial n° 571 de 05 de dezembro de 2013, estabelecendo metas, diretrizes,

ações e programas relativos ao saneamento básico para o país nos próximos 20 anos. O plano deve ser avaliado todo ano e revisado a cada quatro anos.

De acordo com o PLANSAB (2013, p.20), “A noção de universalidade remete à possibilidade de todos os brasileiros poderem alcançar uma ação ou serviço de que necessite, sem qualquer barreira de acessibilidade, seja legal, econômica, física ou cultural.”

O novo marco regulatório do saneamento prevê que através de metas de universalização, 99% da população seja atendida com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto, até dezembro de 2033. A verificação dessas metas, deve ser realizada anualmente pela agência reguladora, observando-se um intervalo dos últimos cinco anos, onde as metas deverão ter sido cumpridas em pelo menos três, e a primeira fiscalização deve ser realizada apenas ao término do quinto ano de vigência do contrato. Com isso, constata-se que os municípios precisam investir nesse tipo de serviço e em suas infraestruturas, e assim a nível federal os objetivos serão alcançados.

Uma modificação importante com a atualização do marco regulatório do saneamento, se deu pela alteração na Lei nº 9.984 de julho de 2000, que dispõe da criação da Agência Nacional de Águas (ANA):

Esta Lei cria a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, e estabelece regras para sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos. (BRASIL, 2000, Art.1)

Antes do novo marco regulatório do saneamento básico, a ANA era responsável pela gestão das águas no Brasil, sendo nominada de Agência Nacional de Águas. Após a atualização do marco regulatório do saneamento, a ANA passou a gerir também os serviços de saneamento básico e ser nominada de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esta lei regula quantitativamente e qualitativamente os usos das águas, assegurando a disponibilidade de água e preservação dos recursos hídricos para as próximas gerações, por meio de diretrizes e instrumentos que possibilitem o alcance dos objetivos propostos. Além disso, formula o Sistema de Informações sobre os Recursos Hídricos, que é muito importante para se conhecer através de dados e informações a situação dos recursos hídricos ao decorrer



dos anos, possibilitando assim conhecer as medidas necessárias para que ocorra o uso sustentável da água.

Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), presentes na referida lei, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. Segundo o Artigo 35 dessa lei, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, entre outras providências, delibera sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos a nível federal e podem estabelecer diretrizes e alterações na legislação ligadas à Política Nacional dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

O novo marco regulatório do saneamento básico passa a abordar o reuso de forma importante. Pensando nisso, e na importância do uso sustentável e da preservação das nossas águas, o reuso da água após tratamento nas estações de tratamento de esgoto se mostra como uma importante ferramenta a nosso favor. A Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, determina modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. No decorrer da citada Resolução, é definido que:

Art. 3º O reuso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I - reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos. [...]

Art. 4º Os órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH, no âmbito de suas respectivas competências, avaliarão os efeitos sobre os corpos hídricos decorrentes da prática do reuso, devendo estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para as diversas modalidades de reuso. (CNRH, 2005).

Um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos abordado é o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água. As classes serão definidas pela legislação ambiental. O enquadramento dos corpos d'água em classes objetiva "assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes." (Brasil, 1997).

Esse enquadramento condiciona parte das diretrizes da Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Baseando-se na Resolução CONAMA n° 357/2005, as águas doces são classificadas em cinco classes:

- I – Especial: Águas destinadas à usos mais nobres, como o abastecimento do consumo humano somente com desinfecção; à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- II – Classe 1: Águas destinadas ao consumo humano (após tratamento simplificado); à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, como a natação e mergulho; à irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas;
- III – Classe 2: Águas destinadas ao consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e a pesca;
- IV – Classe 3: Águas destinadas ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais;
- V – Classe 4: Águas destinadas somente à navegação e harmonia paisagística.

A Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011, orienta que o lançamento indireto de efluentes no corpo receptor segue as orientações nela descritas apenas quando há a inexistência de legislação ou normas específicas do órgão ambiental competente, assim como diretrizes das operadoras dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Ainda de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011, temos que:

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

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica:

I - Acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou

II - Exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor (CONAMA, 2011).

## **4.2. Legislação sobre recursos hídricos e saneamento básico em Minas Gerais**

A primeira Deliberação referente ao tema de tratamento de esgotos no Estado a ser abordada é a Deliberação Normativa nº 96, de 12 de abril de 2006, que delibera nos Art. 1º e Art. 2º:

Art. 1º - Ficam convocados para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos os municípios com população urbana superior a 30.000 (trinta mil) habitantes (Censo 2000) e os municípios, Serro, Tiradentes, Conceição do Mato Dentro e Ouro Branco cortados pela Estrada Real, definida no Programa de Incentivo ao Desenvolvimento do Potencial Turístico da Estrada Real criado pela Lei nº 13.173, de 20 de janeiro de 2005, [...]

Art. 2º - Todos os municípios convocados por essa Deliberação Normativa do Estado de Minas Gerais devem implantar sistema de tratamento de esgotos com eficiência mínima de 60% e que atendam no mínimo 80% da população urbana. (MINAS GERAIS, 2006).

Vale mencionar que, nesta Deliberação Normativa, os municípios são divididos em sete grupos que determinam o cronograma para o licenciamento de acordo com o tamanho da população e índice de coleta de esgotos. Os prazos estabelecidos para os processos de licenciamento e regularização ambiental dos sistemas de tratamento de esgotos, foram alterados pela Deliberação Normativa COPAM nº 128, de 27 de novembro de 2008.

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), o Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH – MG) visa aperfeiçoar os mecanismos de planejamento, compatibilização, avaliação e controle dos recursos hídricos em Minas Gerais, considerando os requisitos de quantidade e qualidade necessárias aos seus múltiplos usos. É composto por representantes do poder público e representantes dos usuários da água e de entidades da sociedade civil.

O Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) é um órgão subordinado administrativamente à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, que além de estabelecer normas regulamentares e padrões para a preservação e conservação do meio ambiente e dos recursos ambientais, promove juntamente com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, “a integração entre as políticas de proteção ao meio ambiente e a de recursos hídricos, observando a compatibilidade entre os instrumentos de planejamento da qualidade ambiental e o Plano Estadual de Recursos Hídricos.” (SEMAD, s.d.).

A deliberação normativa conjunta COPAM/CERH – MG nº 01, de 05 de maio de 2008, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Esta deliberação estabelece quantitativamente as condições e padrões que cada corpo d'água necessita apresentar para estar em determinada classe, tais como pH, sólidos suspensos totais, oxigênio dissolvido, turbidez, entre muitos outros. Assim, devem ser feitas análises periódicas dos parâmetros estabelecidos e o monitoramento realizado pelo órgão estadual competente. Estabelece também valores máximos que os parâmetros orgânicos e inorgânicos devem possuir para o lançamento de efluentes.

Conforme o Art. 27 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG nº 01, de 05 de maio de 2008, das condições para o lançamento de efluentes é denotado que:

Art. 27. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes de poluição, mesmo que tratados.

§ 1º Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente:

I – atender às condições e padrões de lançamento de efluentes;

II – não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e

III – atender a outras exigências aplicáveis, especialmente aquelas estabelecidas nos planos de recursos hídricos.

§ 2º No corpo de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias intermediárias e final. (MINAS GERAIS, 2008).

No Brasil, a primeira legislação estadual sobre reuso de água com definição de padrões foi publicada na Bahia em 2010. Os limites dos padrões eram mais flexíveis. Porém, ao longo dos anos, legislações estaduais cada vez mais condizentes com a realidade atual e com padrões menos flexíveis que anteriormente, estão sendo publicadas por outros Estados (SANTOS, Ana, 2005, 2021).

Quanto ao reuso das águas residuárias em Minas Gerais, a deliberação normativa CERH – MG nº 65, de 18 de junho de 2020, estabelece as diretrizes, modalidades e procedimentos para o reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs) de sistemas públicos e privados.

Para que os mineiros produtores de água para reuso consigam fazer a reutilização dessa água de acordo com a legislação, devem manter um cadastro atualizado junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e informar a situação da qualidade da água, através do

monitoramento dos valores dos parâmetros estabelecidos, dentre outras informações, ao órgão competente. O Art. 3 desta Deliberação, informa que a água para reúso pode ser utilizada nas seguintes modalidades:

I – Usos em atividades agrossilvipastoris: fertirrigação de culturas não ingeridas cruas, incluindo culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores, de acordo com as seguintes formas de aplicação: [...]

II – Usos urbanos:

a) no uso amplo é permitido lavagem de praças, pátios, ruas e avenidas, estacionamentos e outros usos similares em áreas de acesso amplo ao público, além de lavagem de veículos comuns e uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias);

b) no uso limitado é permitido lavagem de veículos especiais (caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração, trens e aviões), controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto;

III – Usos para fins ambientais: aplicação de água para reúso em projetos de recuperação florística ou de áreas degradadas, para fertirrigação superficial, localizada ou aspersão, desde que o acesso a estas áreas seja controlado.

IV – Usos industriais: reúso de água em operações e processos industriais, uso na construção civil, mineração, processos de produção e demais atividades em suas expertises;

§1º – As demais práticas e modalidades de reúso, não regulamentadas por esta Deliberação, deverão ser objeto de manifestação do CERH-MG no âmbito de suas competências legais.

§2º – Não é permitida a utilização de água para reúso no processamento e beneficiamento de alimentos.

§3º – No caso da aplicação por aspersão, esta não deverá causar impacto nas áreas do entorno, principalmente quando houver cultivo de espécies vegetais cujo produto alimentício seja ingerido cru ou houver a presença de residências isoladas ou comunidades urbanas. (MINAS GERAIS, 2020).

### **4.3.Situação atual do Esgotamento Sanitário em Minas Gerais**

Em 2003, o programa Minas Trata Esgoto foi lançado no Estado de Minas Gerais, pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) com o principal objetivo de realizar a gestão estratégica da implantação de sistemas de tratamento de esgotos. O programa utiliza o Índice de Avaliação do Esgotamento Sanitário Municipal – IESM, para avaliar a qualidade e situação atual do sistema de esgotamento sanitário dos municípios mineiros, bem como faz o levantamento de dados provenientes do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM), de respostas de ofícios enviados aos municípios, de informações obtidas do correio eletrônico para prefeitura ou concessionária responsável pelo serviço de esgotamento sanitário, e por meio de revisão bibliográfica.

De acordo com o site da FEAM, o IESM é composto pelo Percentual de coleta (PC), Percentual de Tratamento (PT) e Regularização Ambiental, sendo este dividido em quatro subindicadores: ETE Regularizada (ER), Atendimento à DN nº 96/2006 (DN), o ICMS Ecológico (IE) e Monitoramento dos Efluentes Líquidos (ME). Após a somatória de todos esses indicadores ( $IESM = PC + PT + ER + DN + IE + ME$ ), o índice é aplicado aos municípios e são classificados de acordo com as faixas de valores para o IESM (Tabela 1).

Nota-se que os estudos de 2016 do programa Minas Trata Esgoto, revelaram a redução na parcela dos municípios mineiros enquadrados na faixa Alarmante, comparando-se aos últimos anos e também houve o aumento dos enquadrados na faixa Bom. Mas dos 36,81% que ainda se encontram em situação alarmante, 10% ainda receberam a pontuação zero, por não atender a nenhum dos indicadores. Analisando os dados obtidos, é possível identificar os maiores problemas que afetam a oferta e a qualidade dos serviços de esgotamento sanitário em Minas Gerais e permite definir os locais de ações prioritárias do governo, sendo assim, viável a elaboração de diretrizes e medidas que diminuam as deficiências (FEAM, [2016?]).

**Tabela 1** - Classificação, número e percentual de municípios que se enquadram em cada faixa do IESM em Minas Gerais, 2016.

IESM	Classificação	Nº de Munic.	% Munic.
$75 \leq x \leq 100$	Bom	139	16,30%
$50 \leq x < 75$	Médio	70	8,21%
$35 \leq x < 50$	Ruim	330	38,69%
$0 \leq x < 35$	Alarmante	314	36,81%

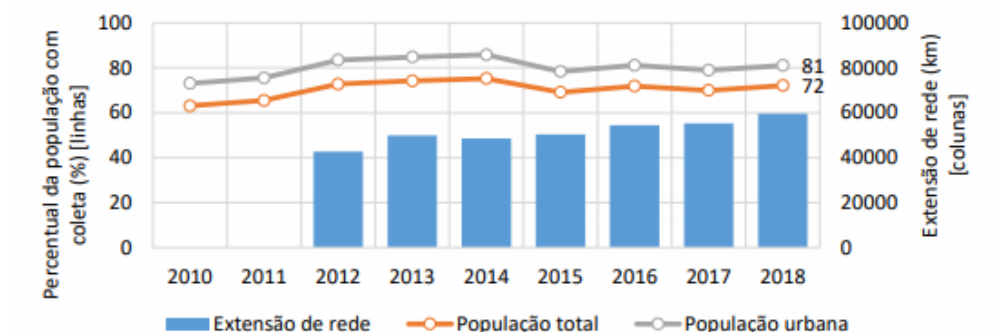
Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2016.

No período de 2010 a 2018, o percentual da população atendida com coleta em Minas Gerais manteve-se praticamente constante apesar do aumento da rede coletora de esgoto, basicamente porque o incremento da rede coletora foi equivalente ao crescimento populacional (Gráfico 1). O relatório de Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais de 2020, do Instituto Mineiro de Gestão das Águas, considerou no estudo a população estimada pelo IBGE, de 21,2 milhões de habitantes, sendo que cerca de 16, 7 milhões de pessoas ocupam a área urbana e é considerada como população urbana. O relatório nos alerta que:

Ao comparar a evolução do percentual da população mineira atendida com coleta de esgoto, percebe-se que há indícios de que a meta de 2020, estabelecida no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) para Minas Gerais, não será alcançada. Em 2018, o estado registrava 72% da população atendida com coleta de esgoto, ao passo que no Plansab a meta para 2023 é de

83% de domicílios servidos com esgotamento sanitário. No entanto, o cenário se altera ao realizar uma análise em nível municipal (IGAM, 2020).

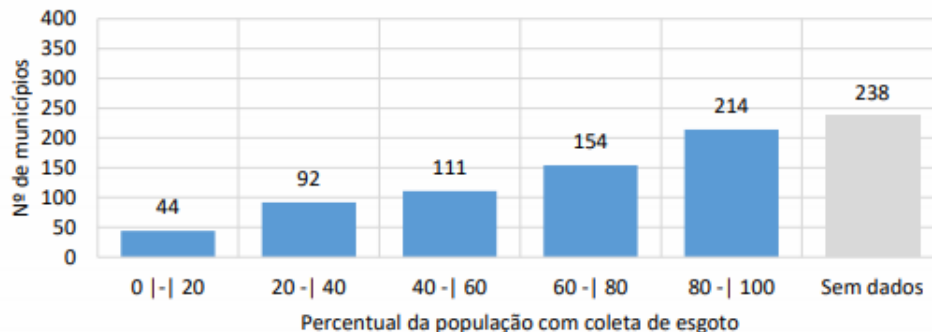
**Gráfico 1** - Percentual da população atendida com coleta de esgoto e extensão da rede entre 2010 e 2018.



Fonte: Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais 2020.

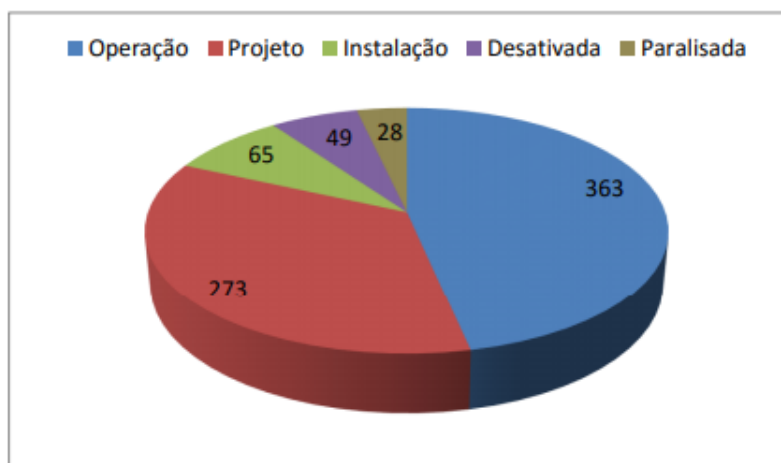
O gráfico 2 apresenta a distribuição dos municípios mineiros conforme o percentual de coleta de esgoto, onde 615 municípios apresentam informações disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e os 238 municípios restantes não possuem dados disponíveis.

**Gráfico 2** - Distribuição dos municípios mineiros de acordo com percentual de coleta de esgoto.



Fonte: Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais 2020.

De acordo com o relatório de 2016 do Minas Trata Esgoto, foram identificadas 778 ETEs nas áreas urbanas de 535 municípios, e nos 243 municípios restantes não existe ETEs em nenhuma das cinco categorias da figura (Gráfico 3). Das 363 estações em operação no Estado, somente 212 realizam algum programa de monitoramento, isso significa que a média estadual de realização de monitoramento de efluentes é de 58, 4% das ETEs (FEAM, 2016).

**Gráfico 3** - Panorama da situação das ETES em Minas Gerais.

Fonte: Minas Trata Esgoto, 2016.

Finalmente, para exemplificar como o saneamento básico está relacionado à saúde humana, dados obtidos dos indicadores do Painel Saneamento Brasil (2019) mostram que no ano de 2019, a quantidade de esgoto não tratado em Minas Gerais era de 559. 141, 22 mil m<sup>3</sup> e 26,9% da população mineira não contava com acesso à coleta de esgoto. A incidência de internações totais por doenças de veiculação hídrica foi de 11,67 internações por 10 mil habitantes com 330 óbitos por esse tipo de doenças.

Especificamente no município de Araguari, no mesmo ano, 10.937,97 mil m<sup>3</sup> de esgoto não era tratado, 0% da população não possuía acesso à coleta de esgoto e houveram 15,86 internações por doenças de veiculação hídrica por 10 mil habitantes. Nota-se que há a falta de base para os indicadores, visto que teoricamente 100% da população araguarina teria acesso à coleta de esgoto, mas sabe-se que não é o observado na prática.

Para a Organização Trata Brasil (2020) “[...] o estado de Minas Gerais necessita investir duas vezes mais do que investe hoje para atingir as metas propostas pelo novo Marco Legal do Saneamento, que é de levar água para 99% da população e coleta dos esgotos para 90%.”

#### **4.4. Tratamento de Esgoto no Brasil**

Se tratando das áreas urbanas dos municípios brasileiros, os esgotos domésticos e industriais são os principais agentes poluidores dos corpos d’água e corriqueiramente ainda são lançados nos mesmos sem nenhum tipo de tratamento. Diante da intensa degradação dos recursos hídricos, os esgotos de diversas cidades vêm sendo tratados em Estações de Tratamento de Esgotos, também conhecidas como ETES. Elas operam com diferentes



tecnologias de tratamento, buscando sempre uma melhora na qualidade da água que retorna aos mananciais (PEDROZA *et al.*, 2010).

A troca de governantes no Brasil, seja a nível federal, estadual ou municipal, costuma afetar significativamente os projetos e infraestruturas de saneamento básico. Essa troca altera principalmente o valor disponibilizado para investimentos nessa área, e propostas de nova legislação ou alterações na legislação vigente. Isso pode priorizar os interesses políticos ao invés da população e do meio ambiente.

Existem parâmetros físicos, químicos ou biológicos que servem como indicadores da qualidade da água. Valores máximos desses parâmetros são estabelecidos pela legislação, assim as ETEs verificam se o tipo de tratamento usado está atendendo ao que é exigido e podem providenciar melhorias caso necessário. Alguns parâmetros enfocados pelo tratamento de esgoto são citados abaixo, embora existam outros também utilizados para caracterização das águas residuárias como óleos e graxas, *Escherichia coli*, temperatura, nitrogênio amoniacal, condutividade elétrica, óleos vegetais e gorduras animais, sólidos sedimentáveis, etc.

