



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

GEAN BARBOSA DE MELO

**DETERMINAÇÃO E CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS DEMANDA
BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO E CARBONO
ORGÂNICO TOTAL EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

FORTALEZA

2022

GEAN BARBOSA DE MELO

DETERMINAÇÃO E CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS DEMANDA BIOQUÍMICA
DE OXIGÊNIO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO E CARBONO ORGÂNICO
TOTAL EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Orientadora pedagógica: Prof.^a Dra. Maria das Graças Gomes.

Orientadora profissional: Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M485d Melo, Gean Barbosa de.

Determinação e correlação dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total em águas superficiais / Gean Barbosa de Melo. – 2022.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Maria das Graças Gomes.

Coorientação: Profa. Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

1. Águas superficiais. 2. Matéria orgânica. 3. Correlação. I. Título.

CDD 540

GEAN BARBOSA DE MELO

DETERMINAÇÃO E CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS DEMANDA BIOQUÍMICA
DE OXIGÊNIO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO E CARBONO ORGÂNICO
TOTAL EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Bacharelado em Química da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Maria das Graças Gomes (Orientadora pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa (Orientadora profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Prof.^a Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal (Examinadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, o grande Rei do universo.
À vida, o maior presente de todos.
Aos meus pais, Geraldo e Suzana.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os instantes, por me dar a capacidade de realizar este trabalho e pelos milagres que já operou e ainda operará em minha vida. Se hoje estou aqui, a Sua mão me sustentou.

Aos meus pais, Geraldo e Suzana, e irmão, Geovani, por todo apoio, amor e companheirismo ao longo de toda jornada, além de todo esforço, preocupação e orações no período em que estive hospitalizado.

À Lorrane, meu grande amor, que sempre foi e é o meu porto seguro nos momentos mais difíceis, e a responsável pela minha maior e mais sincera felicidade.

Aos meus tios Fernando, Silvana, Eriberto, Iolanda e Evanda, e primos, Elano, Talita, Ernando e Hélio Filho, pelas visitas, ajudas e preocupações durante minha internação e todo o período de recuperação.

À Prof.^a Dra. Maria das Graças Gomes pela orientação, conselhos e todo o ensinamento dado ao longo dos três anos e meio em que estive sob a sua tutoria, no grupo PET Química.

Ao grupo PET Química, por me acolher de forma tão calorosa desde o meu segundo semestre no curso. Agradeço principalmente por me fazer enxergar que a Universidade vai muito além do que eu imaginava e por todo o conhecimento que me foi compartilhado. Nosso grupo se renova com bastante frequência, mas, cada um que passou, deixou a sua contribuição para a construção do profissional e da pessoa que sou hoje. Em especial, agradeço aos petianos que compõem o grupo atualmente: Railson, Larissa, Guilherme, Elisson, Carol, Iasmim, Pedro, Milena, Ashley, Leticia, Raguél e João Pedro, pelo companheirismo, apoio e compreensão no período em que mais precisei.

A todos os profissionais de saúde do hospital Antônio Prudente pelo cuidado, carinho e preocupação comigo nos dias em que estive internado.

Ao NUTEC, pela oportunidade de realizar o estágio, e aos laboratórios LQA e LARSE e seus membros, pelo companheirismo diário e apoio no desenvolvimento deste trabalho. Em especial, agradeço à Paula Luciana, pela orientação, e ao João Pedro, por todo o suporte técnico, pelos conselhos, companheirismo e pela amizade.

A todos que, de alguma forma, marcaram positivamente a minha vida.

“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez.”

- Jean Cocteau.

