

# VIABILIDADE DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE EFLUENTES ATRAVÉS DA ANÁLISE VISUAL COM A ESCALA CINZA: AVALIAÇÃO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE PEQUENO PORTE

**Nome do autora**

Maria Roseane Tiburcio de Melo

**Orientadora**

Maria Clara Mavia de Mendonça

---

## RESUMO

O tratamento de efluente é uma ação fundamental para a preservação dos corpos hídricos, garantindo que os efluentes tratados atendam aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. A resolução CONAMA nº 430/2011 define os limites aceitáveis para o lançamento de efluentes em corpos d'água, incluindo parâmetros como pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos sedimentáveis totais. Diante disso, este artigo tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso da análise visual por meio da escala de cinza formulada por Von Sperling (2020) como ferramenta de monitoramento da qualidade em uma estação de tratamento de efluentes (ETEs) de pequeno porte. O método proposto foi analisado quanto à sua aplicabilidade na estimativa de turbidez, para a determinação de DBO/DQO, possibilitando uma avaliação alternativa e complementar aos métodos convencionais de monitoramento. Os resultados reforçam a importância da adoção de estratégias inovadoras para a gestão eficiente de efluentes em centros comerciais, garantindo a preservação dos recursos hídricos e redução de custo.

Palavras-chave: ETE. Shopping Center. Escala Cinza. Engenharia Ambiental.

## 1 INTRODUÇÃO

Os centros comerciais têm se destacado no cenário econômico e imobiliário, devido ao seu crescimento, por oferecer diversos serviços e atrativos no qual a sociedade procura em um só lugar e de fácil acesso. Contudo, a concentração de indivíduos nesses locais de lazer, contribui para o aumento da geração de resíduos sólidos e esgoto, por isso o tratamento é fundamental (Butzen *et al.*, 2017).

Autorizamos a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio, exclusivamente para fins de ensino e pesquisa, desde que citada a fonte, não haja modificações e não seja para fins comerciais. Este documento está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



O termo efluentes é usado para caracterizar o lançamento de líquidos provenientes de diversas atividades, sejam elas domésticas ou industriais. Os efluentes domésticos ou sanitários são compostos por 99,9% de água e 0,1% de sólidos, porcentagem suficiente que indica a necessidade do tratamento dessas águas (Nascimento, 2021).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), é responsável pelas resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, tratando sobre a classificação dos corpos de água, as diretrizes ambientais para o seu devido enquadramento e as condições, além dos padrões de lançamento de efluentes em âmbito nacional (CONAMA, 2005, 2011).

Segundo Ward *et al.* (2021), a cor e o odor não são parâmetros amplamente discutidos ou considerados essenciais para quantificar na literatura. A proposta de desenvolver métodos práticos de monitoramento em campo, que quantifiquem as relações entre as medições realizadas no local e as feitas em laboratórios, poderia facilitar o monitoramento de estações de tratamento compactas, que geralmente não dispõem de equipamentos sofisticados para a realização dessas análises.

Este artigo tem como objetivo testar uma metodologia já validada, que usa uma análise visual por meio da escala cinza (Von Sperling *et al.*, 2020), como um método de monitoramento da qualidade de efluentes em uma estação de tratamento de esgoto de pequeno porte, avaliando a eficiência e a aplicabilidade desse método no contexto de estações compactas.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 tratamento de Efluentes**

O tratamento de efluentes tem como objetivo devolver a água utilizada em processos ou outros tipos de atividades para os corpos hídricos sem provocar alterações no meio ambiente. Durante o tratamento de efluentes, existem processos físicos por meio da sedimentação de material particulado (floculação), químicos (desinfecção) e biológicos aeróbio ou anaeróbio (remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo) (Leseux, 2018).

De acordo com Alfradique *et al.* (2019), o tratamento de efluentes pode ser dividido em duas fases fundamentadas na remoção de sólidos (fase líquida) e a remoção do lodo (fase sólida). A etapa preliminar remove os sólidos mais grosseiros, graças ao sistemas de grades responsáveis por reter os detritos. No tratamento primário é feita a remoção dos sólidos sedimentáveis por gravidade, somente no tratamento secundário os microrganismos entram em ação para remover (degradar) a matéria orgânica, gerando lodo ativado. O tratamento terciário tem como objetivo remover as impurezas restantes, como matéria orgânica, metais pesados e patógenos.