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, graças aos sólidos em suspensão. O pH é um parâmetro químico que representa a concentração de íons hidrogênio H<sup>+</sup>, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH vai de 0 a 14. O Oxigênio Dissolvido (OD) é um parâmetro químico muito importante e vital para os organismos aeróbios. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são dois parâmetros relevantes que indicam a presença da matéria orgânica, que é a principal causadora da poluição das águas devido ao problema de consumo de OD pelos microrganismos nos seus processos de utilização e estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

Dependendo dos padrões exigidos para a qualidade do efluente tratado lançado nos corpos hídricos, da área disponível para implantação, dos investimentos assegurados pelo Estado, entre outros fatores, a tecnologia de tratamento de esgoto é escolhida e aplicada. Uma das mais eficientes utilizada atualmente é o sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados:

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações em que são necessários uma elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área. No entanto, o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando uma operação mais sofisticada e maiores consumos de energia elétrica. [...] No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, aumentando a concentração de

biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema (VON SPERLING, 2016).

Segundo Lobato (2011), o tipo de sistema de tratamento conhecido como reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), consiste em unidades de tratamento anaeróbio que removem a matéria orgânica carbonácea em suspensão ou dissolvida nas águas residuárias, funcionam basicamente por:

O perfil do reator caracteriza-se por uma distribuição do lodo biológico variando de muito denso e com boas condições de sedimentação próximas ao fundo (leito de lodo), até uma zona de crescimento bacteriano mais disperso (lodo menos concentrado) e com piores condições de sedimentação denominada manta de lodo. A estabilização da matéria orgânica ocorre em todo o compartimento de digestão (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás.

Os filtros biológicos percoladores são sistemas aeróbios de tratamento que geralmente atuam em combinação com decantadores secundários:

A tecnologia se baseia na aplicação contínua e uniforme dos esgotos por meio de distribuidores hidráulicos, que percolam pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo. O filtro biológico percolador funciona em fluxo contínuo e sem inundação da unidade. São sistemas aeróbios, permanentemente sujeitos à renovação do ar, que naturalmente circula nos espaços vazios do meio suporte, disponibilizando o oxigênio necessário para a respiração dos microrganismos. Os filtros biológicos percoladores são sistemas de tratamento de esgotos baseados no princípio da oxidação bioquímica aeróbia do substrato orgânico presente nos esgotos. Por meio da transformação de substâncias coloidais e dissolvidas, em sólidos estáveis, a película que se desgarra do meio suporte sedimenta-se facilmente e é removida em uma unidade de decantação secundária (SANTOS, ANA, 2005, 2021).

Existem diversas outras tecnologias para tratar esgoto doméstico e esgoto industrial, sendo tanto físicas ou biológicas, quanto químicas. A combinação de um tratamento físico-químico ou físico-biológico garante a qualidade no tratamento de esgoto. As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento bastante presentes em países em desenvolvimento e será discutido separadamente, pois é objeto de estudo do trabalho.

Vale ressaltar que antes de haver quaisquer desses tipos de tratamento, é indispensável o tratamento preliminar do efluente. O tratamento preliminar é a primeira etapa nas ETEs, sendo responsável por remover sólidos grosseiros e areia por meio de gradeamento e desarenadores. Permite a proteção dos dispositivos de transporte e de tratamento de esgoto como bombas e tubulações, promovendo a atenuação de problemas de corrosão e incrustação, contribuindo para o melhor funcionamento das unidades subsequentes (BORGES, 2014).

## 4.5. Tipos de Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização se apresentam como sistemas de tratamento de esgoto de simples construção e operação, são econômicas, não consomem muita energia, eficientes para tratar variados compostos comumente presentes nos efluentes industriais, porém, requerem áreas extensas para serem implantadas e se não houver monitoramento adequado, podem contaminar o solo e as águas subterrâneas. Por esses fatores, são uma boa opção para serem implantadas no Brasil. Além disso, as condições climáticas do país (altas temperaturas e alta incidência de radiação solar) são favoráveis para a eficácia do tratamento.

O Professor Gehling (2017) apresenta as condições ambientais ponderadas para a implementação das lagoas de estabilização, sendo que as temperaturas influenciam nas taxas de fotossíntese, na decomposição bacteriana, na solubilidade dos gases no líquido e nas condições de mistura. As taxas de radiação solar interferem na fotossíntese e os ventos são importantes para as condições de mistura da lagoa. Pela maior incidência de radiação solar e altas temperaturas, a taxa de fotossíntese deve aumentar e as lagoas podem enfrentar o problema de grandes concentrações de algas durante o verão.

Para Filho (2007), o tratamento biológico das lagoas de estabilização, pode ocorrer em condições anaeróbias, aeróbias ou facultativas, conforme a disponibilidade de oxigênio dissolvido, tipo de atividade biológica prevalecente, carga orgânica afluente, características físicas dos efluentes a serem tratados, por processos naturais e artificiais. Abordaremos os principais tipos de lagoas de estabilização, apresentando suas características físico-químicas e biológicas.

As lagoas facultativas são sistemas de estabilização da matéria orgânica, com tempo de detenção hidráulica suficiente para que este processo ocorra (de 15 a 45 dias para o efluente doméstico). As lagoas facultativas apresentam condições aeróbias na superfície da lagoa, ocorrendo redução fotossintética através da biomassa das algas, passando pela oxidação aeróbia das zonas facultativas no meio da lagoa (zona de transição) e ao fundo se tem as condições anaeróbias, ocorrendo a digestão anaeróbia. Podem ser primárias ou secundárias, recebendo o afluente direto da rede coletora ou tratado por algum tratamento primário e necessitam de maiores áreas de extensão que as lagoas anaeróbias (ARAÚJO, 2007).

As lagoas facultativas aeradas, como o próprio nome diz, são lagoas facultativas de menores dimensões que utilizam aeradores para introduzir oxigênio no sistema. Necessitam de fornecimento de energia elétrica, e a energia fornecida serve para a mistura do oxigênio na massa líquida e não para manter os sólidos suspensos. Os sólidos se sedimentam no fundo da

lagoa tornando a zona anaeróbia, e a zona superior é aeróbia. Von Sperling (1996, p.76) explica que:

Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Este turbilhonamento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida. Com isso, consegue uma maior introdução de oxigênio, comparada à lagoa facultativa convencional, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente. Em decorrência, o tempo de detenção do esgoto na lagoa pode ser menor (da ordem de 5 a 10 dias), ou seja, o requisito de área é bem inferior.

As lagoas anaeróbias são lagoas que estabilizam a matéria orgânica e removem a DBO através da sedimentação dos sólidos e a ação de microrganismos anaeróbios, principalmente bactérias. Os valores de DBO após o tratamento das lagoas anaeróbias ainda são elevados, e não atendem os parâmetros estabelecidos pela legislação, sendo necessário uma unidade posterior de tratamento. A configuração de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas é conhecida como sistema australiano e se dá como uma das mais utilizadas no Brasil.

Segundo Pio (2008, p.20), as lagoas anaeróbias são normalmente profundas (entre 3 e 5 metros) para que o oxigênio produzido na camada superficial não se infiltre nas camadas inferiores, e assim juntamente com grandes lançamentos de efluente por unidade de volume, as condições de anaerobiose sejam mantidas. A camada superficial da lagoa é pequena comparada com sua profundidade, e desse modo, o oxigênio produzido pela atividade fotossintética das algas e o resultante da reoxidação atmosférica são insignificantes. Na decomposição anaeróbia, é gerado o biogás (composto majoritariamente por  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ), esses subprodutos de alto valor energético possibilitam menor fornecimento de energia para o metabolismo e reprodução das bactérias do que no tratamento aeróbio.

As lagoas de maturação são lagoas fotossintéticas e aeróbias construídas com principal objetivo de remover organismos patogênicos. São características a baixa profundidade, pH e Oxigênio Dissolvido elevados. Sua profundidade deve ser baixa para potencializar a penetração da radiação solar, habitualmente adotada entre 0,8m e 1,2m.

Auerswald (1979, p.13) descreve uma lagoa de maturação como sendo “Aquela utilizada como melhoramento do tratamento prévio por outras lagoas ou qualquer outro processo biológico. Tem a capacidade de reduzir bactérias, sólidos em suspensão, nutrientes, bem como razoável remoção de DBO”.

D’Alessandro e Saavedra (2018, p.17) relatam o problema da estratificação térmica apontando que nas lagoas, a separação da água por camadas de diferentes densidades faz com

que a eficiência do tratamento diminua. A diferença dessas camadas na lagoa de maturação resulta na variação do Oxigênio Dissolvido (OD) e no pH.

Nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, ainda são notificados muitos casos de doenças de veiculação hídrica, como por exemplo, leptospirose, esquistossomose, cólera, hepatite A e diarreia.

Machado (2006) afirma que, por alcançarem densidades de patógenos satisfatoriamente baixas nos efluentes tratados e pela capacidade de liberarem nutrientes e biomassa de algas nas águas, que são reutilizáveis na agricultura, as lagoas de estabilização são a forma de tratamento recomendada pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPS), contanto que o tempo de detenção seja igual ou maior que 25 dias.

Bertoncini (2008), além de abordar os tratamentos de efluentes, também traz a discussão sobre o reuso da água pós-tratamento e aponta que:

As lagoas de estabilização funcionam bem na remoção do nitrogênio, pois promovem a desnitrificação (perda de nitrogênio para a atmosfera). O fósforo é removido pelo processo de precipitação, e os microrganismos, como os coliformes, ovos de helmintos e cistos de protozoários, são sedimentados no fundo da lagoa. [...] Os produtos gerados nos tratamentos de águas e resíduos devem ser amostrados e analisados periodicamente. Os resultados das análises devem ser confrontados com a legislação vigente, para definição do seu destino: descarte em mananciais, irrigação agrícola, criação de peixes, lavagem de baias.

A lagoa de estabilização trata efluentes de caráter doméstico e industrial, além de ser uma opção de pós-tratamento muito indicado em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) apresentam eficiência de remoção de matéria orgânica abaixo do que é exigido pelas legislações ambientais, logo, é adotado um pós-tratamento para melhoria na qualidade do efluente tratado.

A combinação de reator UASB seguido de lagoas de polimento é a mais usual, melhora a eficiência global do sistema e reduz o requisito de área se comparado com sistemas puramente naturais; o sistema pode conduzir a uma redução no custo de implantação; removem de forma eficiente os organismos patogênicos, sendo uma opção atrativa quando se objetiva reutilizar o efluente; além de diminuir a possibilidade de emissão de odores se comparado a sistemas combinados com lagoas anaeróbias. Combinações de reator UASB com outros tipos de lagoas são menos usuais, mas também apresentam vantagens semelhantes e podem ser implantadas (NASCIMENTO, 2014).

Neste trabalho, uma ETE compacta composta por um reator anaeróbio de fluxo ascendente, biofiltro aerado submerso e decantador secundário (tudo instalado no mesmo

compartimento), é seguida por uma série de lagoas de estabilização. É objetivado o reuso da água. Dessa forma, a combinação desses processos de tratamento aumenta a qualidade do efluente tratado, melhorando a remoção de matéria orgânica, de nutrientes e de organismos patogênicos.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1. Caracterização da área de estudo**

Araguari é um município brasileiro situado no norte do Triângulo Mineiro no Estado de Minas Gerais, a uma altitude que varia entre 940 e 1.087 metros. Segundo o IBGE (2020), Araguari possui área territorial de 2.729,777 Km<sup>2</sup> e a população estimada é de 118.361 habitantes.

O clima na região é predominante clima tropical, com inverno seco (Köppen, 1931). A EMBRAPA [199-?] aponta o clima na região, “apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm”.

A responsável por coletar e tratar o esgoto no município de Araguari é a Superintendência de Água e Esgoto – SAE, uma autarquia municipal que possui autonomia econômica, financeira e administrativa, dentro dos limites estabelecidos pela legislação municipal. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE (2017), apresenta alguns dados onde a extensão total da rede coletora de esgoto em Araguari era de 478 Km, o volume de esgoto tratado por dia era de 4.061m<sup>3</sup> e o número de economias esgotadas, ou seja, as unidades tributáveis conforme registro no serviço de esgotamento sanitário, era 50.081 unidades.

Araguari conta com sete estações de tratamento de esgoto, são elas: a ETE Córrego dos Verdes, ETE São Sebastião, ETE Distrito de Amanhece, ETE Distrito de Piracaíba e ETE Brejo Alegre, ETE Novo Horizonte e ETE Industrial.

A ETE Novo Horizonte é compacta, antes da construção das lagoas de estabilização (finalizadas em 2016), funcionava da seguinte maneira: o afluente chegava no gradeamento e passava pelo desarenador. Depois era bombeado para um reator anaeróbio de fluxo ascendente, onde dentro havia um biofiltro aerado submerso e um decantador secundário instalados para aumentar a eficiência do tratamento. O efluente tratado já seguia para o corpo receptor. Após essa etapa do tratamento, o excesso de lodo gerado no reator era disposto nos leitos de secagem.

Atualmente, o tratamento da ETE Novo Horizonte é o mesmo. Porém, após ser tratado na ETE Novo Horizonte, o efluente segue para a ETE Industrial antes do lançamento no córrego.

É desta mesma maneira compacta que as ETEs São Sebastião, Córrego dos Verdes, Distrito de Amanhece e Distrito de Piracaíba operam. Em 2019 foi inaugurada a ETE Brejo Alegre, que não segue esse padrão. É a mais moderna da cidade e conta com o sistema de gradeamento, desarenadores, reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) seguidos por filtros biológicos percoladores e finalizando com decantadores secundários.

A ETE Novo Horizonte recebe efluente doméstico dos bairros Novo Horizonte, Beatriz e Nossa Senhora da Penha, e a ETE Industrial recebe efluente industrial do Distrito Industrial e o efluente doméstico tratado da ETE Novo Horizonte. O esgoto que chega à ETE Novo Horizonte é tratado duas vezes, no reator e depois na ETE Industrial.

As ETEs Novo Horizonte e Industrial (Figura 1), ocupam aproximadamente 31 mil metros quadrados de área. A vazão de projeto para cada uma das ETEs é de 11 L/s.

**Figura 1** - ETE Novo Horizonte e ETE Industrial.



Fonte: Google Earth, 2021

É possível identificar a ETE Industrial composta pelo sistema de lagoas, as duas primeiras de maiores dimensões (2 e 3) seguidas de uma lagoa de raízes (wetland) (4) e terminando em uma lagoa de reuso (5), e no canto esquerdo da figura é possível identificar a ETE Novo Horizonte composta por um reator anaeróbio de formato circular (1).

Na entrada da ETE Novo Horizonte, o esgoto doméstico chega para o tratamento preliminar por meio do gradeamento (Figura 2). Segue para as caixas de areia, onde a remoção da areia é feita periodicamente e disposta em caçambas até ser descartada no aterro sanitário. É conduzido para um reservatório, onde o esgoto é bombeado para o topo do reator anaeróbio.

**Figura 2** - Grades seguidas das caixas de areia da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

No topo existe um compartimento circular de remoção de areia com quatro saídas, para evitar o acúmulo de areia dentro da unidade. Por meio de tubos, o esgoto é encaminhado e distribuído da parte superior para o fundo do reator. A ETE compacta Novo Horizonte é composta basicamente pelo sistema de gradeamento, medidor de vazão (calha Parshall), o reator anaeróbio de fluxo ascendente (Figuras 3 e 4) com biofiltro aerado submerso e decantador secundário inseridos, e dois leitos de secagem de lodo. O reator anaeróbio possui 10 metros de diâmetro e 6,10 metros de altura. O valor do volume do reator é de 478,85 m<sup>3</sup>. Os dois leitos de secagem juntos possuem 10,85 metros de comprimento e 7,85 metros de largura.



**Figura 3** - Reator anaeróbio da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

**Figura 4** - Reator anaeróbio da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Na ETE Novo Horizonte, o reator anaeróbio de fluxo ascendente realiza o tratamento anaeróbio do efluente. O biofiltro aerado submerso (Figura 5) vai tratar o efluente de forma aeróbia, aumentando a eficiência do sistema na remoção da DBO e de nitrogênio na forma

solúvel. No decantador secundário (Figura 6), há a sedimentação do lodo que é conduzido para os leitos de secagem (Figura 7). Seu efluente final tratado é lançado na primeira lagoa da ETE Industrial.

**Figura 5** - Biofiltro aerado submerso da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Edson José Rezende de Mello, 2007

**Figura 6** – Decantador secundário da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Edson José Rezende de Mello, 2007

**Figura 7** - Leitos de secagem da ETE Novo Horizonte.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

O efluente passa pela calha Parshall e é recalcado por duas bombas para as lagoas. A calha Parshall não é utilizada para medir as vazões, pois é legível apenas do valor de 40 m<sup>3</sup>/h para cima, e as vazões não chegam perto deste número.

São duas entradas para lançamento na primeira lagoa, chegando o efluente do Distrito Industrial e o efluente doméstico tratado da ETE Novo Horizonte. A primeira lagoa é do tipo facultativa aerada (Figura 8), com 4 metros de profundidade, 49,5 metros de largura e 135 metros de comprimento.

Do início de 2021 até o momento, a média da carga orgânica afluyente que chega na primeira lagoa, tem sido 65,62 kg/dia em horários de menor pico e 95,26 kg/dia em horários de maior pico de vazão (na primeira entrada). Na segunda entrada da lagoa, a média de carga orgânica afluyente é de 93 kg/dia nos horários com menor pico de vazão e 112,59 kg/dia nos horários de maior pico. Nos anos anteriores, não se tem as vazões que chega e sai da ETE. Dessa forma, a carga orgânica não pôde ser analisada.

**Figura 8** - Lagoa Facultativa Aerada na ETE Industrial.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Em paralelo, o efluente passa para a segunda lagoa que se trata de uma lagoa de maturação (Figura 9). A lagoa possui 1,2 metros de profundidade, 45 metros de largura e 130 metros de comprimento.

**Figura 9** - Lagoa de maturação da ETE Industrial.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Após essas duas lagoas, existe uma lagoa de raízes (Figura 10) com 46,5 metros de largura e 63,50 metros de comprimento. Aqui usaremos este termo “lagoa de raízes”, porém é mais abordada na literatura como *wetlands* construídas. Nada mais são que as áreas alagadas de forma artificial sazonalmente ou constantemente (como neste caso), tentando reproduzir e maximizar as condições das *wetlands* naturais.

Basicamente, são compostas pelo meio suporte (silte, brita, espuma de poliuretano, etc.), pelas plantas aquáticas, pelo biofilme microbiano que se desenvolve nas raízes e no meio suporte, e pela água residuária distribuída pelo leito. Essa técnica é comumente usada para tratamento secundário ou terciário das águas residuárias de pequenas comunidades e indústrias (COSTA, *et al.*, 2003). Pois apresentam capacidade de remoção da DBO, de organismos patogênicos, sólidos suspensos, nutrientes como fósforo e nitrogênio e metais pesados, e apresentam as mesmas vantagens quanto à eficiência do tratamento, construção, operação e manutenção das outras lagoas (LAUTENSCHLAGER, 2001, p. 3).

**Figura 10** - Lagoa de raízes da ETE Industrial.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Por fim, o efluente é despejado na lagoa de reuso (Figura 11). É a menor de todas, com 2 metros de profundidade, 45 metros de comprimento e 30,5 metros de largura. Antes de chegar na lagoa de reuso, o efluente passa pelo processo de cloração. A cloração serve para a desinfecção e redução do número de organismos patogênicos. Além de poder ser utilizada para

muitos outros fins, como controlar o mau odor e prevenir o entupimento de filtros (TONOM, 2007).

**Figura 11** - Lagoa final de reuso da ETE Industrial.



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Após esse tratamento, parte do efluente é lançado no Córrego Lagoa Seca (Figura 12) e parte é reutilizado pela população. A carga orgânica no final do tratamento no ano de 2021, é de 1,27 kg/dia para os horários com menor vazão na ETE, e de 3,77 kg/dia para os horários com maior vazão.

Saber a carga orgânica no final do tratamento é importante para entender como estará a qualidade do córrego Lagoa Seca após o lançamento desse efluente em suas águas. O córrego Lagoa Seca não é enquadrado segundo seus usos preponderantes na Resolução CONAMA 357/2007. Logo, adota-se a Classe 2 para o monitoramento e análise dos parâmetros da ETE.

Segundo a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), o fornecimento da água de reuso para a população deve ser feito na Estação de Tratamento, localizada ao final da rua Matilde Debs Diniz, no distrito industrial de Araguari, que funciona de 6h às 12h e de 13h às 18hs.

Para o cidadão araguarino ter acesso à água para reuso, é necessário que faça um ofício para o superintendente da SAE. Informando a quantidade de água requerida mensalmente e quantos caminhões serão necessários para o transporte, qual a finalidade de uso, nome da

empresa solicitante (se houver), por quanto tempo haverá a necessidade desse fornecimento. Após averiguar essas informações, a SAE libera a autorização.