RESUMO

As águas superficiais são a principal fonte de acesso dos seres vivos à água doce. No Estado do Ceará, esse recurso é relativamente escasso, devido à baixa média pluviométrica anual e o clima semiárido, que favorece a evaporação dessas águas por causa das altas temperaturas. Além disso, os reservatórios desse recurso, dentre eles rios, lagoas e açudes, podem sofrer poluição através de ação natural ou antrópica, diminuindo assim a qualidade da água na região e levando a prejuízos diversos para a população local. Dentre esses rejeitos, a matéria orgânica é a principal carga poluidora depositada, sendo grande parte dela composta por carbono. Desse modo, nesse trabalho determinou-se os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), além de verificar estatisticamente a possibilidade de substituir a DBO e a DQO pelo COT nas amostras estudadas. Assim, analisou-se 11 amostras de águas superficiais da Região Metropolitana de Fortaleza, a fim de quantificar a matéria orgânica presente através da DBO, da DQO e do COT, seguindo os métodos da DBO₅, Colorimétrico em Refluxo Fechado e de Combustão de Alta Temperatura, respectivamente. Comparando-se os resultados com a resolução CONAMA Nº 357/05, para águas de classe 2, verifica-se que apenas 3 amostras se encontram com a DBO acima do limite determinado. Além disso, a época do ano em que essa análise é realizada afeta diretamente o seu resultado. Já em relação aos demais parâmetros, o COT mostrou estabilidade no intervalo de 7 anos, enquanto a DQO apresentou aumento durante o mesmo tempo, o que pode ser indicativo de boa capacidade de autodepuração dos corpos hídricos estudados. Em relação às correlações estatísticas, o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de correlação de Pearson (r) indicaram a impossibilidade de substituição dos parâmetros nas amostras estudadas. Assim, determinou-se os parâmetros DBO, DQO e COT em águas superficiais da RMF, nos quais apenas a DQO apresentou variações significativas. Em águas de classe 2, a resolução CONAMA Nº 357/05 indica que 8 das 11 amostras encontram-se adequadas aos fins a que se destinam, mediante tratamento adequado. Além disso, os testes estatísticos mostraram não ser possível a substituição dos parâmetros DBO e DQO pelo COT nessas amostras, indicando que ambas as análises permanecem sendo essenciais para monitorar a qualidade da água nessa região.

Palavras-chave: águas superficiais; matéria orgânica; correlação.

ABSTRACT

Surface Waters are the main source of access for living beings to fresh water. In the State of Ceará, this resource is relatively low, due to the low average annual rainfall and the semi-arid climate, which favor the evaporation of these waters due to the high temperatures. Moreover, the reservoirs of this resource, including rivers, lakes and dams, can suffer effects through natural or anthropic action, thus observing the quality of the water in the region and leading to various losses for the local population. Among these wastes, organic matter is the main polluting load deposited, a large part of which is composed of carbon. Thus, in this work, the parameters Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Organic Carbon (TOC) were determined, in addition to statistically verifying the possibility of replacing BOD and COD by TOC in the experiments experienced. Thus, 11 samples of surface water from the Metropolitan Region of Fortaleza were analyzed in order to quantify the organic matter present through BOD, COD and TOC, following the methods of BOD₅, Colorimetric in Closed Reflux and High Temperature Combustion, respectively. Comparing the results with CONAMA resolution N° 357/05, for class 2 waters, it is verified that only 3 samples have a BOD above the determined limit. In addition, the time of year in which this analysis is performed directly affected its result. In relation to the other parameters, the TOC showed stability in the 7-year interval, while the COD showed an increase during the same time, which may be indicative of a good capacity for self-purification of the water bodies studied. Regarding the statistical correlations, the coefficient of determination (R^2) and Pearson correlation coefficient (r) indicated the impossibility of replacing the parameters in the studied samples. Thus, the parameters BOD, COD and TOC were determined in surface waters located in the Metropolitan Region of Fortaleza, in which only COD showed significant variations. In class 2 waters, CONAMA resolution N° 357/05 indicates that 8 of the 11 samples are suitable for the purposes for which they are intended, through appropriate treatment. Furthermore, the statistical tests showed that it is not possible to replace the BOD and COD parameters with the TOC in these samples, indicating that both analyzes remain essential to monitor the water quality in this region.