Segundo Butzen *et al.* (2017), apenas os processos biológicos de tratamento não conseguem remover totalmente os nutrientes (matéria orgânica), aumentando a possibilidade do corpo receptor receber concentrações acima do permitido pela legislação. Portanto é necessário incluir novas tecnologias aos sistemas convencionais para garantir a qualidade dos efluentes.

## 2.2 Impactos Ambientais

Devido a alta concentração de matéria orgânica, se forem lançados de maneira irregular nos corpos hídricos podem causar alterações significativas, impedindo o fenômeno natural da fotossíntese, baixando as taxas de oxigênio dissolvido, ocasionando um desequilíbrio podendo até levar à mortandade da fauna aquática.

Em alguns países a legislação ambiental costuma omitir os dados sobre a concentração dos poluentes (nutrientes e microrganismos), com o intuito de reduzir os impactos ambientais do lançamento de efluente tratado em corpos hídricos (Lopes *et al.*, 2017).

De acordo com Passanha (2021), determinados contaminantes permanecem no meio, após passarem pela etapa primária e secundária da (ETE) e, conseqüentemente, vão parar em corpos d'água e mananciais, onde seguirá para o tratamento convencional de água por captação, descontaminação e distribuição para abastecimento humano. Mas o sistema convencional de tratamento da água não consegue remover essas substâncias da água.

Segundo Eustáquio *et al.* (2022), a água tratada não pode provocar alterações que interfiram na qualidade ecológica do corpo receptor, após a contaminação desses corpos hídricos por meio de atividade antrópica, o recurso passa a ser inapropriado para o consumo, afetando diretamente a saúde humana.

## 2.3 Padrões de Lançamento

A resolução n°430 do CONAMA (2011), estabelece padrões de lançamentos em corpos hídricos, é uma legislação importante para medir a eficiência hídrica, ao não cumprir com as exigências dos padrões de lançamentos o infrator será julgado de acordo com a Lei 9.605, de 1998. Segundo o mesmo CONAMA (2011), os padrões de lançamento de efluentes estipulam que:

**Tabela 1:** Padrões de lançamento

<b>Padrões de Lançamento</b>	
pH	5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L
Regime de lançamento com vazão máxima	1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto por situações permitidas por autoridade
Óleos e graxas	-
Óleos minerais	20 mg/L
Óleos Vegetais	50mg/L

Gordura Animais	50 mg/L
Ausência de materiais flutuantes	-
DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	Apresentar remoção mínima de 60%

Fonte: Autora, 2025.

Entretanto, de acordo com o Art 6° desta resolução excepcionalmente em caráter temporário, o órgão ambiental competente, poderá autorizar o lançamento de efluentes em desacordo com os padrões, desde de que atenda os seguintes requisitos:

- Comprovação de relevante interesse público;
- Atendimento ao enquadramento do corpo receptor;
- Realização de estudo ambiental técnico adequado;
- Estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento;
- Fixação de prazo máximo para o lançamento, prorrogável a critério do órgão ambiental;
- Estabelecimento de medidas que visem neutralizar os efeitos do lançamento.

Considerando a Norma Técnica da Agência Ambiental de Meio Ambiente - CPRH nº 2.002 (2000b) que trata dos critérios e padrões de lançamentos de efluentes não industriais nos rios de Pernambuco, a eficiência mínima de remoção da carga orgânica em efluentes domésticos tratados variará entre 40 a 90% em função da carga orgânica bruta. Segundo Jordão e Pessoa (2005), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos esgotos domésticos pode variar entre 200 e 800 mg/L, a depender do grau de diluição.

Em termos de controle de carga orgânica industrial, a Norma Técnica CPRH nº 2.001 (2000a) estipula que fontes poluidoras com a carga igual ou superior a 100 Kg/dia, deverão remover no mínimo 90% da DBO. Já as fontes poluidoras com carga orgânica inferior a 100 Kg/dia, devem remover no mínimo 70% de DBO de seus efluentes.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1. Localização do empreendimento

Segundo Façanha Neto *et al*, (2020), estabelecer um bom desempenho ambiental em empreendimentos dessa magnitude exige maior atenção no planejamento e nos investimentos arquitetônicos, devendo estar alinhado com as fases do programa, do projeto de implementação, do desenvolvimento e da execução.