**Figura 12** - Efluente final tratado na ETE Industrial antes de ser lançado no córrego.

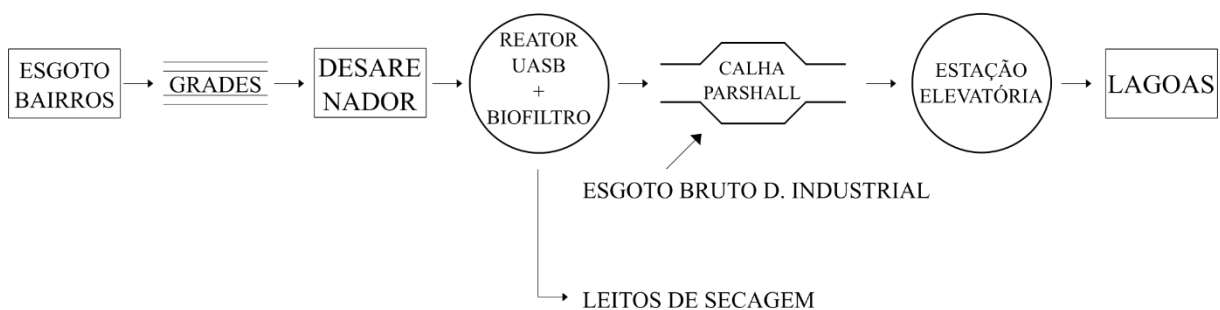


Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

Os desenhos esquemáticos abaixo (Figura 13 e Figura 14) representam as unidades que compõem cada uma das ETEs.

**Figura 13** - Desenho esquemático da ETE Novo Horizonte.

### ETE NOVO HORIZONTE



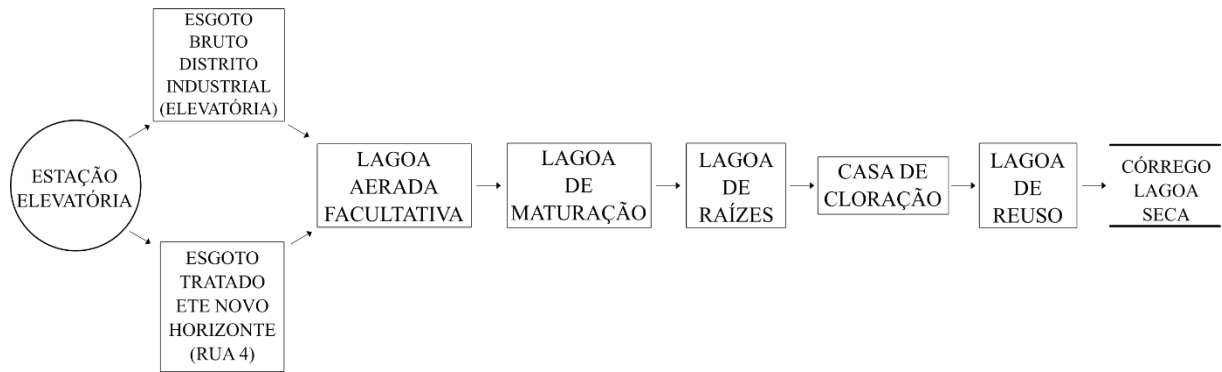
Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

A ETE Novo Horizonte tem seu efluente tratado lançado nas lagoas da ETE Industrial por uma questão de projeto. O responsável técnico optou por lançá-lo na lagoa aerada facultativa ao

invés de seguir diretamente para o córrego Lagoa Seca, visto que o excedente da ETE Industrial tem como destino o mesmo corpo receptor que a ETE Novo Horizonte.

**Figura 14** - Desenho esquemático da ETE Industrial.

## ETE INDUSTRIAL



Fonte: Joyce Pereira Maximiano, 2021

## 5.2. Caracterização do Distrito Industrial

A área que corresponde ao Distrito Industrial de Araguari, é apresentada pela figura 15, além de serem exibidos os bairros que despejam esgoto doméstico na ETE Novo Horizonte.

**Figura 15** - Distrito Industrial e demais bairros atendidos pelas ETES.



Fonte: Google Earth, 2021



Foram contabilizados 31 empreendimentos no Distrito Industrial de Araguari, sendo exibidos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Lista de empreendimentos do Distrito Industrial em Araguari – MG.

<b>Tipo de indústria</b>	<b>Quantidade existente no Distrito Industrial</b>
Indústria de fertilizantes	2
Indústria de armazenamento de grãos	3
Posto de combustível	1
Indústria metalúrgica	2
Indústria de geração de energia solar com painéis fotovoltaicos	1
Indústria de pescados (peixaria)	1
Empresa de manutenção de equipamentos industriais	1
Indústria fornecedora de areia e brita	1
Armazém de grãos e produtos agrícolas	3
Indústria produtora de óleos vegetais (mamona)	1
Indústria de laticínios	1
Pátio de veículos	3
Indústria de torrefação e comercialização de café	3
Indústria têxtil	1
Laboratório de análises agrícolas (solos, fertilizantes, etc.)	1
Indústria de processamento de grãos (soja)	1
Fábrica de cerâmica	1
Construtora	1
Indústria de logística e transporte de grãos	2
Indústria produtora e distribuidora de alimentos (tomate, abóbora, pimenta, pimentão e milho)	1

Fonte: Joyce Pereira Maximiano

A indústria de processamento de grãos possui uma estação de tratamento para os efluentes líquidos industriais e sanitários composta de três fases: tratamento físico-químico primário; tratamento anaeróbio secundário e tratamento aeróbio terciário. Afirmando não haver lançamento de efluentes nos corpos receptores, fazendo reuso de 100% do efluente líquido após devido tratamento.

A indústria de laticínios utiliza três tanques para tratamento do esgoto industrial produzido, passando apenas por processos físicos como a decantação. Após esse tratamento, esse esgoto é lançado para a rede pública. A indústria doa e vende o soro do leite que não é utilizado nos produtos fabricados, portanto, este material não é lançado para tratamento. Na rede pública, há o lançamento do esgoto industrial tratado e o esgoto doméstico.

A indústria de pescados está construída, porém a previsão de início de atividades é para o final deste ano. As metalúrgicas atuam na fabricação de chapas, facas e canivetes e descartam na rede pública o esgoto doméstico proveniente dos banheiros da indústria e dos escritórios e cozinha. A cerâmica não utiliza produtos químicos na fabricação de seus produtos e também descarta na rede pública o esgoto doméstico dos banheiros e da cozinha.

A indústria têxtil faz o tratamento do efluente de sua lavanderia, além de receber produtos químicos de outras indústrias para tratar e dessa forma, lança na rede pública apenas esgoto doméstico. O efluente tratado é reutilizado na própria indústria. O laboratório de análises agrícolas também lança apenas o esgoto doméstico.

Os pátios de veículo também lançam apenas esgoto doméstico, porém um deles também funciona como lava jato e assim, lança na rede pública, a água utilizada na lavagem de carros e caminhões. Como esperado, a empresa de energia solar com painéis fotovoltaicos, a de logística e transporte de grãos, os armazéns de grãos e o escritório da construtora geram apenas esgoto doméstico.

### **5.3. Análise estatística**

A Análise de Variância (ANOVA) baseia-se na utilização de variâncias para determinar se as médias são diferentes ou iguais. O procedimento funciona através da comparação da variância das médias entre grupos versus a variância dentro dos grupos, como uma maneira de determinar se os grupos são todos parte de uma população maior ou populações distintas com características diferentes (MINITAB, 2019a).

A ANOVA foi utilizada para testar a hipótese de que duas ou mais médias dos parâmetros escolhidos se diferem ou se igualam ao longo de três anos. Porém, ela só conclui a igualdade ou diferença das médias, e não é capaz de informar qual média está se diferenciando das demais. Para isso, foi utilizado o teste de Tukey, um teste rigoroso e de fácil aplicação. Esse teste estatístico foi escolhido por se basear na comparação por pares de médias, comparando em pares qual ano apresentou a diferença das médias para determinado parâmetro.

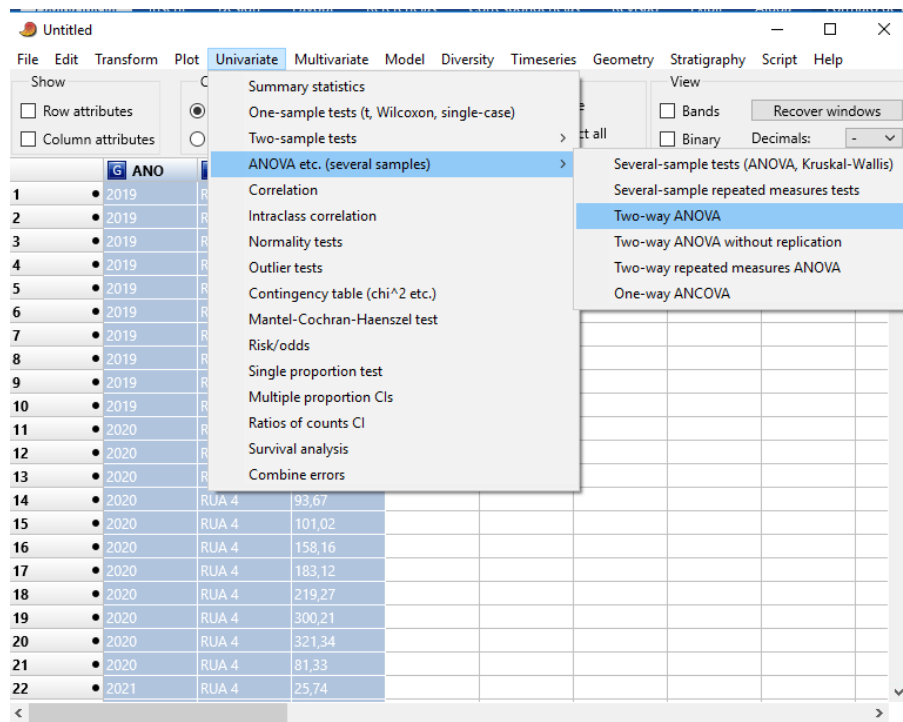
Os cálculos da ANOVA foram feitos no software PAST. O PAST é um software gratuito para análise de dados científicos, com funções para manipulação de dados, plotagem, estatística

univariada e multivariada, análise ecológica, séries temporais e análise espacial, morfometria e estratigrafia (Uio, 2021).

A ANOVA trabalha com fatores, o ano (variável de estudo) e o ponto de coleta (variável aleatória) são os fatores que influenciam nos resultados. Os anos são 2019, 2020 e 2021, e os pontos de coleta são a entrada da rua 4 (que recebe o efluente tratado da ETE Novo Horizonte), a entrada da elevatória (que recebe o efluente bruto do Distrito Industrial) e a saída. Os fatores significam uma característica que permite diferenciar as amostras umas das outras, esses dois fatores não apresentam interações (dependências) entre si. No PAST, as colunas são preenchidas com os dados dos fatores (Groups) e com os valores das amostras a serem analisadas.

O exemplo abaixo se trata da DBO, após preencher uma coluna com o ano e outra com o ponto de coleta, foram colocados os valores de DBO em cada mês para cada ponto de coleta. Foi selecionado o teste da análise de variância para várias amostras (ANOVA several samples) e como a ANOVA pode ser utilizada com outros objetivos, deve-se selecionar qual tipo de análise se aplica ao grupo de amostras. Two-way ANOVA é o teste utilizado quando se tem dois fatores (Figura 16).

**Figura 16 - Teste da ANOVA no PAST.**



Fonte: PAST

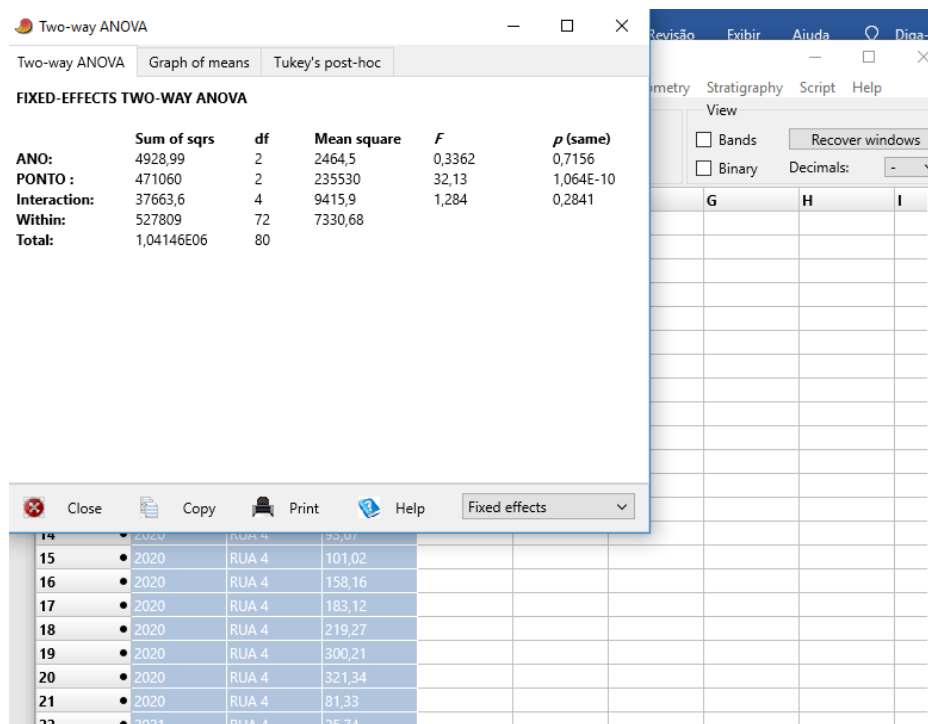
O PAST gera os valores das médias, soma dos quadrados (sum of sqrs), quadrados médios (mean square), graus de liberdade (df), interação, estatística F e o valor-p (Figura 17). A estatística F é baseada na razão dos quadrados médios entre os grupos e dentro de cada grupo. Os quadrados médios são encontrados pela razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade. A estatística F tem distribuição F de Fisher-Snedecor com  $k-1$  e  $n-k$  graus de liberdade, onde  $k$  é o número de grupos ( $k = 3$ ) e  $n$  é o número de observações ( $n = 75$ ). No exemplo da DBO, o grau de liberdade entre grupos é igual a 2 ( $3-1=2$ ) e dentro dos grupos é igual a 72 ( $75-3=72$ ), pois foram 75 observações no total (FARIA e OLIVEIRA, 2019a).

Os fatores de forma isolada geram uma variável de resposta, mas quando se trabalha com mais de um fator numa pesquisa (no caso, ano e ponto de coleta), é importante avaliar a interação entre eles. A interação indica a dependência dos fatores, ou seja, o efeito de um fator depende do estado do outro fator. Para exemplificar, a variável de estudo (ano) depende do ponto de coleta (variável aleatória) para indicar se, ao longo dos anos, houve diferença significativa nos parâmetros analisados.

As hipóteses avaliadas pelo teste são: Hipótese nula ( $H_0$ ) = a média dos parâmetros são consideradas iguais ao longo dos anos. E Hipótese alternativa ( $H_1$ ) = a média dos parâmetros se diferiu em pelo menos um ano. Caso o valor-p  $< 0,05$ , rejeita-se  $H_0$  e  $p > 0,05$ , aceita-se  $H_0$ .

O nível de significância, também denotado como alfa, é a probabilidade de rejeição da hipótese nula quando ela é verdadeira. Os valores de significância mais adotados são de 5%, ou 0,05, o que indica um risco de 5% de concluir que existe uma diferença quando não há. Utiliza-se um nível de significância mais rigoroso de 1% ou 0,01, na área da saúde e afins. O valor-p (p same) é gerado por vários testes estatísticos e significa que, se o valor encontrado for menor que o nível de significância adotado, estatisticamente existe diferença entre as médias ou medianas dos tratamentos. Um valor-p pequeno significa que a probabilidade de obter um valor da estatística de teste como o observado é muito improvável, levando assim à rejeição da hipótese nula (MINITAB, 2019b).

**Figura 17** - Valores estatísticos gerados pelo PAST.

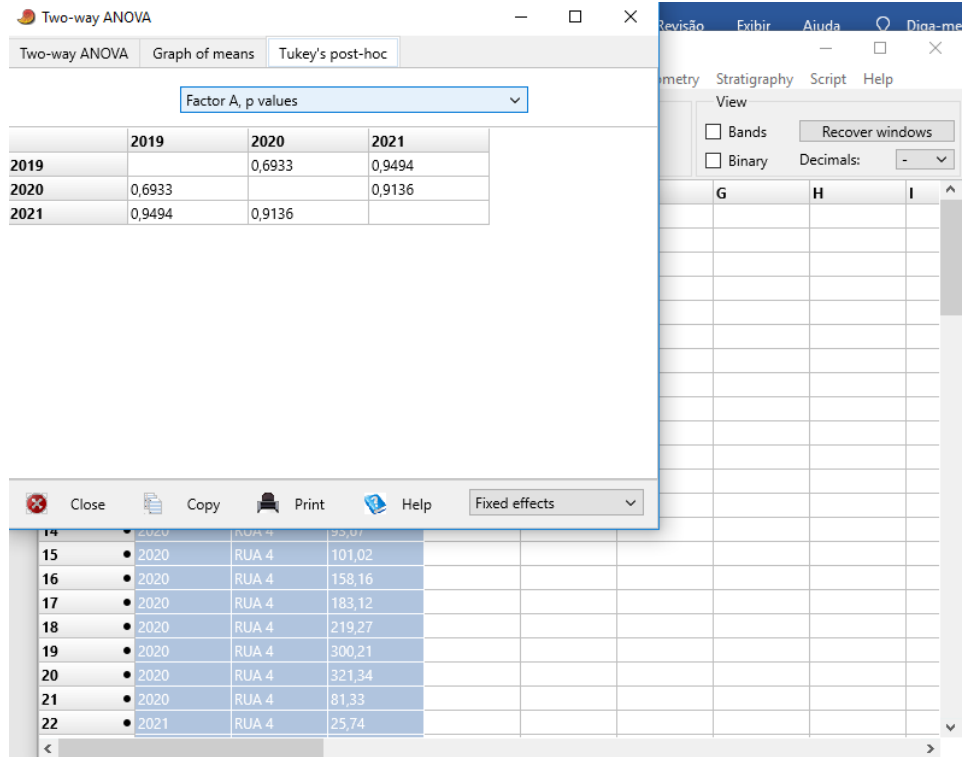


Fonte: PAST

O PAST também gera os valores de resultado do teste de Tukey. O teste de Tukey é exato para tamanhos amostrais iguais. Quando são diferentes, este se torna um teste aproximado, mas ainda apresenta resultados confiáveis. O teste pode ser interpretado com base no valor da diferença mínima significativa (D.M.S.) ou no valor-p (OLIVEIRA, 2019b).

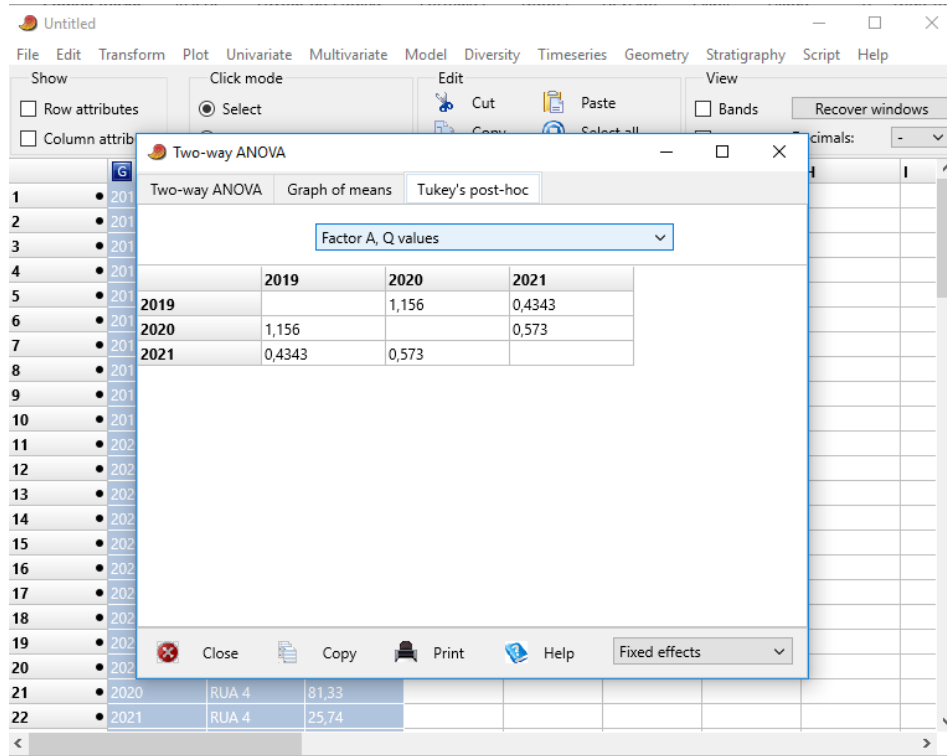
No PAST, os valores do teste de Tukey são mostrados por Tukey's post-hoc. Onde ocorre a comparação dos valores-p de cada fator, o fator A representa o ano e o fator B representa o ponto de coleta. Ao longo dos anos, a DBO não apresentou diferença significativa (Figura 18). Todos os valores de p foram maiores que o nível de significância ( $> 0,05$ ). Quando o valor-p é menor que este, o PAST apresenta os resultados em vermelho para indicar que houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos. O software também gera os valores de diferença das médias (Q) entre cada ano ou ponto de coleta (Figura 19).

**Figura 18 - Valores do teste de Tukey gerados pelo PAST.**



Fonte: PAST

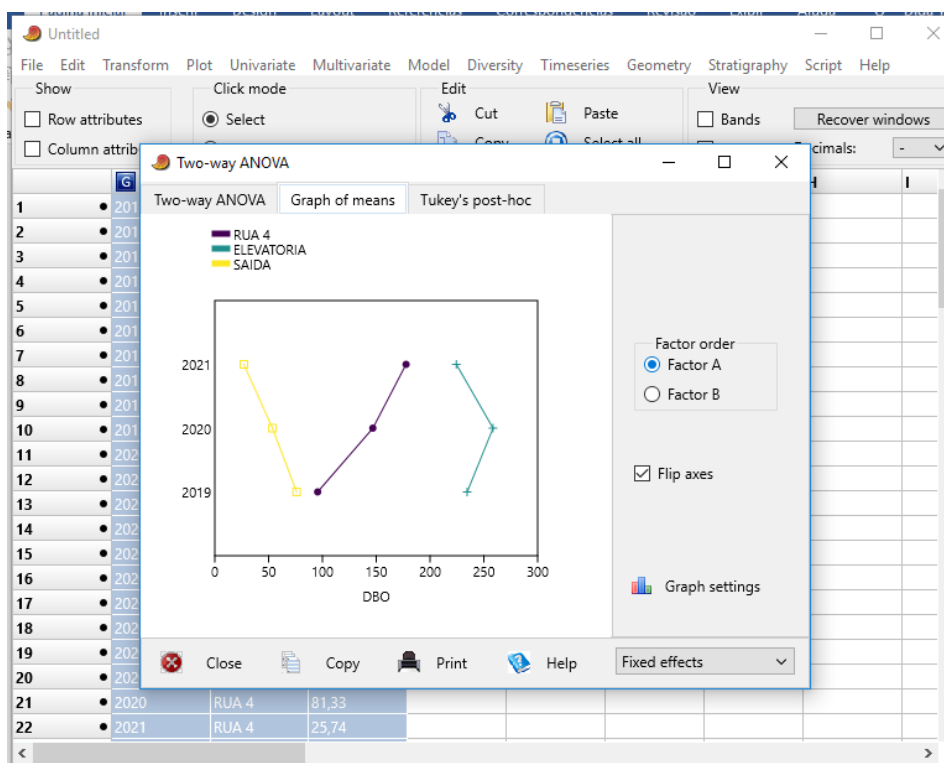
**Figura 19 - Valores das diferenças das médias geradas pelo PAST.**



Fonte: PAST

Os gráficos apresentados nos resultados foram gerados pelo PAST, como o exemplo da Figura 20. São gerados os gráficos das médias (Graph of means) tanto para o ano (Fator A) quanto para o ponto de coleta (Fator B).

**Figura 20** - Gráfico das médias de DBO ao longo dos anos gerado pelo PAST.

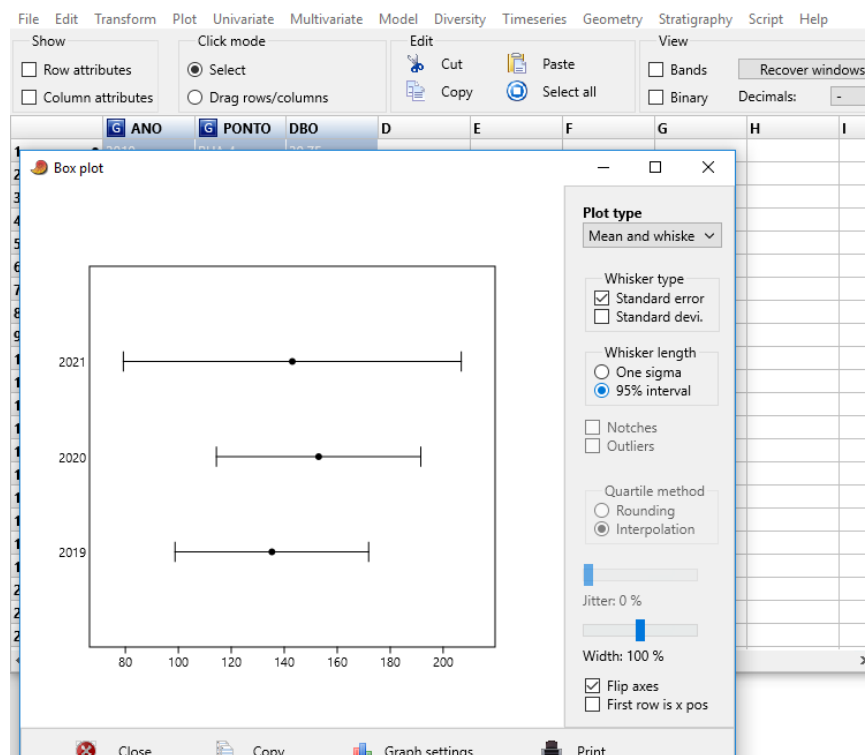


Fonte: PAST

Outros tipos de gráficos com outras informações e formatos diferentes também são gerados por este software (Figura 21). O intervalo de confiança é expresso em porcentagem, denominada por nível de confiança, sendo 90%, 95% e 99% as mais indicadas. Foi utilizado 95%. O intervalo de confiança é um dos conceitos mais importantes dentro dos testes de hipóteses, por ser utilizado como medida de incerteza. É importante para indicar a margem de incerteza (ou imprecisão) frente a um cálculo efetuado. Esse cálculo usa a amostra do estudo para estimar o tamanho real do resultado na população de origem. O intervalo de confiança pode ser interpretado da seguinte maneira: é 95% confiante de que o intervalo entre limite inferior e limite superior contém o verdadeiro valor do parâmetro populacional (média) (SOUSA, [c2011-2021]).

Um intervalo de confiança menor, quer dizer melhor precisão. A probabilidade da população de estudo representar a população real é maior, dando maior certeza ao resultado.

**Figura 21** - Gráfico da média e intervalos de confiança da DBO gerado pelo PAST.



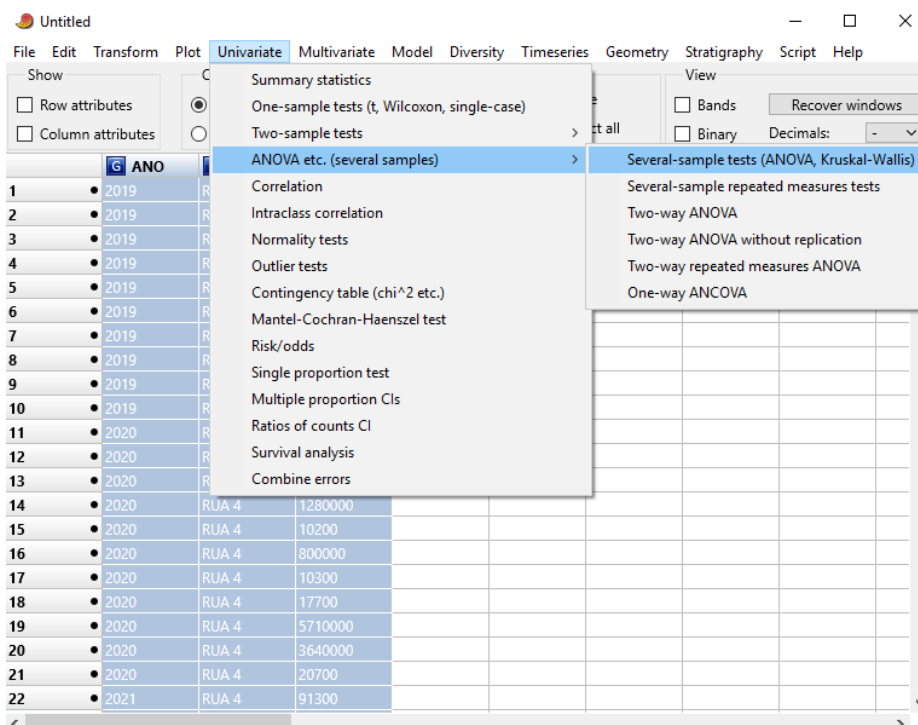
Fonte: PAST

Para a análise de dois parâmetros, Coliformes Termotolerantes e *Escherichia coli*, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis no software PAST (Figura 22). Estes apresentaram dados não paramétricos, segundo o teste de normalidade de dados de Shapiro-Wilk, também feito pelo PAST.

O teste Kruskal-Wallis (ou teste H) é um teste de hipótese estatístico não paramétrico equivalente a ANOVA, onde a variável medida deve estar em escala ordinal ou numérica e não exige a normalidade da variável, nem homogeneidade de variâncias entre os tratamentos. Ele testa a hipótese de que as amostras têm ou não a mesma distribuição. O mesmo se baseia nos postos (ranks) das observações em cada grupo. A aplicação do teste de Kruskal-Wallis utiliza valores numéricos transformados em postos e agrupados em apenas um conjunto de dados. A comparação dos grupos é realizada por meio da média dos postos ou chamado de posto médio (JÚNIOR, 2014).



Figura 22 - Teste de Kruskal-Wallis no PAST.



Fonte: PAST

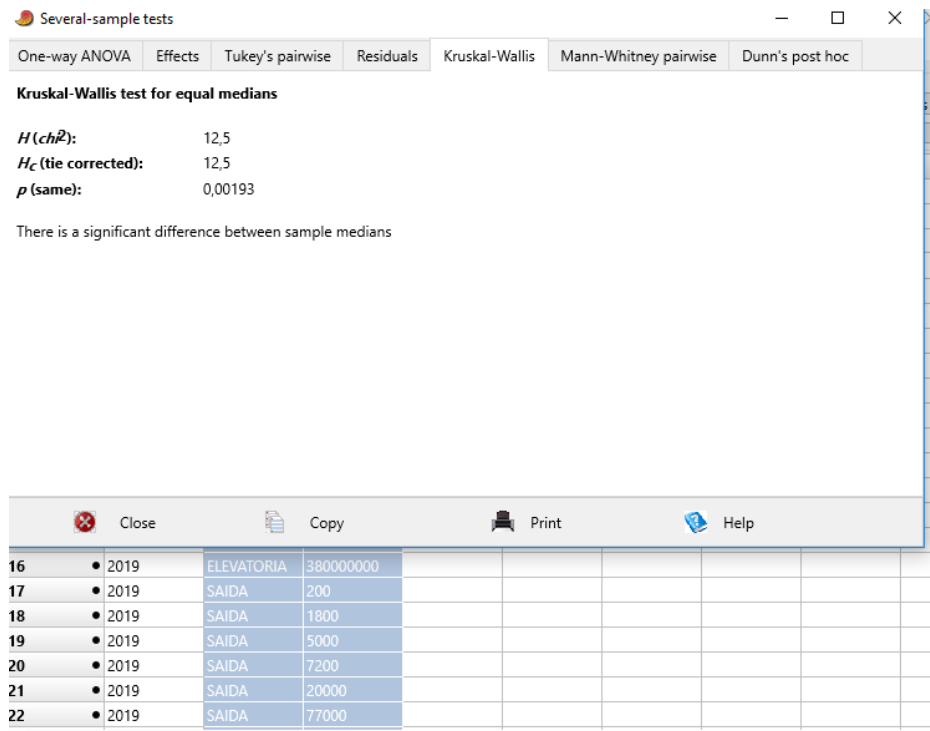
Durante o ano de 2019, os relatórios mensais das ETEs trabalhavam com o parâmetro “Coliformes termotolerantes” e a partir de 2020, trocaram e passaram a apresentar o parâmetro “*Escherichia coli*”. O teste estatístico usado para ambos é o mesmo, porém as interpretações de resultados e hipóteses são diferentes para cada um.

Para coliformes termotolerantes: A hipótese nula ( $H_0$ ) é de que as amostras de coliformes termotolerantes não apresentaram diferença significativa nos diferentes pontos de coleta, ao longo de 2019. A hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que as amostras de coliformes termotolerantes apresentaram diferença significativa nos diferentes pontos de coleta, ao longo de 2019. Como existem dados de apenas um ano, excepcionalmente nesse caso, os pontos de coleta se tornaram a variável de estudo.

Para *Escherichia coli*: A hipótese nula ( $H_0$ ) é de que a quantidade analisada de *Escherichia coli* não se diferiu de 2020 para 2021. A hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que a quantidade analisada de *Escherichia coli* apresentou diferença de 2020 para 2021.

O teste Kruskal-Wallis trabalha com as medianas, diferentemente do teste de Tukey que trabalha com as médias, e não aponta onde existe a diferença dentre os grupos amostrais. Caso o valor-p seja menor que o nível de significância ( $p < 0,05$ ) adota-se a hipótese alternativa como verdadeira (Figura 23).

**Figura 23** - Valores do teste de Kruskal-Wallis gerados no PAST para os coliformes termotolerantes.



Fonte: PAST

Como a hipótese alternativa foi aceita no exemplo acima, foi usado a posteriori o teste de Mann-Whitney para a comparação por pares das medianas com a finalidade de descobrir em qual ponto de coleta a amostra de coliformes termotolerantes apresentou diferença dos demais (Figura 24). Assim como Kruskal-Wallis, é baseado em postos de observações, são esses valores que geram os resultados, portanto, a ordem em que são agrupados é crucial. Foi adotado 5% de nível de significância para todos os testes.

**Figura 24** - Valores do teste de Mann-Whitney gerados no PAST para os coliformes termotolerantes.

	RUA 4	ELEVATORIA	SAIDA
RUA 4		0,06608	0,06608
ELEVATORIA	0,06608		0,0009391
SAIDA	0,06608	0,0009391	

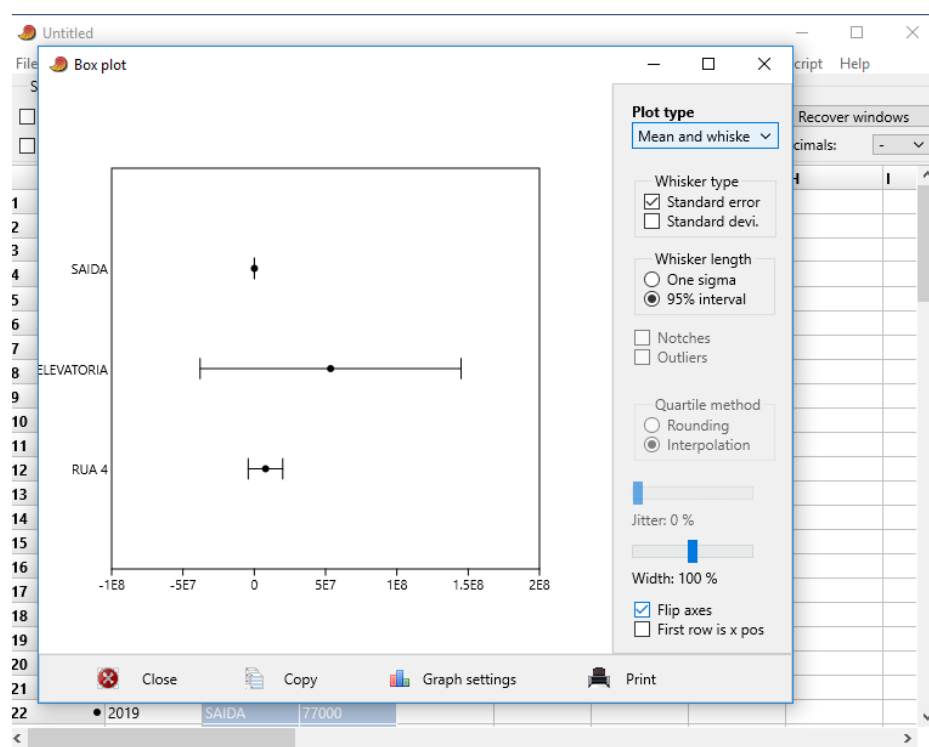
16	• 2019	ELEVATORIA	380000000					
17	• 2019	SAIDA	200					
18	• 2019	SAIDA	1800					
19	• 2019	SAIDA	5000					
20	• 2019	SAIDA	7200					
21	• 2019	SAIDA	20000					
22	• 2019	SAIDA	77000					

Fonte: PAST

Teste de Mann-Whitney (ou teste U) é uma alternativa para o teste “t” para amostras independentes quando as pressuposições, exigidas pelo teste “t”, estiverem seriamente comprometidas. A única exigência do teste de Mann-Whitney é a de que as observações sejam medidas em escala ordinal ou numérica. Para amostras pequenas, primeiramente ordenam-se os valores misturados dos grupos, em ordem crescente indicando sempre a que grupo cada valor pertence. Em seguida, o valor de U (a estatística utilizada) é obtido fixando-se os valores referentes ao menor dos grupos (n1), contamos o número de vezes que um valor no grupo (n1) precede um valor no grupo (n2). Para determinar U, ordenam-se primeiro os ranks em ordem crescente, tendo o cuidado de identificar a qual grupo cada um pertence. Rejeita-se H0 se a soma dos postos de alguma das amostras estiver fora dos intervalos da tabela de valores críticos de Mann-Whitney (PEREIRA, [20--]).

Onde ocorre diferença significativa, ou seja, onde o valor-p é menor que o nível de significância, o PAST apresenta os resultados em outra cor. No exemplo dos coliformes termotolerantes, observa-se que o valor-p do teste de Mann-Whitney mostrou que as amostras de coliformes são estatisticamente diferentes na entrada da elevatória e na saída das lagoas. O gráfico das médias e intervalos de confiança, gerado pelo PAST, explicita o que está acontecendo com a distribuição desse parâmetro (Figura 25).

**Figura 25** - Gráfico das médias e intervalos de confiança dos coliformes termotolerantes.



Fonte: PAST

Os dados usados para os testes são de todos os meses de 2019 e 2020, e em 2021 foram usados os dados de até o mês de junho. Não foi feita a análise mensal em abril de 2019, pois houve problema nos aeradores e em outubro de 2019, não houve a análise pelo fim do contrato com a empresa responsável. O arquivo de abril de 2020 não foi encontrado. Dessa forma, os cálculos estatísticos não foram feitos com o mesmo número de amostras por ano.

Foi feita a comparação de 11 parâmetros, utilizando-se as coletas mensais nas entradas e saída das lagoas de estabilização da ETE Industrial, no período de 2019 à 2021. Os parâmetros escolhidos para serem analisados são: DBO, DQO, temperatura, pH, sólidos suspensos totais, condutividade elétrica, turbidez, sólidos sedimentáveis e óleos e graxas, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados na tabela da ANOVA (Tabela 3), com os valores de F, valor-p e interação para cada parâmetro. A ANOVA gera três valores p, um para todos os anos, outro para todos os pontos de coleta e o da interação de todos os anos com todos os pontos de coleta. O valor de F e valor-p apresentados na tabela para “Ano”, são calculados com os dados

dos parâmetros dos três anos juntos. Do mesmo modo no “Ponto de coleta”, são considerados os dados dos três pontos de coleta.

Existe uma interação quando os dois fatores (ano e ponto de coleta) combinados influenciam na variável de resposta. Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que para os três anos e os três pontos de coleta, não houve interação em nenhum parâmetro. Nos apêndices, estão as tabelas com os valores dos parâmetros e as tabelas que expõe detalhadamente a interação dos parâmetros em cada ano e ponto, onde alguns apresentaram resultado significativo ( $p < 0,05$ ), indicando que houve interação. Foram adotadas três casas decimais para apresentação dos resultados.