O estudo foi realizado em uma estação compacta de um shopping, localizado na cidade de Jaboatão dos Guararapes que possui uma população de aproximadamente 644,037 habitantes (IBGE, 2022). Diariamente o fluxo é de 47 mil pessoas, totalizando mais de 16 milhões de consumidores a cada ano.

O shopping em estudo foi fundado em 2004 e, desde então, tem direcionado sua atenção para as causas socioambientais, inaugurando um instituto que já atendeu

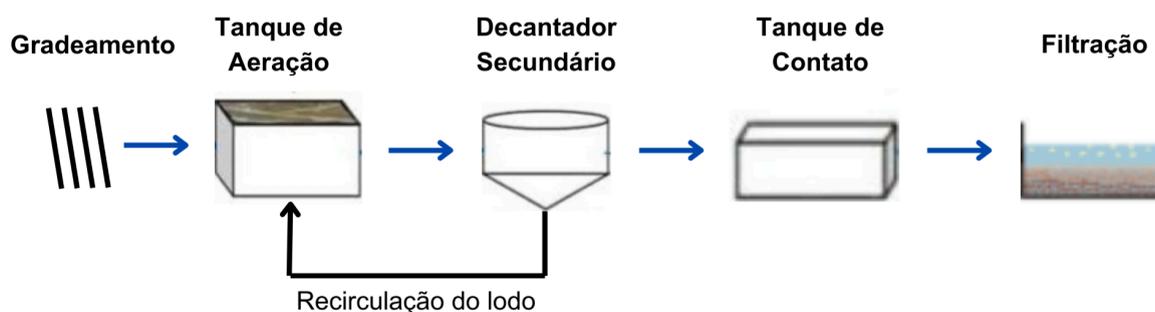
mais de 6 mil pessoas. O instituto promove a educação ambiental, oferecendo aulas de dança e música, e cursos voltados para a área de tecnologias.

Foi o primeiro shopping a criar um espaço totalmente dedicado à educação ambiental, que abriga espécies nativas dos biomas de Pernambuco. Além disso, implementou a iniciativa de disponibilizar ecopontos para o descarte correto dos resíduos sólidos e realiza o processo de compostagem dos seus resíduos orgânicos.

### 3.2. Estação de Tratamento - ETE

O Shopping conta com uma estação própria de pequeno porte, apresentando uma vazão mínima de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  e máxima de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , responsável por tratar todo o efluente gerado no local. A figura 1, mostra um fluxograma simplificado que descreve as seguintes etapas do sistema de tratamento: Preliminar (gradeamento), tanque de aeração 1 e 2, decantador secundário, tanque de contato, filtração e reservatório de distribuição.

**Figura 1:** Fluxograma - Sistema de Tratamento de Efluentes.



**Fonte:** Autora, 2025.

Após o tratamento, o efluente tratado fica armazenado em reservatórios e boa parte desse volume é usado na irrigação dos jardins do empreendimento. Diariamente no laboratório da ETE, é realizada análises dos principais parâmetros de controle, descritos na tabela 2. Esse acompanhamento permite verificar a estabilidade do processo e identifica possíveis variações durante a operação, assegurando que o desempenho do sistema permaneça dentro dos padrões.

Contudo, mensalmente algumas amostras são enviadas para um laboratório externo, responsável pela realização das análises mais complexas como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e metais.

**Tabela 2:** Parâmetros de controle.

Parâmetros de Controle	
ENTRADA	pH
	Temperatura
TANQUE DE AERAÇÃO 1 e 2	Oxigênio Dissolvido
	Sólidos Sedimentáveis 30'

<b>ENTRADA DO DECANTADOR</b>	Sólidos Sedimentáveis 30'
<b>SAÍDA</b>	Oxigênio Dissolvido
	pH
	Sólidos Sedimentáveis 60'
	Temperatura
	Vazão
	Cloro residual

Fonte: Autora, 2025.