**Tabela 3** – Tabela dos valores da ANOVA para cada parâmetro.

<b>Parâmetro</b>	<b>Ano</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Interação</b>
<b>Temperatura</b>	<b>F = 17,020</b>	F = 1,911	F = 0,113
	<b>p = 0,000</b>	p = 0,155	p = 0,977
<b>DBO</b>	F = 0,336	<b>F = 32,130</b>	F = 1,284
	p = 0,716	<b>p = 0,000</b>	p = 0,284
<b>DQO</b>	F = 2,215	<b>F = 27,330</b>	F = 1,771
	p = 0,117	<b>p = 0,000</b>	p = 0,144
<b>pH</b>	<b>F = 5,223</b>	F = 0,337	F = 0,987
	<b>p = 0,008</b>	p = 0,715	p = 0,420
<b>Condutividade elétrica</b>	F = 2,877	<b>F = 4,205</b>	F = 0,257
	p = 0,066	<b>p = 0,021</b>	p = 0,904
<b>Turbidez</b>	F = 0,045	<b>F = 10,600</b>	F = 1,079
	p = 0,956	<b>p = 0,000</b>	p = 0,377
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	F = 1,546	<b>F = 6,441</b>	F = 0,383
	p = 0,221	<b>p = 0,003</b>	p = 0,820
<b>Óleos e graxas</b>	F = 0,612	F = 1,103	F = 1,299
	p = 0,545	p = 0,338	p = 0,279
<b>Sólidos Suspensos totais</b>	F = 0,001	F = 2,107	F = 0,383
	p = 0,999	p = 0,131	p = 0,820

Fonte: PAST

A hipótese nula ( $H_0$ ) da variável de estudo, diz que não houve diferença significativa nos valores dos parâmetros durante os anos de 2019, 2020 e 2021. A hipótese não nula ou

hipótese alternativa (H1) diz que há diferença significativa nos valores dos parâmetros ao longo dos anos.

Foi adotado o nível de 5% de significância para os cálculos e para a elaboração dos gráficos. Quando os valores-p são menores que o nível de significância ( $p < 0,05$ ), os dados são mostrados em vermelho e indica que a hipótese nula é rejeitada.

Alguns parâmetros apresentaram diferença significativa no ponto de coleta, mas a variável de estudo é o ano. Logo, apenas o pH e a temperatura são estatisticamente diferentes ao longo dos anos. Para a variável aleatória, que são os pontos de coleta, a DBO, DQO, turbidez e sólidos sedimentáveis apresentaram ser estatisticamente diferentes na entrada da rua 4 (esgoto tratado da ETE Novo Horizonte), na entrada da elevatória (esgoto bruto do Distrito Industrial) e na saída da lagoa (esgoto tratado).

Os parâmetros que apresentaram diferença significativa ao longo dos anos de 2019, 2020 e 2021 são apresentados abaixo. O valor-p do teste de Tukey, mostra em qual ano ocorreu a diferença. E os valores de Q mostram a diferença das médias entre os anos (Tabela 4).

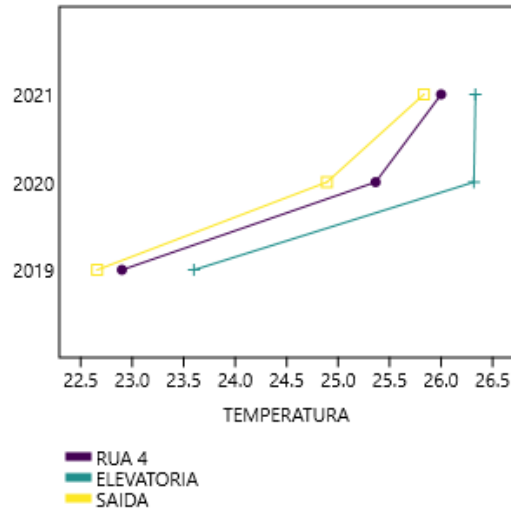
**Tabela 4** - Valores de Q e p do Teste de Tukey para a temperatura.

<b>Parâmetro</b>	<b>Comparação por Tukey</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>Temperatura</b>	<b>2019</b>		Q = 6,915 p = 0,000	Q = 7,220 p = 0,000
	<b>2020</b>			Q = 1,390 p = 0,626

Fonte: PAST

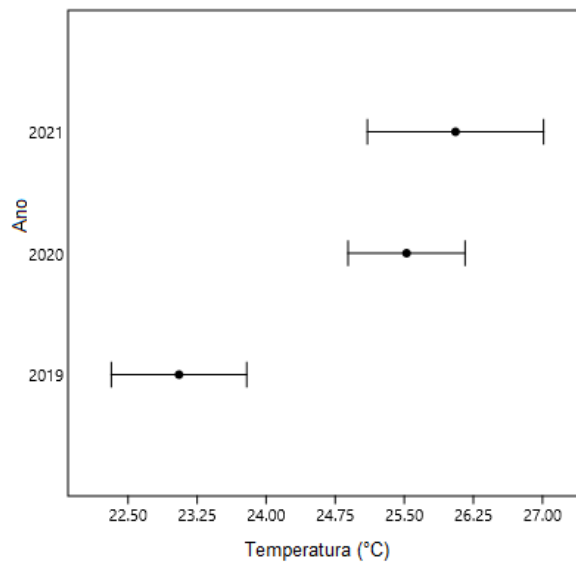
Na Tabela 4, é possível verificar pelo valor-p que a média da temperatura de 2019 se diferiu das demais. As médias foram de aproximadamente 22,5 °C à 26,5°C, com o ano de 2019 apresentando temperaturas mais amenas que nos outros anos (Gráfico 4).

A temperatura influencia na velocidade das reações químicas realizadas pelos microrganismos presentes nas lagoas, sendo relevante também para a sobrevivência dos responsáveis pelo tratamento (majoritariamente, bactérias). Temperaturas mais elevadas podem acelerar as taxas de fotossíntese das algas. Influencia também na solubilidade dos gases gerados na fase anaeróbia da lagoa facultativa aerada, e nas condições de mistura das lagoas.

**Gráfico 4** - Gráfico das médias de temperatura de 2019 à 2021.

Fonte: PAST

É nítido a diferença da média e intervalo de confiança de 2019 dos anos de 2020 e 2021 (Gráfico 5). Tanto a Resolução CONAMA 430/2011 quanto a Deliberação Normativa nº 01/2008 estabelecem que, para o lançamento de efluentes, a temperatura deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. A legislação é atendida ao longo dos anos e em todos os pontos.

**Gráfico 5** - Gráfico das médias e intervalos de confiança da temperatura de 2019 à 2021.

Fonte: PAST

Na tabela 5, o valor-p de Tukey indica que o pH se apresentou estatisticamente diferente de 2020 para 2021. Em 2020, foram descartados dados de dois meses, pois o resultado de pH foi igual a zero. O que sugere um provável defeito no pHmetro.

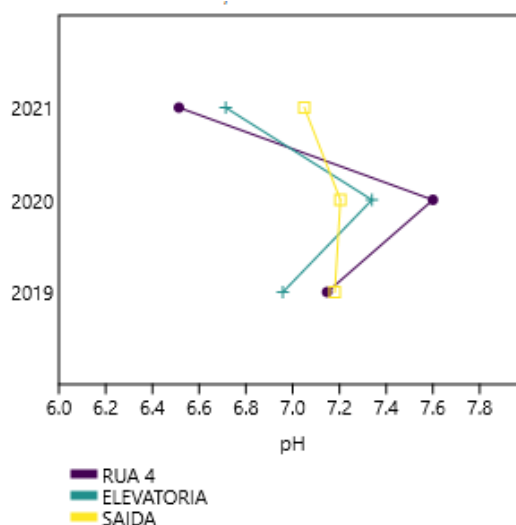
**Tabela 5** - Valores de Q e p do teste de Tukey para o pH.

Parâmetro	Comparação por Tukey	2019	2020	2021
pH	2019		Q = 2,444 p = 0,202	Q = 2,447 p = 0,201
	2020			Q = 4,618 p = 0,005

Fonte: PAST

Sabe-se também que a DN CERH-MG n° 65/2020 estabelece que para o reuso amplo da água na modalidade “urbano”, o pH deve estar entre 6 e 9 e que, o monitoramento do pH da água para reuso deve ser feito semanalmente. São os mesmos valores estabelecidos pela DN n° 01/2008 (pH entre 6 e 9). As médias atendem o que é exigido pela legislação (Gráfico 6). As análises nas ETEs são feitas mensalmente. Faixas de pH menor ou maior que essa faixa estabelecida, podem ser prejudiciais para os microrganismos responsáveis pelo tratamento do efluente nas lagoas.

**Gráfico 6** - Gráfico das médias de pH de 2019 à 2021.

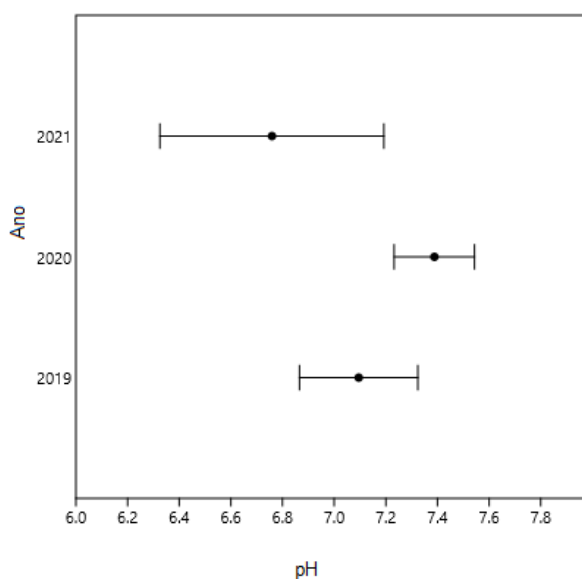


Fonte: PAST



O intervalo de confiança e média de 2021 se mostram distintos dos outros anos, e apresentam diferença significativa somente com o ano de 2020. Em 2021, a média de pH dos três pontos de coleta se encontra em torno de 6,8 e o intervalo de confiança é bem maior que os demais. As médias de pH de 2019 e 2020 se encontram em torno de 7,1 e 7,4, respectivamente. Os intervalos de confiança são menores, indicando mais proximidade da amostra estudada com a realidade (Gráfico 7).

**Gráfico 7** - Gráfico das médias e intervalos de confiança do pH.



Fonte: PAST

As tabelas a seguir mostram onde houve diferença significativa dos parâmetros na variável aleatória, ou seja, nos pontos de coleta. O primeiro a ser exibido é a DBO, que se apresenta estatisticamente diferente para cada ponto (Tabela 6).

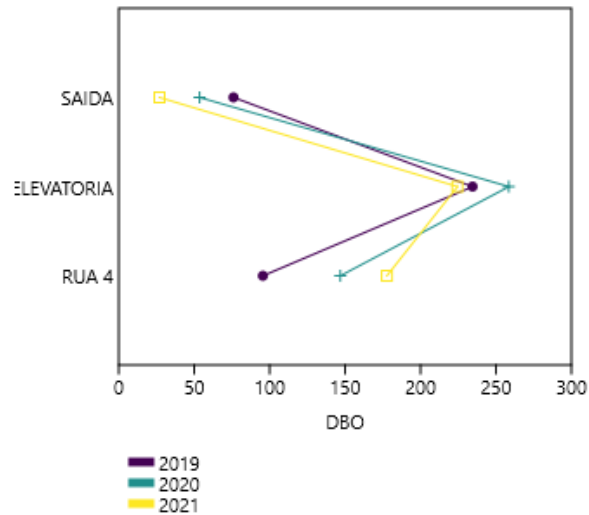
**Tabela 6** - Valores de Q e p do teste de Tukey para a DBO.

Parâmetro	Comparação por Tukey	Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)	Elevatória (efluente Distrito Industrial)	Saída
DBO	Rua 4		Q = 6,516 p = 0,000	Q = 4,775 p = 0,000
	Elevatória			Q = 11,290 p = 0,000

Fonte: PAST

Na saída, onde o efluente já está tratado e é descartado no corpo receptor, o maior valor de média dos três anos quase chegou aos 100 mg/L. No gráfico abaixo, nota-se que os valores de DBO na saída se aproximam de 100mg/L. Uma notável diferença das entradas, onde os valores se aproximam de 250 mg/L (Gráfico 8).

**Gráfico 8** - Gráfico das médias de DBO nas entradas e saída das lagoas.



Fonte: PAST

A Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008 estabelece que o valor máximo de DBO permitido para ser lançado em Minas Gerais, é de 60 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% para os demais sistemas (excluindo os sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais). Sobre o reúso, a legislação estadual não estabelece valores máximos de DBO para a modalidade “urbano”. De 2019 à 2021, os valores de DBO após o tratamento (saída) foram diminuindo, se aproximando cada vez mais do valor estabelecido pela lei, abaixo de 60 mg/L.

Usando as médias anuais de DBO, foi encontrada a eficiência de remoção de DBO para cada ano através da seguinte fórmula:

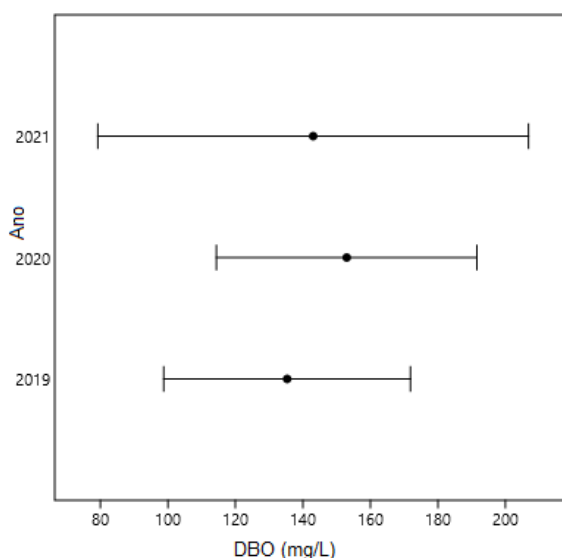
$$\frac{\text{DBO entrada} - \text{DBO saída}}{\text{DBO entrada}} \times 100 = \text{Eficiência de remoção (\%)}$$

Para o efluente bruto (entrada da elevatória), a eficiência da remoção de DBO em 2019 foi de 67,58%, em 2020 foi de 79,27%, e em 2021 foi de 89,02%. Para o efluente tratado

(entrada da rua 4), a eficiência da remoção de DBO em 2019 foi de 20,4%, em 2020 foi de 63,5% e em 2021 foi de 86,12%. De modo evidente, a remoção é maior na entrada do efluente bruto, visto que a DBO nesse ponto deve ser maior que no ponto onde o efluente já entra tratado no sistema de lagoas. Porém, observa-se que a eficiência de remoção de DBO em ambas as entradas vêm se aproximando no decorrer dos anos. A DBO do efluente tratado se mostrou aumentando ao longo do tempo estudado.

Caso o efluente tratado apresente alto valor de DBO, este vai influenciar na diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido disponível para os microrganismos responsáveis pela autodepuração do córrego Lagoa Seca e, assim ocorre a diminuição da qualidade da água do córrego. Dentro das amostras, existem valores muito díspares o que interfere na precisão dos resultados e dessa forma, os intervalos de confiança se tornam maiores (Gráfico 9).

**Gráfico 9** - Gráfico das médias e intervalos de confiança da DBO.



Fonte: PAST

Ainda pensando sobre a qualidade do efluente tratado e do corpo hídrico que o recebe, a carga orgânica na saída da ETE foi calculada através da multiplicação da concentração de DBO na saída do tratamento pela vazão nesse ponto. A vazão foi medida várias vezes no mesmo dia, e dessa forma, pelo método da velocidade (com o auxílio de um balde de 20L e um cronômetro) se encontrou uma estimativa de vazão, já que a SAE não possui esse monitoramento. A carga orgânica estimada na saída da lagoa é de 2,10 Kg/dia no ano de 2021.

Assim como a DBO, a DQO também se mostra diferente em todos os pontos de coleta (Tabela 7). A DQO é sempre maior que a DBO, visto que ela se refere a qualquer matéria que

pode ser oxidada quimicamente, ou seja, presença de compostos inertes. E a DBO se refere somente à fração biodegradável da matéria orgânica.

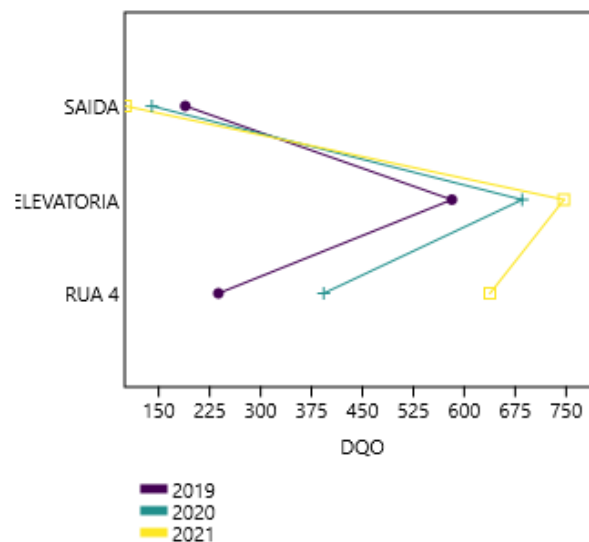
Tabela 7 - Valores de Q e p do teste de Tukey para a DQO.

Parâmetro	Comparação por Tukey	Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)	Elevatória (efluente Distrito Industrial)	Saída
DQO	Rua 4		Q = 5,534 p = 0,001	Q = 4,916 p = 0,002
	Elevatória			Q = 10,450 p = 0,000

Fonte: PAST

No final do tratamento (saída), o ano de 2021 se apresenta com valor menor que nos outros anos. Os anos de 2020 e 2021, mostraram estar dentro do que é estabelecido pela lei, a DQO está abaixo de 180 mg/L. Em 2019, esse parâmetro apresentava valores pouco acima do que é estabelecido (Gráfico 10).

Gráfico 10 - Gráfico das médias de DQO nos pontos de coleta.



Fonte: PAST

A Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008 estabelece que o valor máximo de DQO permitido para ser lançado nos corpos receptores do Estado de Minas Gerais é de 180 mg/L ou

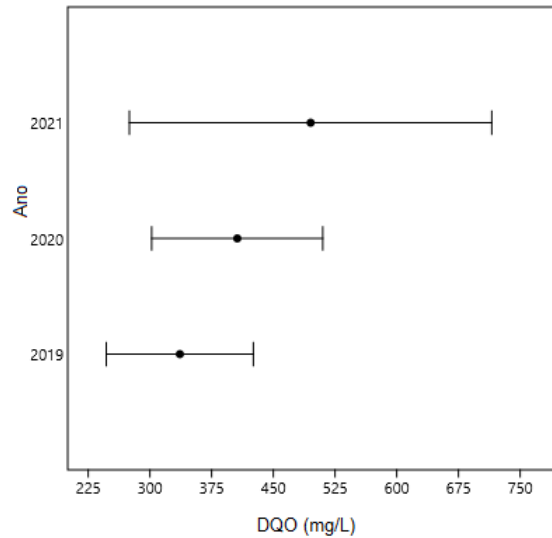
tratamento com eficiência de redução de DQO é no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75% para os demais sistemas (excluindo os sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais). Se tratar de efluentes de indústria têxtil o padrão será de 250 mg/L. Porém, a única indústria têxtil presente no Distrito Industrial não descarta o efluente da indústria na rede pública, somente o efluente doméstico. A legislação estadual que estabelece os padrões para águas de reuso, não estabelece valores máximos de lançamento de DQO.

Usando as médias anuais de DQO, foi encontrada a eficiência de remoção de DQO para cada ano através da seguinte fórmula:

$$\frac{\text{DQO entrada} - \text{DQO saída}}{\text{DQO entrada}} \times 100 = \text{Eficiência de remoção (\%)}$$

Os resultados se assemelham bastante aos resultados da remoção de DBO. Para o efluente bruto (entrada da elevatória), a eficiência da remoção de DQO em 2019 foi de 67,51%, em 2020 foi de 78,89%, e em 2021 foi de 86,77%. Para o efluente tratado (entrada da rua 4), a eficiência da remoção de DQO em 2019 foi de 20,56%, em 2020 foi de 66,46% e em 2021 foi de 73,42%. Alguns meses apresentam valores muito díspares, o que aumenta o valor do intervalo de confiança e a imprecisão do resultado (Gráfico 11).

Por exemplo, o maior valor de DQO medido foi de 1.873,25 mg/L e o menor foi de 85,32 mg/L (ambos valores encontrado na rua 4, que recebe o efluente tratado da ETE Novo Horizonte). No Distrito Industrial, não foram encontradas informações de lançamento de efluente industrial na rede pública sem um pré-tratamento por parte das indústrias. Contudo, não é realizada fiscalização constante sobre isso. A fiscalização é somente quando está na época de apresentar condicionantes para conseguir licenças do órgão ambiental.

**Gráfico 11** - Gráfico das médias e intervalos de confiança de DQO.

Fonte: PAST

Oliveira e Von Sperling (2005), analisando o desempenho de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias, relataram as seguintes eficiências médias de remoção de DBO e DQO observadas nas lagoas facultativas (sendo 3 lagoas em Minas Gerais), 75% para DBO e 55% para DQO. Gonçalves (2003) apresenta as seguintes faixas de eficiências de remoção de DBO e DQO em sistemas de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação, entre 80% e 85% e entre 70% e 83%, respectivamente. Nos resultados apresentados, foram encontrados valores crescentes de eficiência de remoção e que se encontram dentro das faixas citadas, mas a ETE Industrial conta com o tratamento da wetland construída, além do tratamento das lagoas de estabilização.

Para a turbidez, a entrada da elevatória apresenta diferença dos outros dois pontos de coleta. (Tabela 8). A turbidez nesse ponto é bem maior que nos demais. A turbidez pode atrapalhar a fotossíntese, reduzindo a penetração de luz nas lagoas e reduzir a desinfecção pelo abrigo que os patógenos possuem nos sólidos em suspensão. Por isso, é importante que haja o monitoramento deste parâmetro.

**Tabela 8** - Valores de Q e p do teste de Tukey para a turbidez.

Parâmetro	Comparação por Tukey	Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)	Elevatória (efluente Distrito Industrial)	Saída
Turbidez	Rua 4		Q = 4,849	Q = 1,340

---

**Elevatória**
 $p = 0,003$  $p = 0,613$  $Q = 6,189$  $p = 0,000$ 

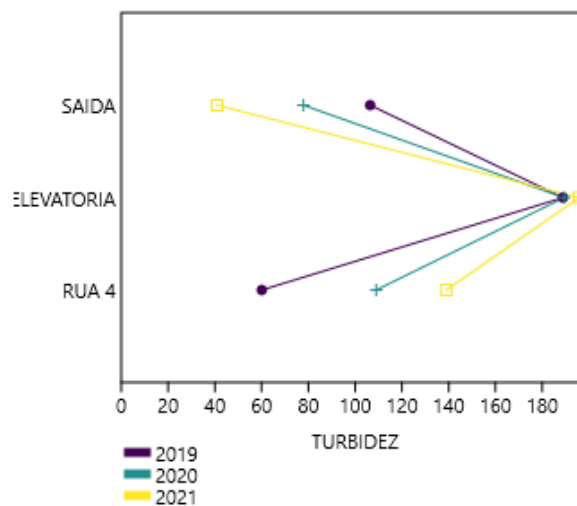

---

 Fonte: PAST
 

---

Os valores médios de turbidez na saída da lagoa se encontram na faixa de 40 a 110 UNT, onde UNT expressa as unidades nefelométricas de turbidez. Ao final do tratamento os valores são e, de fato, devem ser menores. Na entrada da elevatória, a média da turbidez ficou em torno de 180 UNT em todos os anos (Gráfico 12).

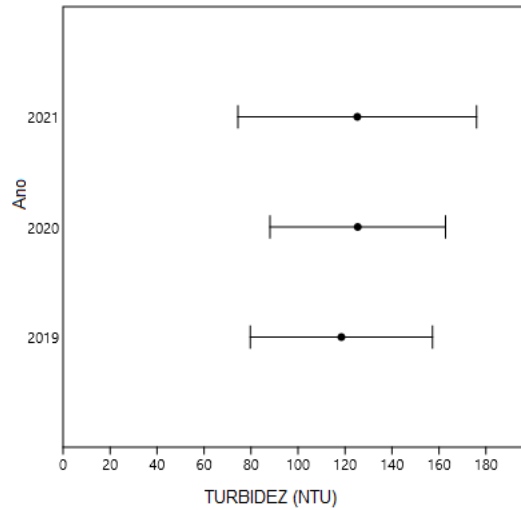
**Gráfico 12** - Gráfico das médias de turbidez nos pontos de coleta.



Fonte: PAST

A Deliberação Normativa COPAM n° 01/2008 não estabelece valores máximos de turbidez para o lançamento de efluentes, mas estabelece que a turbidez deve apresentar até 100 UNT em águas doces de Classe 2, como é o caso do Córrego Lagoa Seca. A DN CERH-MG n° 65/2020 não estabelece padrões de lançamento que envolvam turbidez, na verdade só estabelece os valores de pH, coliformes termotolerantes ou *E.coli* e número de ovos de helmintos para a modalidade de uso urbano.

Analisando as médias dos três pontos ao longo dos anos, os valores são quase os mesmos, estando em torno de 120 UNT (Gráfico 13). Pouco mais do que é determinado pela DN COPAM n° 01/2008, para os padrões de qualidade das águas de Classe 2 .

**Gráfico 13** - Gráfico das médias ao longo dos anos e intervalos de confiança da turbidez.

Fonte: PAST

O teste de Tukey revela que a média dos sólidos sedimentáveis se difere na entrada da elevatória e na saída (Tabela 9). Os sólidos sedimentáveis são aqueles que ficam suspensos na massa líquida e posteriormente se sedimentam no fundo das lagoas, sendo assim decompostos pelos microrganismos anaeróbios. Essa matéria orgânica em suspensão, que após um tempo se sedimenta, é decomposta e convertida basicamente em metano (CH<sub>4</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Forma o lodo no fundo das lagoas facultativas e anaeróbias.

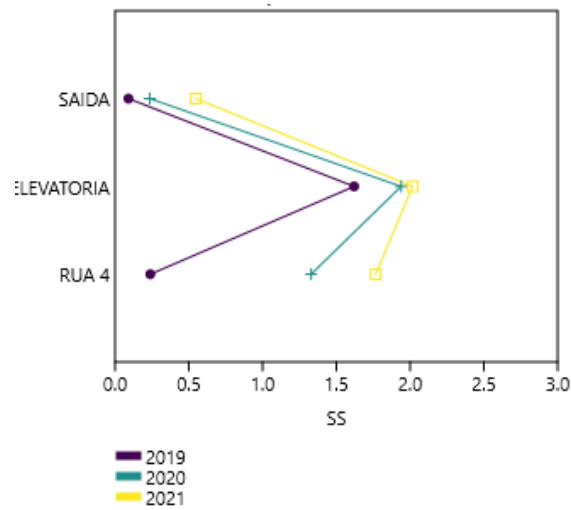
**Tabela 9** - Valores de Q e p do teste de Tukey para os sólidos sedimentáveis.

Parâmetro	Comparação por Tukey	Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)	Elevatória (efluente Distrito Industrial)	Saída
Sólidos sedimentáveis	Rua 4		Q = 2,567 p = 0,1725	Q = 2,508 p = 0,1864
	Elevatória			Q = 5,076 p = 0,002

Fonte: PAST.

A entrada da elevatória, assim como em outros parâmetros, se mostrou com os maiores valores de média em todos os anos. Nesse ponto, a média de sólidos sedimentáveis se situa de 1,5 ml/L a 2,0 ml/L (Gráfico 14).

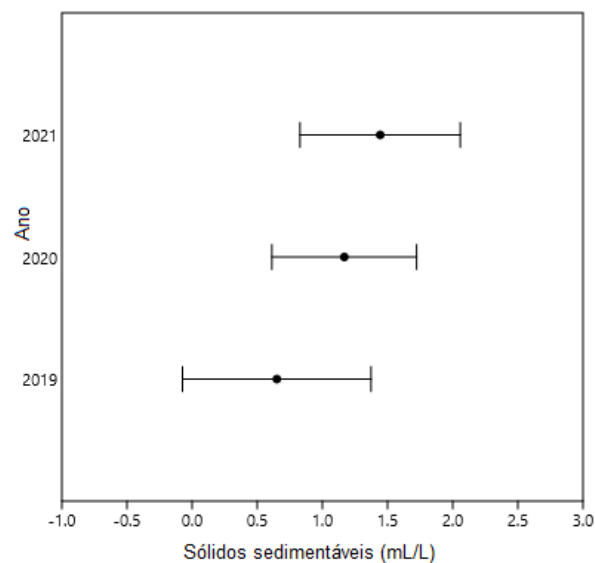


**Gráfico 14** - Gráfico das médias dos sólidos sedimentáveis nos pontos de coleta.

Fonte: PAST

Tanto a Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008, quanto a Resolução CONAMA 430/2011 estabelecem no padrão de lançamento de efluentes, que o valor para materiais sedimentáveis deve ser de até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes. Na saída do tratamento, os valores médios de sólidos sedimentáveis ao longo dos anos se encontram dentro do que é exigido.

Diferente do comportamento de outros parâmetros, a média dos sólidos sedimentáveis em 2021 foi maior que as médias de 2019 e 2020 (Gráfico 15).

**Gráfico 15** - Gráfico das médias ao longo dos anos e intervalos de confiança dos sólidos sedimentáveis.

Fonte: PAST

A condutividade elétrica se apresentou diferente pelo teste de Tukey na entrada da rua 4 e na saída (Tabela 10). A condutividade elétrica da água se refere à capacidade de condução de corrente elétrica, e resulta da concentração de íons na solução. Foi descartado um dado da amostra de 2019, que se mostrava muito discrepante dos demais (8360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A unidade de medida utilizada é um milionésimo de um Siemens por centímetro (micro-Siemens por centímetro ou  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Isso traz à discussão que a forma de coleta também pode conter um erro embutido e induzir à imprecisão dos resultados nos testes estatísticos. Além disso, podem existir dados anormais no meio das amostras, e que influenciam um resultado com erro, caso sejam considerados.

**Tabela 10** - Valores de Q e p do teste de Tukey para a condutividade elétrica.

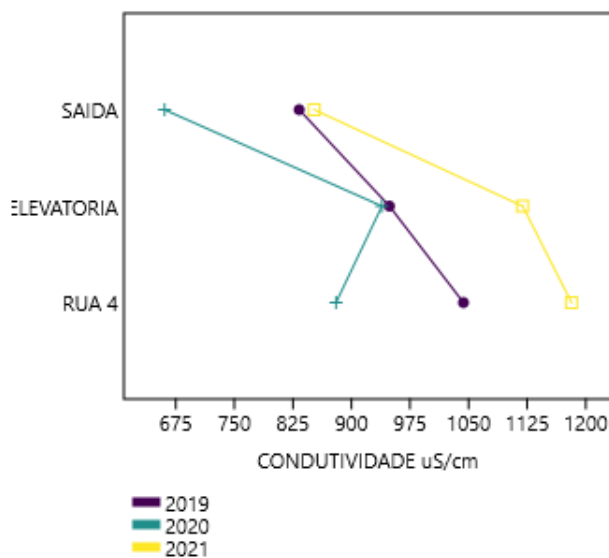
<b>Parâmetro</b>	<b>Comparação por Tukey</b>	<b>Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)</b>	<b>Elevatória (efluente Distrito Industrial)</b>	<b>Saída</b>
<b>Condutividade elétrica</b>	<b>Rua 4</b>		Q = 0,299 p = 0,976	Q = 3,664 p = 0,033
	<b>Elevatória</b>			Q = 3,411 p = 0,051

Fonte: PAST.

Contrariando outros parâmetros já discutidos, em 2021, a média de condutividade elétrica é maior que nos anos anteriores. As médias na saída do tratamento variam acerca de 675  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Na legislação não existem valores máximos estabelecidos para condutividade elétrica no padrão de lançamento de efluentes (Gráfico 16).

Na DN CERH n° 65/2020, encontra-se apenas que para reuso na modalidade “agrossilvipastoril”, a frequência de monitoramento da condutividade elétrica na água para reuso deve ser semanal e o valor mínimo é de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (valor mínimo necessário para que não haja risco de dispersão da argila do solo, considerando os valores de razão de adsorção de sódio que o esgoto sanitário pode apresentar). A razão de adsorção de sódio máxima permitida é menor ou igual a três.

**Gráfico 16** - Gráfico das médias de condutividade elétrica nos pontos de coleta.

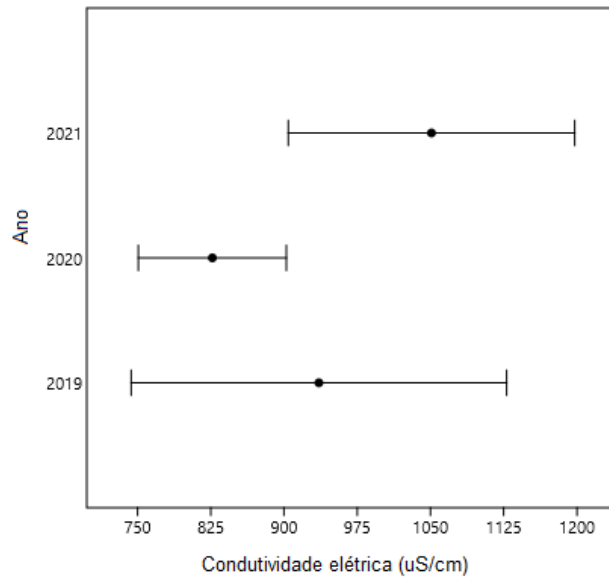


Fonte: PAST

A condutividade é medida para inferir a quantidade de sólidos dissolvidos, nutrientes e salinidade do solo. Cada tipo de solo possui propriedades únicas de condutividade elétrica, mudanças significativas podem ser um indicador de que processos poluidores estão ocorrendo com a descarga de material na água. Se a condutividade for muito baixa, é provável que as plantas precisem de mais fertilizantes ou que elas tenham sido regadas em excesso. Se a condutividade for muito alta, poderá ser um sinal de que há muitos nutrientes disponíveis, de que há sais acumulados no solo devido à água de irrigação. A temperatura influencia na condutividade, visto que com maior temperatura, os íons se excitam e a condutividade aumenta. Caso a temperatura seja menor, os íons possuem menos energia e a condutividade diminui (DIGITALWATER, [20--]).

Nota-se que a entrada da elevatória apresentou um resultado bem próximo ao de se aceitar que há a diferença estatística ( $p = 0,051$ ). O valor-p do teste de Tukey do ano de 2020 para 2021 se comportou da mesma forma ( $p = 0,051$ ). Juntamente com esta observação, os intervalos de confiança para este caso são bastante amplos. O que induz à conclusão da imprecisão dos resultados (Gráfico 17).

**Gráfico 17** - Gráfico das médias e intervalos de confiança ao longo dos anos da condutividade elétrica.

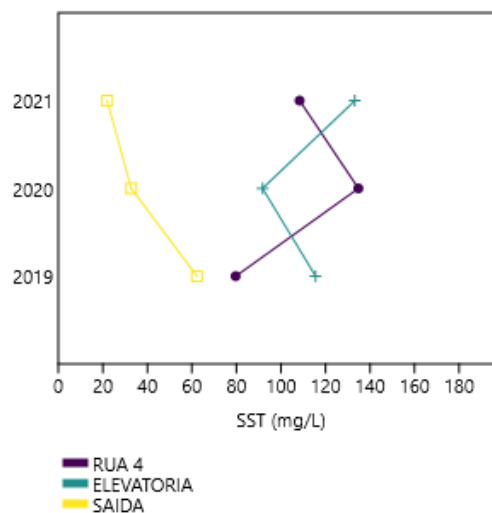


Fonte: PAST

Para os sólidos suspensos totais e óleos e graxas, aceita-se a hipótese nula ( $p > 0,05$ ). Não há diferença significativa nesses parâmetros nas variáveis de estudo e aleatória.

Os sólidos suspensos totais podem servir de abrigo para organismos patogênicos e para a adsorção de poluentes. Estão diretamente relacionados com a turbidez, uma maior quantidade de sólidos suspensos na água contribui com o aumento da interferência na passagem de luz. Na Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008, o valor máximo da condição de lançamento de efluentes para sólidos em suspensão totais é de 100 mg/L, sendo 150 mg/L para lagoas de estabilização. Em todos os anos, os valores médios estão abaixo do limite estabelecido pela lei (Gráfico 18).

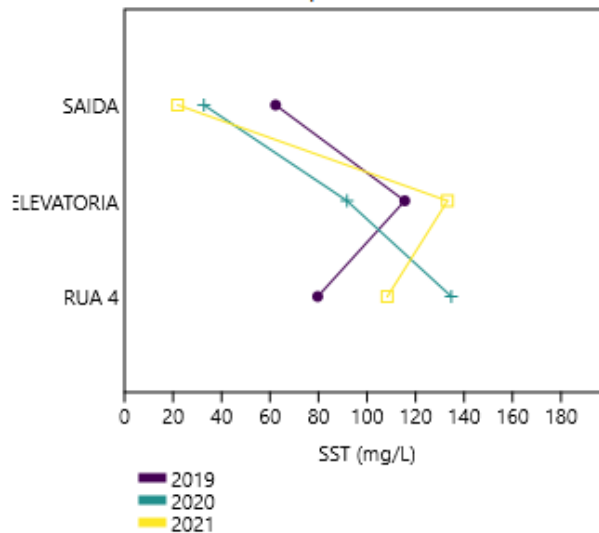
**Gráfico 18** - Gráfico das médias dos sólidos suspensos totais de 2019 à 2021.



Fonte: PAST

Na saída do tratamento, as médias de sólidos suspensos totais vêm diminuindo com o passar dos anos, estando abaixo dos 150 mg/L. Até mesmo nas entradas, os valores médios não se apresentaram muito altos e não ultrapassam o valor limite estabelecido pela lei (Gráfico 19).

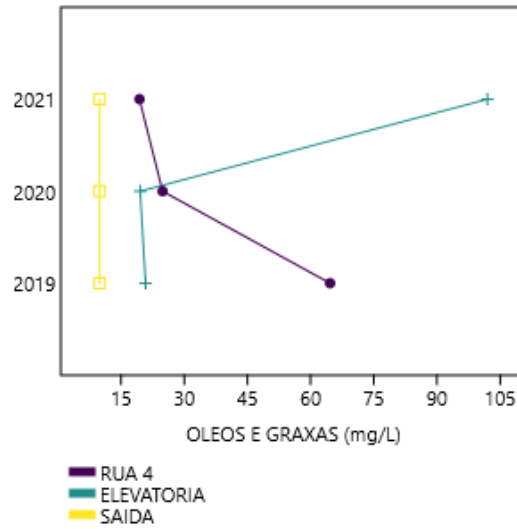
**Gráfico 19** - Gráfico das médias dos sólidos suspensos totais nos pontos de coleta.



Fonte: PAST

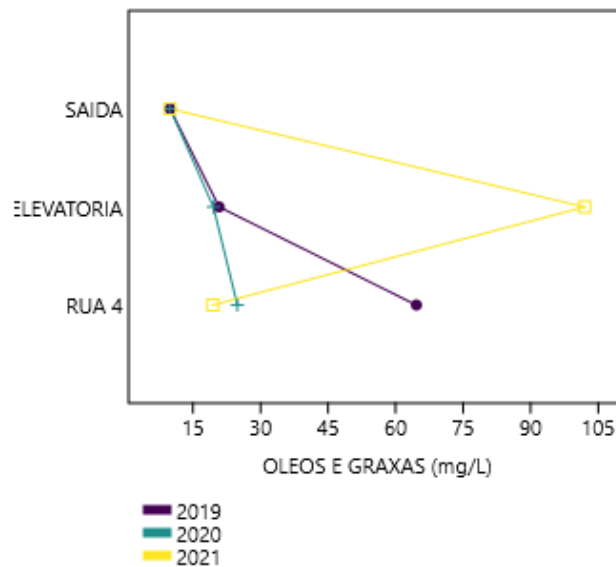
Os óleos e graxas presentes em grande quantidade no efluente podem formar uma camada que impede a transferência de oxigênio do ar para a água, dificultando a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, visto que ocorre a diminuição de oxigênio dissolvido, necessário para a respiração dos microrganismos aeróbios. Assim, há o aumento da carga orgânica do corpo hídrico e poluição do mesmo (RODRIGUES, 2007).

Na Resolução CONAMA 430/2011, é estabelecido nas condições de lançamento de efluentes que substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) devem apresentar até 100 mg/L. Nos relatórios de monitoramento, quando os valores medidos são menores que 10 mg/L, estes são apresentados como “< 10 mg/L”. Foi adotado 9,9 mg/L para quando os resultados dos relatórios foram inferiores a 10 mg/L. Esse valor compôs a maioria dos resultados encontrados nas entradas e saída. Na saída, em todos os anos os valores estavam abaixo de 10 mg/L (Gráfico 20).