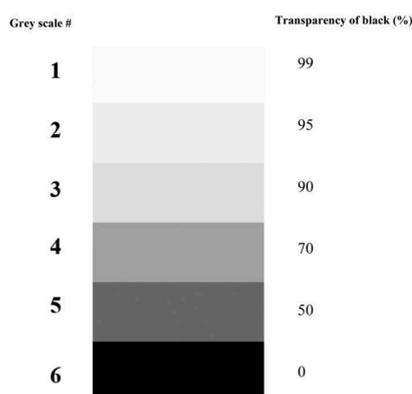
### 3.3. Escala Cinza

O método simples da escala cinza foi desenvolvido por Von Sperling *et al.* (2020), consiste na representação de uma faixa degradê de tons cinza, dividida em seis listras que foram associadas aos valores de turbidez, sólidos em suspensão e DBO/DQO particulado.

A faixa 1 pode ser facilmente visualizada se o efluente estiver bem clarificado, contudo a faixa 6 é a mais escura e também pode ser visualizada. Segundo Von Sperling *et al.* (2020), criar uma escala única é essencial para garantir o uso, evitando qualquer tipo de limitações em grande parte das ETEs.

No estudo a amostragem foi realizada em estações compactas e outros diferentes sistemas de intensivos e extensivos, espalhados pelo mundo. Na figura 2, podemos visualizar a escala cinza.

Figura 2: Escala Cinza.



Fonte: Von Sperling *et al.*, 2020.

### 3.4. Análise e Monitoramento

#### 3.4.1. Coleta das amostras

Na presente pesquisa, quatro pontos estratégicos foram selecionados para monitorar as variações temporais no desempenho da estação de tratamento: (a) entrada (amostra bruta), (b) tanque de aeração (no meio do tanque), (c) decantador secundário (dentro) e (d) saída (saída do decantador), conforme a figura 3. A coleta foi feita duas vezes por semana ao longo de um período de trinta dias.

**Figura 3:** Coleta



Fonte: Autora, 2025.

#### 3.4.2. Análise Visual

Todos os procedimentos foram feitos de acordo com Von Sperling *et al.* (2020). Durante o seu estudo foi feita a observação de diversos aspectos práticos, principalmente no momento da realização dos registros fotográficos para não influenciar ou distorcer os resultados.

Por isso os registros devem ser feitos em ambientes internos com uma ótima iluminação natural, sem a luz ser diretamente frontal. O uso de flashes ou lanternas foi descartado, para evitar a mudança na coloração do efluente. Os frascos das amostras eram transparentes (sem pigmentação), de plástico, cada recipiente apresentava o volume de aproximadamente 500 ml, tamanho padrão.

A avaliação pode ser feita através da escala impressa ou digital em um celular. Portanto a escala precisa ser posicionada atrás da garrafa que contém a amostra de efluente e em seguida realiza a leitura para cada amostra (Von Sperling *et al.* 2020).

#### 3.4.3. Turbidez

A análise foi realizada por meio de um turbidímetro, instrumento que mede a quantidade de material particulado em suspensão. A amostra foi transferida para a cubeta até atingir a marcação e, em seguida, vedada com a tampa.

A cubeta foi colocada no aparelho, que dispara um feixe de luz em um ângulo de 90°, atravessando a cubeta e quantificando a turbidez, expressa em unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Quanto maior a turbidez, maior a quantidade de partículas em suspensão.

### 3.4.4. Registro dos dados

Alguns dados foram fornecidos pelo empreendimento e são apresentados na Tabela 1, e foram essenciais para as comparações e formulação dos resultados, incluindo as análises mais complexas realizadas pelo laboratório externo.

Os dados obtidos foram organizados em uma planilha do Excel, o que facilitou a comparação e a interpretação, com o objetivo de corrigir possíveis erros e relacionar os resultados das análises visuais com as laboratoriais.

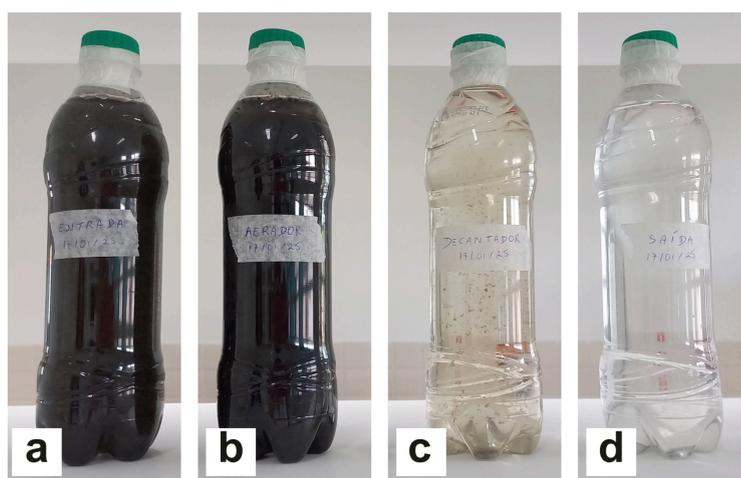
Dessa forma, foi possível realizar comparações ao longo do período do estudo, identificando tendências, uma vez que, frequentemente o aumento da turbidez pode ser causado por alterações na operação da ETE.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 Relação entre a turbidez real com a escala cinza

A classificação das amostras, ilustradas na figura 4, foi feita a partir de uma comparação entre a cor aparente do efluente com a escala cinza.

Figura 4: Amostras



Fonte: Autora, 2025.

Segundo Von Sperling *et al.* 2020, os valores apresentados nas faixas condiz com os resultados de turbidez, pois quanto mais escuro é o tom de cinza maior é a sua turbidez. Observa-se que os maiores valores, representados pelas cores mais escuras, estão associados ao efluente coletado dentro do tanque de aeração, uma vez que a amostra foi retirada de uma etapa que contém a maior concentração de partículas e matéria orgânica de praticamente todo o processo. Por outro lado, os menores valores foram encontrados na amostra de saída, refletindo a etapa final do tratamento.

#### 4.1.1 Análise de Turbidez

A partir das classificações feitas por meio da cor aparente, foi realizada uma análise de turbidez em bancada, com o objetivo de obter dados reais que pudessem

ser comparados aos valores apresentados na figura 5. Dessa forma, foi possível determinar a turbidez das amostras coletadas, conforme apresentado na tabela 3.

**Tabela 3:** Turbidez medida

Valores da Turbidez medida nas amostras (NTU)				
Amostras	Entrada	Tanque de Aeração	Decantador	Saída
1	335,4	412,6	6,70	2,29
2	298,4	366,1	5,66	8,95
3	340,0	469,3	4,30	3,41
4	333,8	418,0	4,86	3,29
5	196,8	336,5	5,04	2,23
6	211,6	402,3	5,35	3,11
7	196,29	332,0	4,64	2,46
8	185,30	348,7	5,32	2,33

Fonte: Autora, 2025.

#### 4.1.2 Avaliação da Escala Cinza usando os valores de Turbidez medida

Para dar início a comparação dos valores obtidos em laboratório com os valores das faixas descritos na literatura, foi necessário criar uma faixa da turbidez medida com os dados da entrada e de saída, mostrados na tabela 3. Possibilitando a verificação da qualidade do efluente, o quanto de matéria orgânica foi removida durante o processo. De acordo com Von Sperling *et al.* (2020), cada cor representa um valor específico de turbidez, SST, DBO e DQO, apresentadas na figura 5.

**Figura 5:** Valores de turbidez, SST, DBO e DQO, esperados para cada faixa.

Escala de Cinza	Transparência de preto (%)	Cores das faixas	Turbidez (UNT)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	DBO particulada (mg/L)	DQO particulada (mg/L)
1	99		0 - 50	0 - 70	0 - 40	0 - 90
2	95		50 - 110	70 - 150	40 - 90	90 - 190
3	90		110 - 180	150 - 250	90 - 150	190 - 310
4	70		180 - 260	250 - 350	150 - 210	310 - 450
5	50		260 - 350	350 - 475	210 - 290	450 - 610
6	0		350 - 450+	475 - 600+	290 - 370+	610 - 780+

Fonte: Von Sperling *et al.*, 2020.

**Tabela 4:** Relação entre a turbidez medida e a esperada

Relação entre turbidez real e esperada				
		Intervalo de faixa	Faixa de	Faixa de

Amostras	Data	de cores obtidas	Turbidez medida	Turbidez esperada
1	08/01	5-1	335,4 - 2,29	0 - 50 50 - 110 110 - 180 180 - 260 260 - 350 350 - 450+
2	10/01	5-1	298,4 - 8,95	
3	14/01	5-1	340,0 - 3,41	
4	17/01	5-1	333,8 - 3,29	
5	21/01	4-1	196,8 - 2,23	
6	25/01	4-1	211,6 - 3,11	
7	27/01	4-1	196,29 - 2,46	
8	28/01	4-1	185,30 - 2,33	

Fonte: Da autora, 2025.