**Gráfico 20** - Gráfico das médias de óleos e graxas ao longo dos anos.

Fonte: PAST

Nas entradas das lagoas, alguns meses apresentaram dados muito acima do que normalmente é medido. Dessa forma, nesses pontos as médias aumentaram, influenciando um resultado final superestimado e se distanciando do que é apresentado na maioria dos dados, que estão abaixo de 10 mg/L (Gráfico 21). Isso pode ter ocorrido por conta de lançamento pontual de um efluente rico em óleos e graxas em determinado mês, ou erro na coleta e análise.

**Gráfico 21** - Gráfico das médias de óleos e graxas nos pontos de coleta.

Fonte: PAST

Para os dados não paramétricos, estão apresentados abaixo o valor-p e valor da estatística H do Teste de Kruskal-Wallis, onde os coliformes termotolerantes se apresentaram estatisticamente diferentes nos pontos de coleta em 2019 e o grupo de bactérias *Escherichia coli* se apresenta estatisticamente igual de 2020 para 2021 (Tabela 11). A interação é gerada somente para a ANOVA.

**Tabela 11** - Valor-p do teste de Kruskal-Wallis.

<b>Parâmetro</b>	<b>Kruskal – Wallis</b>
<b>Coliformes termotolerantes</b>	H = 12,5 p = 0,002
<b>Escherichia coli</b>	H = 2,07 p = 0,150

Fonte: PAST

A tabela 12 apresenta os resultados do valor-p do Teste de Mann-Whitney para os coliformes termotolerantes. Os coliformes termotolerantes (também conhecidos como coliformes fecais) são um indicador de contaminação fecal na água e incluem o grupo de bactérias *Escherichia coli*, mas não se limita somente a ele.

**Tabela 12** - Valores p do teste de Mann-Whitney para os coliformes termotolerantes.

<b>Parâmetro</b>	<b>Comparação por Mann-Whitney</b>	<b>Rua 4 (efluente ETE Novo Horizonte)</b>	<b>Elevatória (efluente Distrito Industrial)</b>	<b>Saída</b>
<b>Coliformes termotolerantes</b>	<b>Rua 4</b>		p = 0,066	p = 0,066
	<b>Elevatória</b>			p = 0,001

Fonte: PAST.

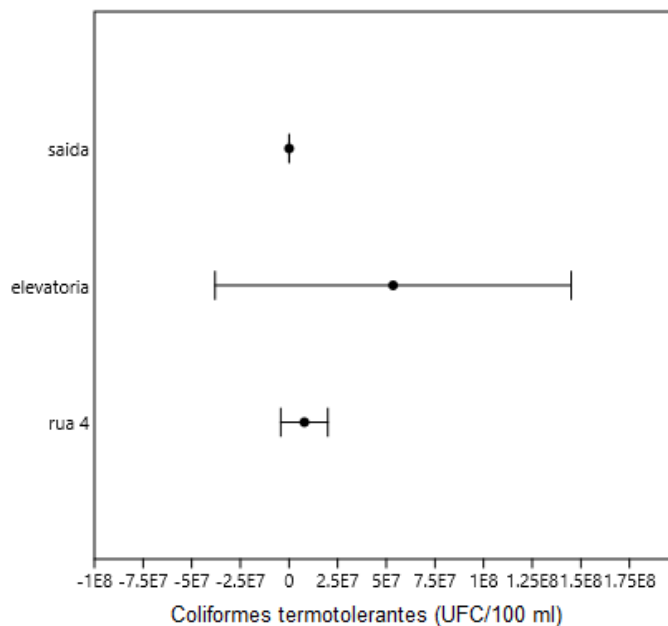
A Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008 determina que nas águas doces de Classe 2 que servem para uso de recreação de contato primário, deverão ser observados os valores estabelecidos na Resolução CONAMA nº 274/2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 ml em 80% ou pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá

ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com os mesmos limites. No decorrer de 2019, em todas as análises mensais estudadas, apenas em um mês (na saída do tratamento) o resultado esteve abaixo de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 ml.

A Deliberação Normativa CERH n° 65/2020 estabelece que para coliformes termotolerantes ou *E.coli* no reuso amplo da modalidade urbano, o valor máximo permitido é de 1.000 NMP/100 ml. O reuso amplo inclui lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias).

A média de coliformes termotolerantes na saída do tratamento foi de  $6,2 \times 10^4$  UFC/100 ml, um valor maior do que é exigido na legislação. A entrada da elevatória apresenta o maior resultado dos pontos de coleta, a média foi de  $5,35 \times 10^7$  UFC/ 100 ml (Gráfico 22). Observa-se que em praticamente todos os parâmetros, a entrada da elevatória foi o local com valores maiores. Nas unidades de medida, UFC significa Unidades Formadoras de Colônias e NMP significa Número Mais Provável.

**Gráfico 22** - Gráfico das médias e intervalos de confiança dos coliformes termotolerantes nos pontos de coleta.



Fonte: PAST



O grupo de bactérias *Escherichia coli* não se apresentou estatisticamente diferente de 2020 para 2021, segundo o teste de Mann-Whitney (Tabela 13).

**Tabela 13** - Valores de p do teste de Mann-Whitney para *Escherichia coli*.

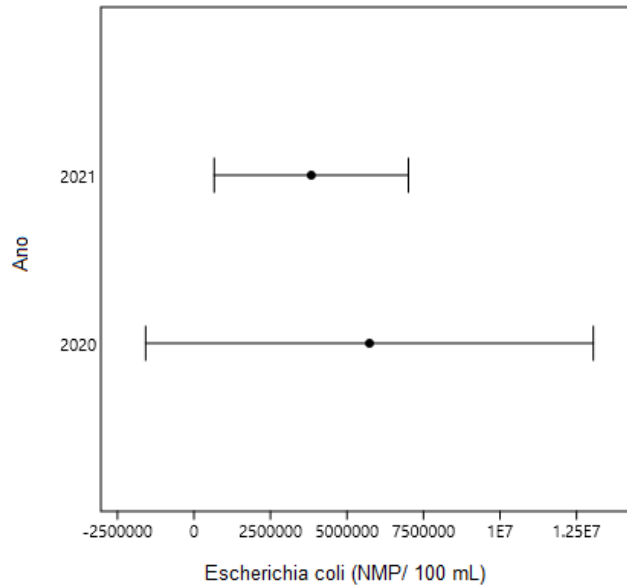
<b>Parâmetro</b>	<b>Comparação por</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
	<b>Mann-Whitney</b>		
<b><i>Escherichia coli</i></b>	<b>2020</b>		p = 0,153
	<b>2021</b>	p = 0,153	

Fonte: PAST

O grupo de bactérias *Escherichia coli* é um indicador microbiológico muito importante, indica a contaminação fecal na água. São naturalmente encontrados no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente. Estão presentes nas fezes humanas e de outros animais, são de fácil detecção e quantificação por técnicas simples e economicamente viáveis. Sua concentração na água contaminada possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal desta. Têm maior tempo de sobrevivência na água que as bactérias patogênicas intestinais, por serem menos exigentes em termos nutricionais (FUNASA, 2013).

A Deliberação Normativa CERH n° 65/2020 estabelece que para coliformes termotolerantes ou *E.coli* no reuso amplo da modalidade urbano, o valor máximo permitido é de 1.000 NMP/100 ml.

A média desse parâmetro em 2020, foi de  $5,74 \times 10^6$  NMP/100 ml. Em 2021, esse número diminuiu para  $3,83 \times 10^6$  NMP/100 ml. Um valor acima do exigido nos padrões de lançamento de efluentes. Especificamente na saída do tratamento, a média de *E. coli* em 2020 foi de  $8,74 \times 10^3$  NMP/100ml. Em 2021, foi de  $2,24 \times 10^4$  NMP/100 ml. Em ambos os anos, o valor se encontra além do que é permitido na legislação.

**Gráfico 23** - Gráfico das médias e intervalos de confiança de *E. coli* entre 2020 e 2021.

Fonte: PAST

## 7. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto Industrial em Araguari – MG, utilizando testes estatísticos como meio de comparar os valores médios de 11 parâmetros indispensáveis para a boa qualidade da água do córrego Lagoa Seca e da água para reuso, com os valores limites estabelecidos pela legislação estadual e federal. Foi utilizado o teste de hipótese Análise de Variância (ANOVA) seguido do Teste de Tukey, e o Teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Mann-Whitney para comparar se cada parâmetro diferiu entre si ao longo dos anos ou nos pontos de coleta das amostras.

Os resultados dos testes e gráficos utilizados foram feitos em ferramentas do software PAST. Notou-se que os valores médios da temperatura, pH, condutividade elétrica, óleos e graxas e sólidos suspensos totais estão dentro do que é exigido pela legislação. Os valores médios de DBO, DQO, turbidez, sólidos sedimentáveis, *E. coli* e coliformes termotolerantes se apresentaram acima do que é permitido em pelo menos um dos anos estudados.

Além disso, verificou-se pelos testes estatísticos que apenas os sólidos suspensos totais e óleos e graxas não se diferem ao decorrer dos anos ou nos pontos de coleta. Um dos objetivos do tratamento da ETE Industrial é o reuso da água pelos araguarinos, visando somente usos urbanos.

A legislação estadual estabelece padrões de qualidade para a água de reuso, onde limita os valores de pH, *E. coli* ou coliformes termotolerantes e número de ovos de helmintos na

modalidade de reuso “urbano”. O pH está dentro dos limites da lei, mas o número de *E. coli* está acima do estabelecido. Espera-se que em breve a DN nº 65/2020 seja atualizada, para que mais parâmetros de qualidade da água tenham seus limites estabelecidos e a água de reuso proveniente das ETEs possuam mais finalidades.

Aconselha-se que haja medição da vazão que chega e sai da ETE Novo Horizonte e também da vazão da ETE Industrial, e mais exatidão nos relatórios de análises mensais das ETEs, para que possa ser acompanhada a eficiência do tratamento.

Há necessidade de estudos que caracterizem detalhadamente o Distrito Industrial e seu efluente gerado, além de fiscalização e monitoramento do mesmo. Sugere-se o acréscimo de um tratamento químico (ozonização ou radiação UV) para desinfecção do efluente e a desnitrificação antes da lagoa de reuso. Dessa forma, o efluente obtém mais qualidade para o reuso pelo homem.

No geral, a ETE Industrial tem mostrado melhoria gradativa na eficiência do tratamento. Sendo assim, o bom desempenho da ETE pode se tornar um ótimo desempenho. Assim como em grande parte do país, em Araguari, o tratamento de esgoto é algo relativamente novo e tem muito a ser desenvolvido. Para isto, é importante que haja pesquisas, monitoramento e investimento nessa área.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, Iria Sartor. **Avaliação de lagoa facultativa aerada e de maturação, em escala real, como etapas secundária e terciária de sistema de tratamento de dejetos suínos.** 2007. 237 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2007. [Orientadora: Prof. Dra. Rejane Helena Ribeiro da Costa]. Disponível em: <  
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103192/241415.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 jun. 2021.
- AUERSWALD, Wilson Antonio. **Estudo de lagoas facultativas na região Nordeste do Brasil.** 1979. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 1979. [Orientador: Prof. Salomão Anselmo Silva]. Disponível em: <  
<file:///C:/Users/Positivo/Downloads/WILSON%20ANTONIO%20AUERSWALD%20-%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20PPGECA%201979.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, p. 152-169, jun. 2008. Disponível em: <  
<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Tratamento-de-efluentes-e-re%C3%BAso-da-%C3%A1gua-no-meio-agr%C3%ADcola.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2021.
- BORGES, Nayara Batista. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto.** 2014. 238 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, São Carlos, 2014. [Orientador: Prof. Tit. José Roberto Campos]. Disponível em: <  
[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16012015-153958/publico/Tese\\_Borges\\_2014.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16012015-153958/publico/Tese_Borges_2014.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF, 2007.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério Das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília, DF, 173 p., dez. 2013. Disponível em: < [http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969\\_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf](http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf) >. Acesso em: 07 maio 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019.** Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il. Disponível em: < [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Publicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Publicacao_31032021.pdf) >. Acesso em: 02 nov. 2021.

BRASIL, Instituto Trata. Os desafios do saneamento básico em Minas Gerais. **Trata Brasil**, 2 dez. 2020. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/12/02/os-desafios-do-saneamento-basico-em-minas-gerais/> >. Acesso em: 17 maio 2021.

BRASIL, Instituto Trata. **Painel Saneamento Brasil**, 2019. Explore os indicadores por ano. Disponível em: < <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2019&SE%5Bi%5D%5BP> >

OP\_SEM\_AG%25%5D=POP\_SEM\_AG%25&SE%5Bi%5D%5BPOP\_SEM\_ES%25%5D=P  
OP\_SEM\_ES%25&SE%5Bi%5D%5BVOL\_ES\_AG%5D=VOL\_ES\_AG&SE%5Bi%5D%5  
BVOL\_ES\_NTRATA%5D=VOL\_ES\_NTRATA&SE%5Bi%5D%5BINCIDE\_VH%5D=INC  
IDE\_VH&SE%5Bi%5D%5BOBITO\_VH%5D=OBITO\_VH&SE%5Bi%5D%5BRENDA\_G  
1%5D=RENDA\_G1&SE%5Bi%5D%5BRENDA\_G2%5D=RENDA\_G2&SE%5Bo%5D=c  
>. Acesso em: 17 maio 2021.

COMO compreender os testes de hipótese: níveis de significância (alfa) e valores-p na estatística. **Blog da Minitab**, 2019b. Disponível em: < <https://blog.minitab.com/pt/como-compreender-os-testes-de-hipoteses-niveis-de-significancia-alfa-e-valores-p-na-estatistica> >. Acesso em: 11 set. 2021.

CONDUTIVIDADE elétrica: Guia definitivo. **Digitalwater**, [20--]. Disponível em: < <https://www.digitalwater.com.br/condutividade-eletrica-guia-definitivo/> >. Acesso em: 12 set. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 2005. **Resolução CNRH nº 54/2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2005. **Resolução CONAMA nº 357/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2011. **Resolução CONAMA nº 430/2011**. 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. Brasília, DF, 2011.

COSTA, Luciana de Luna *et al.* Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colígafos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v. 3, n. 1, primeiro semestre 2003. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/pdf/500/50000302.pdf> >. Acesso em: 10 jul. 2021.

D'ALESSANDRO, Emmanuel Bezerra; SAAVEDRA, Nora Katia. **Desempenho de uma lagoa de maturação na ETE de Trindade (GO): Estudo de caso**. Geoambiente on-line, Jataí - GO, ano 2018, n. 32, Set-Dez/2018, p. 15-37. Disponível em: < <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/49535/26945> >. Acesso em: 21 jun. 2021.

EMBRAPA. **Clima**, [199-?]. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm#:~:text=Aw%20%2D%20Clima%20tr opical%2C%20com%20inverno,mm%20anuais%2C%20atingindo%201800%20mm>>.

>. Acesso em: 27 abr. 2021.

FARIA, B.; OLIVEIRA, B. Como interpretar uma análise de variância (ANOVA). **Operdata**, 2019a. Disponível em: < <https://operdata.com.br/blog/como-interpretar-analise-de-variancia-anova/> >. Acesso em: 10 set. 2021.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Minas trata esgoto: plano de ações estratégicas para redução do lançamento de carga poluidora nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais**. 245 p. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: < [http://www.feam.br/images/stories/2017/Minas\\_trata\\_esgoto/Minas\\_trata\\_Esgoto\\_rel%C3%B3rio\\_2016\\_-\\_link.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2017/Minas_trata_esgoto/Minas_trata_Esgoto_rel%C3%B3rio_2016_-_link.pdf) >. Acesso em: 16 maio 2021.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Portal MeioAmbiente.MG**, s.d. Biblioteca FEAM – Programa Minas Trata Esgoto. Disponível em:< <http://www.feam.br/biblioteca/-programa-minas-trata-esgoto>>. Acesso em: 16 maio 2021.

FILHO, Pedro Alves da Silva. **Diagnóstico Operacional de Lagoas de Estabilização**. 2007. 169 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. [Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo]. Disponível em: < <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/16020/1/PedroASF.pdf> >. Acesso em: 04 maio 2021.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília, 2013. Disponível em: < [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf) >. Acesso em: 14 set. 2021.

GEHLING, Gino Roberto. **Lagoas de estabilização**. In: IPH02058 – Tratamento de água e esgoto. Engenharia Hídrica. UFRGS, Porto Alegre, 2017. Disponível em: < [http://avasan.com.br/pdf/cap9\\_lagoas\\_estabiliz.pdf](http://avasan.com.br/pdf/cap9_lagoas_estabiliz.pdf) >. Acesso em: 23 jun. 2021.

GONÇALVES, Ricardo Franci (coordenador). **Desinfecção de Efluentes Sanitários – PROSAB/FINEP**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 422p. Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabRicardo.pdf> >. Acesso em: 04 nov. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/araguari> >. Acesso em: 26 abr. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Coordenação de População e Indicadores Sociais – Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf> >. Acesso em: 19 maio 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. IBGE Cidades - Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/araguari/pesquisa/30/84366?ano=2017> >. Acesso em: 26 abr. 2021.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais 2020**. 230 p. Coordenação: Marcelo da Fonseca, Organização: Caroline Matos da Cruz Correia et. al. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: < [http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Gest%C3%A3o\\_e\\_Situa%C3%A7%C3%A3o\\_das\\_%C3%81guas\\_de\\_Minas\\_Gerais\\_2020.pdf](http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Gest%C3%A3o_e_Situa%C3%A7%C3%A3o_das_%C3%81guas_de_Minas_Gerais_2020.pdf) >. Acesso em: 16 maio 2021.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: **Walter de Gruyter**, P.388. 1931.

JUNIOR, Guanís de Barros Vilela. **Conteúdos ministrados na disciplina Estatística em cursos de graduação e pós graduação**. Campinas: UNIMEP, Metrocamp, 2003 – 2014. Disponível em: < <http://www.cpaqv.org/estatistica/kruskalwallis.pdf> >. Acesso em: 10 set. 2021.

LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2001. [Orientador: Prof. Dr. Sérgio Eiger]. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002-091741/publico/dissertacaosrl.pdf> >. Acesso em: 10 jul. 2021.

LOBATO, Livia Cristina da Silva. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 184 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2011. [Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo]. Disponível em: < [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-8KYNF3/1/tese\\_n\\_57\\_\\_1\\_via\\_lobato.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-8KYNF3/1/tese_n_57__1_via_lobato.pdf) >. Acesso em: 27 jul. 2021.

MACHADO, Bianca Coelho. **Avaliação da qualidade dos efluentes das lagoas de estabilização em série da estação de tratamento de esgoto de Samambaia – DF para o cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.



[Orientador: Marco Antonio Almeida de Souza]. Disponível em: < <https://repositorio.unb.br/handle/10482/2103> >. Acesso em: 04 maio 2021.

MELLO, Edson José Rezende de. **Tratamento de esgoto sanitário – Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG.** 2007. 99 f. Monografia (Pós-graduação em lato sensu em Engenharia Sanitária) – UNIMINAS, Uberlândia, 2007. [Orientador: Prof. Kleber Lúcio Borges]. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/1071642-Tratamento-de-esgoto-sanitario.html> >. Acesso em 28 set. 2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa CERH – MG nº 65, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 23 jun. 2020. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040> >. Acesso em: 13 maio 2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 maio 2008. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151> >. Acesso em: 12 maio 2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 96, de 12 de abril de 2006. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 12 abr. 2006. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7204#:~:text=desta%20Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa.-,Art.,m%C3%ADnimo%2080%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20urbana.> >. Acesso em: 16 maio 2021.

NASCIMENTO, Thiago Emanuel Possmoser Figueiredo. **Lodo em lagoas de polimento: acúmulo e implicações no comportamento hidrodinâmico e no desempenho do sistema.** 2014. 116 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2014. [Orientador: Marcos Von Sperling]. Disponível em: < [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9HLGTB/1/disserta\\_\\_o\\_thiago\\_final.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9HLGTB/1/disserta__o_thiago_final.pdf) >. Acesso em: 27 set. 2021.