Segundo Von Sperling *et al.* 2020, se a leitura de uma amostra for classificada na faixa 2 da escala, o efluente apresentará uma turbidez entre 50 e 110 NTU, SST entre 70 e 150 mg/L, DBO entre 40 e 90 mg/L e DQO entre 90 e 190 mg/L.

As quatro primeiras amostras (1 a 4 - entrada) foram classificadas na faixa 5, com os seguintes valores de turbidez: 335,4 NTU (amostra 1), 298,4 NTU (amostra 2), 340,0 NTU (amostra 3) e 333,8 NTU (amostra 4). Esses resultados estão coerentes com as faixas de turbidez esperadas, conforme descrito na literatura. Portanto, pode-se afirmar que as quatro primeiras amostras possuem SST entre 350 e 475 mg/L, DBO entre 210 e 290 mg/L e DQO entre 450 e 610 mg/L.

As quatro últimas amostras (5 a 8 - entrada) foram classificadas na faixa 4, apresentando os seguintes valores de turbidez: 196,8 NTU (amostra 5), 211,6 NTU (amostra 6), 196,29 NTU (amostra 7) e 185,30 NTU (amostra 8). Esses resultados estão em conformidade com as faixas de turbidez previstas na literatura. Pode-se constatar que as quatro últimas amostras possuem SST entre 250 e 350 mg/L, DBO entre 150 e 210 mg/L e DQO entre 310 e 450 mg/L.

Todas as oito amostras da saída, foram classificadas na faixa 1, com os seguintes valores de turbidez: 2,29 NTU (amostra 1), 8,95 NTU (amostra 2), 3,41 NTU (amostra 3), 3,29 NTU (amostra 4), 2,23 NTU (amostra 5), 3,11 NTU (amostra 6), 2,46 NTU (amostra 7) e 2,33 NTU (amostra 8). Os resultados condizem com a turbidez esperada na literatura. Podemos afirmar que as oito amostras da saída possuem SST entre 0 e 70 mg/L, DBO entre 0 e 40 mg/L e DQO entre 0 e 90 mg/L. De acordo com Von Sperling *et al.* 2020, as amostras de efluentes tratados que estão dentro da faixa 1, indicam um ótimo desempenho.

#### **4.1.3 Relação entre a Escala Cinza e a DBO/DQO**

A análise de DBO e DQO foi realizada por um laboratório externo no dia 24/01, nas amostras de entrada e saída. Os resultados de turbidez das quatro primeiras amostras de entrada estão dentro dos valores esperados para a faixa 5. No entanto,

os valores de DBO e DQO observados não estão em conformidade com os valores previstos, conforme descrito na Tabela 5. Segundo o autor Von Sperling *et al.* (2020), os efluentes classificados na faixa 5 devem apresentar valores de DBO entre 210 e 290 mg/L e de DQO entre 450 e 610 mg/L. Contudo, os resultados reais das análises de DBO e DQO para a amostra de entrada são significativamente mais baixos, com uma DBO de 159 mg/L e uma DQO de 364 mg/L.

**Tabela 5:** Dados da análise de DBO e DQO

<b>Dados da análise de DBO e DQO</b>		
<b>Análise</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>
DBO	159 mg/L	<2,1 mg/L
DQO	364 mg/L	66,6 mg/L

**Fonte:** Da autora, 2025.

Os valores de turbidez das quatro últimas amostras de entrada estão dentro dos limites esperados para a faixa 5, de acordo com sua classificação. Para um efluente classificado na faixa 4, espera-se uma coloração escura, mas menos turva do que nas faixas 5 e 6, com valores de DBO variando entre 150 e 210 mg/L e de DQO entre 310 e 450 mg/L (Von Sperling *et al.*, 2020). Os resultados reais de DBO e DQO, obtidos em laboratório, estão alinhados com os parâmetros do estudo base, apresentando uma DBO de 159 mg/L e uma DQO de 364 mg/L.

As oito amostras de saída foram classificadas na faixa 1, apresentando os menores valores de turbidez, o que está em conformidade com os valores esperados para essa faixa, como mostra a figura 5. Segundo Von Sperling *et al.* (2020), as amostras de efluente tratado, deve exibir uma coloração mais, chegando à transparência, característica típica de um efluente classificado na faixa 1, apresentando uma DBO entre 0 e 40 mg/L e DQO entre 0 e 90 mg/L. Os resultados reais das análises estão alinhados com os valores estimados no estudo de Sperling, apresentando DBO de de <2,1 mg/L e DQO de 66,6 mg/L.

#### **4.1.4 Viabilidade do método**

Os métodos convencionais de determinação de DBO e DQO exigem tempo e recursos específicos. De acordo com a ABNT NBR 12614 (2011), a análise de DBO deve ser feita pelo método de incubação, por um período de 5 dias, a uma temperatura controlada a 20°C.

Quanto à norma ABNT NBR 14242 (2006), estabelece que a DQO deve ser determinada por digestão com dicromato de potássio que atua como oxidante na presença de ácido sulfúrico e íons de prata, responsáveis por acelerar a reação, o tempo médio dessa análise é de 3 horas, sob uma temperatura 150°C.

Para Von Sperling *et al.*, (2020), realizar somente a leitura com a escala cinza não é o suficiente e, não substitui as análises tradicionais, mas o operador pode observar com facilidade se o processo está tendo um bom desempenho, durante cada etapa. Com base nas faixas estabelecidas na escala, é possível estimar

antecipadamente, de forma aproximada, os valores resultantes das análises de DBO e DQO que são realizadas somente no fim do mês.

Neste estudo mais de 70% das amostras apresentaram uma correspondência entre os valores reais e os estimados por meio da escala cinza de Von Sperling, demonstrando uma performance consistente e satisfatória, como uma alternativa de análise, principalmente do efluente já tratado. A utilização da análise visual proposta como suporte ao monitoramento pode reduzir a necessidade de análises robustas, já que o efluente tratado é usado como água de reuso. Dessa forma, há uma potencial redução de custos operacionais, incluindo gastos com reagentes, equipamentos analíticos e tempo de processamento das análises. Fato que seria de interesse do shopping.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa evidenciam a viabilidade da análise visual por meio da escala cinza de Von Sperling *et al* (2020) como uma ferramenta complementar no monitoramento da qualidade dos efluentes tratados em estações compactas de tratamento de esgoto. A correlação entre as faixas da escala e os valores de turbidez, DBO e DQO demonstram um grau significativo de precisão, indicando que a metodologia proposta pode servir como um indicativo confiável do desempenho operacional do tratamento.

A análise das amostras permitiu constatar que os efluentes classificados na faixa 1 da escala apresentam valores de DBO e DQO compatíveis com os padrões estabelecidos pela legislação vigente, atestando a eficiência do processo de tratamento na remoção de carga orgânica. Entretanto, a discrepância observada entre os valores esperados e os valores medidos nas amostras de entrada sugere que a aplicação da escala cinza pode exigir ajustes para determinados contextos operacionais, principalmente em estações de pequeno porte, onde variações nas características do efluente influenciam diretamente a precisão da análise visual.

Dessa forma, este estudo reforça o potencial da escala cinza como um método acessível e eficiente para otimizar o controle da qualidade dos efluentes tratados, especialmente em unidades que dispõem de infraestrutura laboratorial limitada. Sua aplicação possibilita uma triagem rápida e contínua, permitindo a identificação precoce de desvios no processo e reduzindo a necessidade de análises laboratoriais frequentes, o que pode gerar uma significativa economia de recursos operacionais.

Contudo, apesar dos resultados promissores, é importante destacar que a escala cinza não deve ser considerada um substituto absoluto para métodos analíticos tradicionais, mas sim uma ferramenta complementar capaz de otimizar a gestão e o monitoramento. Estudos futuros devem explorar a adaptação da metodologia para diferentes condições operacionais e tipos de efluentes, ampliando sua aplicabilidade e consolidando seu papel como um recurso inovador no campo da engenharia ambiental e sanitária.

Portanto, a presente pesquisa contribui para a discussão sobre a modernização das práticas de monitoramento de efluentes, alinhando-se aos princípios de eficiência operacional, da sustentabilidade e da conformidade regulatória, aspectos essenciais para a preservação dos recursos hídricos e para a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de águas residuais.