OLIVEIRA, Bruno. Teste de Tukey para comparações múltiplas. **Operdata**, 2019b. Disponível em: < <https://operdata.com.br/blog/comparacoes-multiplas-teste-de-tukey/> >. Acesso em: 10 set. 2021.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. 2005. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 – Análise de desempenho**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 347 – 357, 2005. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/esa/a/D8qjPrwmMcFsScmNgXWJNsk/?lang=pt&format=pdf> >. Acesso: 04 nov. 2021.

O que é ANOVA. **Suporte Minitab**, 2019a. Disponível em: < <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/> >. Acesso em: 11 set. 2021.

PEDROZA, Marcelo Mendes *et al.* Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato – Educação, ciência e tecnologia**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89-188, jul./dez. 2010. Disponível em: < [http://revista.liberato.com.br/ojs\\_lib/index.php/revista/article/view/160/150#](http://revista.liberato.com.br/ojs_lib/index.php/revista/article/view/160/150#) >. Acesso em: 23 jul. 2021.

PEREIRA, Vivian Cristhiane Monteiro. Teste U de Mann-Whitney (Teste U). **Conteúdos ministrados na disciplina CE001 – Bioestatística**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Estatística, [20--]. Disponível em: < [http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:ce001:vivian\\_-\\_teste\\_u\\_de\\_mann-whitney.pdf](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:ce001:vivian_-_teste_u_de_mann-whitney.pdf) >. Acesso em: 11 set. 2021.

PIO, Saulo Batista. **Avaliação batimétrica da lagoa de decantação – Estação de tratamento de esgotos do município de Itapira**. 2008. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008. [Orientadora: Prof. Maria Cristina das Graças Fassina Guedes]. Disponível em: < <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1192.pdf> >. Acesso em: 27 jun. 2021.

RODRIGUES, André Luis Gois. **Efeitos de óleos e graxas para a tratabilidade de esgotos e poluição difusa**. SABESP, Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos de Metropolitana, São Paulo: 2007. Disponível em: < [http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias\\_sustentabilidade/Efeitos%20de%20%C3%93leos%20e%20Graxas%20na%20Tratabilidade%20de%20Esgotos%20e%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20Difusa.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias_sustentabilidade/Efeitos%20de%20%C3%93leos%20e%20Graxas%20na%20Tratabilidade%20de%20Esgotos%20e%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20Difusa.pdf) >. Acesso em: 13 set. 2021.

SANTOS, Ana Sílvia Pereira. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/dissertacoes/AnaSilviaPereiraSantos.pdf> >. Acesso em: 28 jul. 2021.

SANTOS, Ana Sílvia. Aspectos legais e potencialidades de uso de efluente tratado no Brasil. *In: 3º SEMINÁRIO NACIONAL ETES SUSTENTÁVEIS: CONTRIBUIÇÕES DO INCT ETES SUSTENTÁVEIS PARA O SETOR DE SANEAMENTO*, ABES, 2021. **Anais eletrônicos**...Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=wUtJX51DkuU&t=22222s> >. Acesso em: 06 set. 2021.

SANTOS, André Bezerra dos. **Avaliação técnica dos sistemas de tratamento de esgotos**. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 2007. 206 p. Disponível em: < <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/781> >. Acesso em: 05 set. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Portal MeioAmbiente.MG**, s.d. Início – Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. Disponível em: < <http://www.meioambiente.mg.gov.br/copam> >. Acesso em: 11 maio 2021.

SOUSA, Stella. Significado de Intervalo de Confiança. **Significados**, c2011-2021. Disponível em: < <https://www.significados.com.br/intervalo-de-confianca/#:~:text=Quanto%20mais%20estreito%20for%20o,resultado%20do%20objeto%20de%20estudo> >. Acesso em: 08 set. 2021.

TONOM, Daniele. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura**. 2007. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2007. [Orientador: Bruno Coraucci Filho]. Disponível em: < [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258249/1/Tonon\\_Daniele\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258249/1/Tonon_Daniele_M.pdf) >. Acesso em: 25 ago. 2021.

UNIVERSIDADE DE OSLO (UiO). Universidade de Oslo, 2021. Museu de história natural. Disponível em: < <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/> >. Acesso em: 10 set. 2021.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2ª ed. ampliada. Belo Horizonte: DESA – UFMG. 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª ed. Belo Horizonte: DESA – UFMG. 2005.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados.** 4ª ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2016.

## 8. APÊNDICES

### 8.1.APÊNDICE A – TABELA DE INTERAÇÃO DA TEMPERATURA.

INTERAÇÃO TEMPERATURA	Q	p
2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA	1,104	0,986
2019-RUA 4 / 2019-SAIDA	0,379	1
2019-RUA 4 / 2020-RUA 4	3,981	0,087
2019-RUA 4 / 2021-RUA 4	4,304	0,049
2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA	1,483	0,941
2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA	4,392	0,041
2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	3,795	0,117
2019-SAIDA / 2020-SAIDA	3,605	0,158
2019-SAIDA / 2021-SAIDA	4,406	0,040
2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA	1,579	0,921
2020-RUA 4 / 2020-SAIDA	0,782	0,998
2020-RUA 4 / 2021-RUA 4	0,905	0,995
2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA	2,362	0,638
2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	0,022	1
2020-SAIDA / 2021-SAIDA	1,340	0,963
2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA	0,407	1
2021-RUA 4 / 2021-SAIDA	0,204	1
2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA	0,611	0,999

Fonte: PAST

## 8.2.APÊNDICE B – TABELA DE INTERAÇÃO DO PH.

INTERAÇÃO PH	Q	p
<b>2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA</b>	0,9027	0,9953
<b>2019-RUA 4 / 2019-SAIDA</b>	0,1576	1
<b>2019-RUA 4 / 2020-RUA 4</b>	2,216	0,7035
<b>2019-RUA 4 2021-RUA 4</b>	2,664	0,4979
<b>2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA</b>	1,06	0,9888
<b>2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA</b>	1,82	0,8557
<b>2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	1,028	0,9904
<b>2019-SAIDA / 2020-SAIDA</b>	0,1146	1
<b>2019-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	0,5464	0,9997
<b>2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA</b>	1,277	0,971
<b>2020-RUA 4 / 2020-SAIDA</b>	1,937	0,8158
<b>2020-RUA 4 / 2021-RUA 4</b>	4,678	<b>0,02387</b>
<b>2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA</b>	0,6448	0,9993
<b>2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	2,63	0,5134
<b>2020-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	0,6473	0,9993
<b>2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA</b>	0,7399	0,9984
<b>2021-RUA 4 / 2021-SAIDA</b>	1,985	0,7979
<b>2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA</b>	1,246	0,9743

Fonte: PAST

### 8.3.APÊNDICE C – TABELA DE INTERAÇÃO DA DBO.

INTERAÇÃO DBO	Q	p
2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA	5,133	0,009105
2019-RUA 4 / 2019-SAIDA	0,7196	0,9987
2019-RUA 4 / 2020-RUA 4	1,942	0,8141
2019-RUA 4 2021-RUA 4	2,671	0,4944
2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA	5,853	0,001743
2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA	0,9091	0,9951
2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	0,3252	1
2019-SAIDA / 2020-SAIDA	0,8481	0,9966
2019-SAIDA / 2021-SAIDA	1,594	0,9177
2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA	4,326	0,04675
2020-RUA 4 / 2020-SAIDA	3,612	0,156
2020-RUA 4 / 2021-RUA 4	1,026	0,9906
2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA	7,938	7,104E-06
2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	1,133	0,9841
2020-SAIDA / 2021-SAIDA	0,8856	0,9957
2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA	1,339	0,9633
2021-RUA 4 / 2021-SAIDA	4,311	0,0481
2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA	5,65	0,00282

Fonte: PAST

#### 8.4.APÊNDICE D – TABELA DE INTERAÇÃO DA DQO.

INTERAÇÃO DQO	Q	p
2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA	4,277	0,05116
2019-RUA 4 / 2019-SAIDA	0,6084	0,9995
2019-RUA 4 / 2020-RUA 4	1,974	0,8023
2019-RUA 4 2021-RUA 4	4,378	0,04241
2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA	4,886	0,01545
2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA	1,321	0,9657
2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	1,806	0,8602
2019-SAIDA / 2020-SAIDA	0,6279	0,9994
2019-SAIDA / 2021-SAIDA	0,9632	0,9933
2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA	3,817	0,1133
2020-RUA 4 / 2020-SAIDA	3,303	0,242
2020-RUA 4 / 2021-RUA 4	2,746	0,4601
2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA	7,12	6,807E-05
2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA	0,687	0,999
2020-SAIDA / 2021-SAIDA	0,4339	0,9999
2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA	1,049	0,9894
2021-RUA 4 / 2021-SAIDA	5,172	0,00836
2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA	6,221	0,000705

Fonte: PAST



### 8.5.APÊNDICE E – TABELA DE INTERAÇÃO DA TURBIDEZ.

<b>INTERAÇÃO TURBIDEZ</b>	<b>Q</b>	<b>p</b>
<b>2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA</b>	3,842	0,1148
<b>2019-RUA 4 / 2019-SAIDA</b>	1,383	0,9565
<b>2019-RUA 4 / 2020-RUA 4</b>	1,615	0,9118
<b>2019-RUA 4 2021-RUA 4</b>	2,25	0,6886
<b>2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA</b>	2,459	0,5939
<b>2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA</b>	0,0172	1
<b>2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	0,1986	1
<b>2019-SAIDA / 2020-SAIDA</b>	0,9424	0,9939
<b>2019-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	1,866	0,8397
<b>2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA</b>	2,937	0,3815
<b>2020-RUA 4 / 2020-SAIDA</b>	1,137	0,9836
<b>2020-RUA 4 / 2021-RUA 4</b>	0,947	0,9937
<b>2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA</b>	4,074	0,079
<b>2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	0,2033	1
<b>2020-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	1,165	0,9814
<b>2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA</b>	1,548	0,9269
<b>2021-RUA 4 / 2021-SAIDA</b>	2,67	0,4974
<b>2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA</b>	4,218	0,06194

Fonte: PAST

### 8.6.APÊNDICE F – TABELA DE INTERAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.

<b>INTERAÇÃO SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS</b>	<b>Q</b>	<b>p</b>
<b>2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA</b>	2,655	0,5021
<b>2019-RUA 4 / 2019-SAIDA</b>	0,2841	1
<b>2019-RUA 4 / 2020-RUA 4</b>	2,152	0,731
<b>2019-RUA 4 2021-RUA 4</b>	2,654	0,5027
<b>2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA</b>	2,939	0,3773
<b>2019-ELEVATORIA / 2020- ELEVATORIA</b>	0,6297	0,9994
<b>2019-ELEVATORIA / 2021- ELEVATORIA</b>	0,6891	0,9989
<b>2019-SAIDA / 2020-SAIDA</b>	0,286	1
<b>2019-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	0,7943	0,9976
<b>2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA</b>	1,236	0,9752
<b>2020-RUA 4 / 2020-SAIDA</b>	2,215	0,7038
<b>2020-RUA 4 / 2021-RUA 4</b>	0,7806	0,9979
<b>2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA</b>	3,451	0,1987
<b>2020-ELEVATORIA / 2021- ELEVATORIA</b>	0,1385	1
<b>2020-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	0,5571	0,9997
<b>2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA</b>	0,3924	1
<b>2021-RUA 4 / 2021-SAIDA</b>	1,913	0,8244
<b>2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA</b>	2,305	0,6638

Fonte: PAST

### 8.7.APÊNDICE G – TABELA DE INTERAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.

<b>INTERAÇÃO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA</b>	<b>Q</b>	<b>p</b>
<b>2019-RUA 4 / 2019-ELEVATORIA</b>	0,7754	0,9979
<b>2019-RUA 4 / 2019-SAIDA</b>	1,721	0,884
<b>2019-RUA 4 / 2020-RUA 4</b>	1,434	0,9482
<b>2019-RUA 4 2021-RUA 4</b>	1,081	0,9872
<b>2019-ELEVATORIA / 2019-SAIDA</b>	0,9898	0,992
<b>2019-ELEVATORIA / 2020-ELEVATORIA</b>	0,09	1
<b>2019-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	1,395	0,9545
<b>2019-SAIDA / 2020-SAIDA</b>	1,585	0,9185
<b>2019-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	0,1575	1
<b>2020-RUA 4 / 2020-ELEVATORIA</b>	0,5806	0,9996
<b>2020-RUA 4 / 2020-SAIDA</b>	2,17	0,7231
<b>2020-RUA 4 / 2021-RUA 4</b>	2,651	0,507
<b>2020-ELEVATORIA / 2020-SAIDA</b>	2,75	0,4622
<b>2020-ELEVATORIA / 2021-ELEVATORIA</b>	1,584	0,9187
<b>2020-SAIDA / 2021-SAIDA</b>	1,684	0,8943
<b>2021-RUA 4 / 2021-ELEVATORIA</b>	0,4894	0,9998
<b>2021-RUA 4 / 2021-SAIDA</b>	2,575	0,5411
<b>2021-ELEVATORIA / 2021-SAIDA</b>	2,086	0,7579

Fonte: PAST

**8.8.APÊNDICE H - TABELA DOS DADOS DE PH, DBO E DQO DA ETE INDUSTRIAL.**

PH			DBO			DQO		
2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
6,31	6,51	7,5	263,19	158,16	45,41	626,97	393,63	105,86
7	7,67	5,17	39,75	34,04	277,57	103,65	85,32	879,2
7,7	7,55	5,7	45,69	80,37	150,79	114,09	201,09	632,09
8,2	7,8	7,44	89,37	321,34	479,69	223,53	802,76	93,06
8,23	7,9	6,17	104,32	300,21	25,74	266,64	751,82	243,84
7,39	0	8,4	82,63	81,33	86,76	205,78	286,78	872,27
6,1	7,11	4,75	90,66	93,67	376,67	225,36	166,02	871
7,11	7,1	6,52	40,38	42,64	274,58	103,55	294,72	712,82
6,91	7,6	6,91	140,36	101,02	161,75	361,82	558,02	862,69
6,52	7,2	6,1	58,57	219,27	126,36	148,04	545,72	606,96
6,42	7,8	6,7	36,99	183,12	253,21	98,42	379,64	103,78
6,95	7,42	6,22	447,39	151,48	154,25	1091,9	556,64	61,55
7,68	7,99	7,2	177,07	223,8	42,07	444,21	478,09	143,95
6,9	7,7	7,55	231,85	191,54	10,91	577,02	363,8	91,07
7,51	7,1	7,03	274,65	146,13	19,79	672,73	732,1	118,98
6,4	0	7,6	242,09	294,31	19,02	601,73	655,17	555,00
7,5	7,44	7,6	273,33	387,32	28,48	678,55	870,85	1873,25
6,16	7,46	7,1	194,39	259,63	41,64	488,88	1227,83	86,89
7,2	6,9		146,34	295,49		362,95	628,63	
6,86	6,8		320,64	421,97		801,85	592,25	
6,81	6,8		80,63	232,09		197,95	53,65	
6,8	7,35		76,52	239,83		193,06	66,52	
7,56	7,47		108,67	21,37		268,62	169,44	
7,61	7,2		18,37	26,73		46,04	128,44	
7,81	7,3		101,62	67,7		252,54	142,7	
8,56	7,93		70,41	51,32		175,87	138,14	
6,62	8,3		69,79	56,68		175,03	165,82	
6,4	7,69		72,66	59,81		182,14	195,21	
6,54	7,9		73,49	56,35		179,35	164,72	

7,09	7,2	87,94	48,73	219,67	145,74
	7,15		83,49		1055,58
	6,37		69,77		236,07
	7,32		47,52		166,72

Fonte: SAE

### 8.9. APÊNDICE I - TABELA DOS DADOS DE TEMPERATURA, ÓLEOS E GRAXAS E SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS DA ETE INDUSTRIAL.

Temperatura			Óleos e graxas			Sólidos Suspensos Totais		
2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
24	26	29	9,9	9,9	9,9	320	50	9,9
24	23	25	9,9	9,9	17	55	9,9	150
27	22	26	9,9	9,9	11,4	17	29,23	76
22	25	26	9,9	74,2	9,9	34	112	16
21	26	22	9,9	17	9,9	31	64	276
20	26	29	9,9	9,9	495,2	65	26	128
21	23	26	9,9	27,8	9,9	15	9,9	86
23	28	25	9,9	9,9	35,8	100	902	9,9
24	26	27	9,9	27,4	39,8	42	28	9,9
23	30	23	557	67,4	9,9	272,73	60	44
24	26	29	9,9	9,9	9,9	65	59	36
23	26	25	118	11,8	9,9	90	70,59	9,9
26	26	24	9,9	14,4	9,9	116,67	114	1,50
22	25	26	10,8	9,9	9,9	124	158	290
23	26	24	9,9	9,9	9,9	94	9,9	9,9
23	28		9,9	11,8	9,9	120	72	
25	25,5		9,9	34,2	21,40	44	9,9	
23	27		9,9	17,4	58	96,67	43	
24	27		9,9	42,6		66	55	
23	28		9,9	37		42	43	
26	25		9,9	9,9		53	16	

23	24	9,9	9,9	102	24
25	23	9,9	9,9	82	38
19,6	26	9,9	9,9	12,5	26
22	24	9,9	9,9		254
18	27	9,9	17,2		9,9
20	22,8	9,9	9,9		40
24	26	9,9	9,9		
26	27	9,9	9,9		
23	27	9,9	9,9		
	25		15,8		
	24		9,9		
	22		9,9		

Fonte: SAE

### 8.10. APÊNDICE J - TABELA DOS DADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS, TURBIDEZ E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ETE INDUSTRIAL.

Sólidos Sedimentáveis			Turbidez			Condutividade Elétrica		
2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
0,09	0,09	0,2	10,4	18,1	13,5	284,6	621,8	956,9
0,09	0,1	0,7	90	24,1	35,5	482,5	740,7	1085
0,09	0,3	1,2	60,4	44,6	90,9	1083	823,5	978
0,09	0,8	1,5	25,4	62,5	218	1661	907,6	1272
0,09	1	2	25,7	63,6	337	1706	955,5	1617
0,1	1	5	43,8	147	168	8360	974,8	731,8
0,2	1,5	0,6	81,1	254	187	272,4	1068	847
0,6	3,5	1	174	308	216	829,3	949,8	1340
0,8	4	2,5	112	58,9	240	1052	825,8	1524
0,09	1	2,5	170	63,2	168	1120	848,8	1153
0,09	0,09	4	184	118	30,7	1133	945,6	671,9
0,1	0,1	1,5	242	122	34,5	1285	951,7	1125
0,1	0,2	0,09	335	145	38,2	589,6	989,5	698,5
0,2	0,5	0,4	64,4	155	73,8	707,5	997,6	855

1	1	0,6	78,7	183	27,6	846,8	1064	910,9
1	1,5	0,8	124	195		890,9	888,6	
2	2	1	146	406		958,2	301	
10	4	0,4	165	317		1005	440	
0,09	6			3,49			629,9	
0,09	4			42,5			664,9	
0,09	0,09			57,4			822,8	
0,09	0,09			69,3			921,2	
0,09	0,09			74,8			780	
0,09	0,09			91,5			725,9	
0,09	0,1			129				
0,09	0,1			147				
0,1	0,2			85,9				
	0,5							
	0,6							
	0,5							

Fonte: SAE

### 8.11. APÊNDICE K - TABELA DOS DADOS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E ESCHERICHIA COLI DA ETE INDUSTRIAL.

Coliformes 2019			Escherichia coli	
Rua 4	Elevatória	Saída	2020	2021
2000	1000000	200	8,00E+06	9,13E+04
7900	2100000	1800	4,10E+04	1,20E+05
30000	4000000	5000	1,49E+06	1,72E+06
170000	4300000	7200	1,28E+06	2,09E+06
550000	6400000	20000	1,02E+04	2,09E+06
1200000	7200000	77000	8,00E+05	1,82E+03
11000000	23000000	80000	1,03E+04	1,29E+05
50000000	380000000	310000	1,77E+04	1,19E+06
			5,71E+06	1,41E+07
			3,64E+06	1,01E+07

---

3,46E+07	1,72E+03
1,20E+08	1,12E+04
2,00E+06	6,16E+04
8,00E+04	3,99E+04
1,16E+06	1,04E+05
9,00E+06	6,58E+04
6,30E+04	1,29E+07
2,09E+05	2,42E+07
1,73E+05	
7,72E+05	
4,35E+04	
1,15E+03	
1,78E+03	
2,70E+02	
2,36E+02	
3,31E+02	
2,30E+03	
6,20E+02	
3,44E+04	
2,86E+03	
1,21E+05	
2,07E+05	
6,08E+03	

---

Fonte: SAE