## REFERÊNCIAS

ALFRADIQUE, R.P.; DE JESUS, T.T.; DE SOUZA, T.K. Estudo de viabilidade de construção de estação de tratamento de esgoto em shopping center com ênfase em reutilização de água tratada. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 1, n. 1, p. 69-83, 2019. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/456> . Acesso em: 20 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12614**: Determina o método de análise de DBO em amostras de efluentes domésticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/4443/abnt-nbr12614-aguas-determinacao-da-demanda-bioquimica-de-oxigenio-dbo-metodo-de-incubacao-20c-cinco-dias-metodo-de-ensaio> . Acesso em: 27 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14242**: Determina o método de análise de DQO em efluentes líquidos e em banhos residuais. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/11001/abnt-nbr14242-couro-banho-residual-e-efluente-liquido-determinacao-da-demanda-quimica-de-oxigenio-dqo-metodo-de-dicromatometria-por-refluxo-aberto> . Acesso em: 27 fev. 2025.

BUTZEN, E.L. **Biorreator com membrana submersa para tratamento de esgoto de centros comerciais**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2017. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1398> . Acesso em: 12 fev. 2025.

(CONAMA) CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n° 357, 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, 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**: n. 53, Brasília, DF, p. 58-63, 17 mar. 2005. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/vie> . Acesso em: 06 jan. 2025.

(CONAMA) CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n° 430, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n°357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**: n.92, Brasília, DF, p.58-63, 13 mai. 2011. Disponível em: [https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos\\_x/qualidade-da-agua/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-430-de-13-de-maio-de-2011/view](https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos_x/qualidade-da-agua/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-430-de-13-de-maio-de-2011/view) . Acesso em: 06 jan. 2025.

(CPRH) Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Norma Técnica CPRH n° 2.002, de 27 de janeiro de 2000**: Estabelece critérios e padrões para lançamento de cargas orgânicas não industriais em corpos hídricos. Pernambuco: CPRH, 2000b. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/normas-cprh-2002.pdf> . Acesso em: 24 de janeiro de 2025.

(CPRH) Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Norma Técnica CPRH nº 2.001, de 27 de janeiro de 2000**: Estabelece critérios e padrões para lançamento de carga orgânica industrial em corpos hídricos. Pernambuco: CPRH, 2000a. Disponível em:

<https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/normas-cprh-2001.pdf>

Acesso em: 24 de janeiro de 2025.

EUSTÁQUIO, H.S.; ROSSONI, H.A.V. Revisão sistemática de literatura sobre otimização operacional e padronização das atividades das estações de tratamento de águas residuárias: Systematic literature review on operational optimization and standardizing the activities of the effluent treatment system. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 77238-77254, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-032> . Acesso em: 17 fev. 2025.

FAÇANHA NETO, I.F.; FAÇANHA, J.C.R.F.; NOVAES, I.R.M. Práticas sustentáveis no shopping RioMar em Fortaleza/CE / Sustainable practices at shopping RioMar in Fortaleza / CE. **Brazilian Journal of Business**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 3693–3709, 2020. DOI: 10.34140/bjbv2n4-016. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/18720>. Acesso em:

20 de Fevereiro de 2025.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.

LESEUX, E.J. **Utilização de fotólise artificial como alternativa para remoção de contaminantes orgânicos de efluente de estação de tratamento de efluentes (ETE)**. Monografia (Graduação). Curso de Química Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/181124> . Acesso em: 12 fev. 2025.

MARÇAL, D.A.; SILVA, C.E. **Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 761-772, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017148242> . Acesso em: 10 fev. 2025.

NASCIMENTO, R.O. **Avaliação da eficiência das estações de tratamento de esgoto ETE Aureny e ETE Norte no município de Palmas-Tocantins**. 55 f. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/3776> . Acesso em: 10 fev. 2025.

PESSANHA, R.A. **Contaminantes emergentes em águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano no Brasil: uma revisão sistemática da literatura**. 2021. 92 f. Monografia (Graduação) - Curso Superior de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021. Disponível: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1527>. Acesso em: 24 fev. 2025.

VON SPERLING, M., LIMA, E.M.M.N., MORAES, M.A.A. (2020). Um ensaio simples para detectar desvios no desempenho esperado em estações de tratamento de águas residuais de pequena escala, remotas e rurais. **Ciência e Tecnologia da Água**, 82(7), pp. 1380-1392. doi: 10.2166/wst.2020.421. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/deteccao-visual-da-deterioracao-na-qualidade-final-do-e-fluente-de-etes-pequenas/> . Acesso em: 24 nov. 2024.