Keywords: surface water; organic matter; correlation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo da água na biosfera terrestre	17
Figura 2 – Distribuição da água na Terra	18
Figura 3 – Frasco de Winkler ou DBO	21
Figura 4 – Estrutura genérica de uma célula de medição de OD: vista externa (a) e vista interna (b)	22
Figura 5 – Oxímetro portátil	29
Figura 6 – Incubadora BOD	30
Figura 7 – Termo reator DQO	31
Figura 8 – Espectrofotômetro	31
Figura 9 – TOC-L acoplado ao OCT-L	32
Figura 10 – Curvas de calibração do CT (a) e do CIT (b)	33
Figura 11 – Exemplo da disposição dos dados de CT ou CIT de cada amostra analisada pelo TOC-L	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação entre a DBO das amostras e o limite da resolução	36
Gráfico 2 – Curva de calibração do parâmetro DQO	38
Gráfico 3 – Correlação entre os parâmetros DBO e COT	42
Gráfico 4 – Correlação entre os parâmetros DQO e COT	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos para os 10 brancos realizados em cada parâmetro analisado	35
Tabela 2 – Resultados para o parâmetro DBO	36
Tabela 3 – Resultados da análise dos padrões de biftalato de potássio	38
Tabela 4 – Resultados para o parâmetro DQO	39
Tabela 5 – Resultados para o parâmetro COT	40
Tabela 6 – Resultados utilizados para as correlações estatísticas entre os três parâmetros estudados	41
Tabela 7 – Análises estatísticas básicas dos dados correlacionados	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Disponibilidade de água doce dos Estados em metros cúbicos por habitante ao ano	19
Quadro 2 – Resultados de DBO obtidos através da análise de um rio localizado na RMF	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIT	Carbono Inorgânico Total
COT	Carbono Orgânico Total
CT	Carbono Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
LARSE	Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
LQA	Laboratório de Química Ambiental
NDIR	<i>Nondispersive Infrared Sensor</i> - Detector de Infravermelho Não Dispersivo
NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
OD	Oxigênio Dissolvido
PIB	Produto Interno Bruto
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Água	17
3.1.1	Águas Superficiais	18
3.2	Matéria Orgânica	20
3.3	Oxigênio Dissolvido	21
3.4	Demanda Bioquímica de Oxigênio	23
3.5	Demanda Química de Oxigênio	24
3.6	Carbono Orgânico Total	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	Limites de Quantificação e Detecção	28
4.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio	29
4.3	Demanda Química de Oxigênio	30
4.3.1	<i>Preparo da solução digestora</i>	30
4.3.2	<i>Preparo da solução catalítica</i>	30
4.3.3	<i>Procedimento</i>	31
4.3.4	<i>Curva de calibração</i>	31
4.4	Carbono Orgânico Total	32
4.4.1	<i>Curva de calibração</i>	33
4.5	Análise Estatística	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Limites de Quantificação e Detecção	35
5.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio	35
5.3	Demanda Química de Oxigênio	38
5.4	Carbono Orgânico Total	40
5.5	Quantificação da Matéria Orgânica	41
5.6	Análise Estatística	41
6	CONCLUSÃO	45

REFERÊNCIAS	46
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para o estabelecimento e a manutenção da vida na Terra, sendo cerca de 70% da superfície do Planeta recoberta por ela, além de que todos os seres vivos têm entre 75% e 85% dessa molécula na composição de seus organismos. Devido às suas propriedades físicas e químicas, como elevada tensão superficial, faixa de temperatura de 100 °C em que permanece no estado líquido e sua atuação como solvente universal, a água possibilita a existência de fenômenos essenciais para a vida humana, por exemplo a realização da fotossíntese e a regulação térmica do Planeta (GOMES, 2011; SANTANA; FREITAS, 2012).

É importante ressaltar que, além de atender às necessidades básicas humana, os recursos hídricos também são indispensáveis em diversos setores da economia mundial. Nas indústrias, por exemplo, a água pode ser utilizada para a geração de energia, como transportadora de calor, na incorporação de subprodutos industriais etc. Em relação ao Brasil, 62,7% da água consumida é destinada à agricultura (FRANCISCO, 2009), que abastece os mercados interno e externo com a produção de *commodities*. Esse setor corresponde a aproximadamente um terço do Produto Interno Bruto (PIB), um quinto dos empregos gerados e metade das exportações do país (VIEIRA FILHO, 2022).

Apesar de o planeta dispor de grande quantidade de água, somente cerca de 2,5% de sua totalidade é considerada doce. Desse percentual, apenas 0,26% correspondem às águas doces superficiais, que são uma das principais fontes de consumo humano (GOMES, 2011). Somado a esses fatores, o Estado do Ceará, assim como os demais estados da região nordeste do Brasil, sofre com constantes desabastecimentos de seus reservatórios de água, devido aos longos períodos de seca decorrentes do regime pluviométrico irregular (CABRAL, 2020).

No estado do Ceará, além da água doce ser naturalmente escassa, parte dela encontra-se imprópria para suas finalidades. A resolução CONAMA N° 357/05 estabelece os parâmetros físico-químicos a serem seguidos em cada classe de água superficial, para que sejam destinadas às atividades de interesse com segurança. De acordo com Gardiman Junior (2015), as principais fontes de poluição dos corpos hídricos são efluentes domésticos, efluentes industriais e outros tipos de efluentes lançados em grande escala.

Dentre esses rejeitos, grande parte é composta por matéria orgânica, que, quando em excesso, reduz o teor de Oxigênio Dissolvido (OD) do corpo hídrico, podendo levar à sua eutrofização. Assim, as análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) têm grande importância no monitoramento indireto das

concentrações de matéria orgânica das águas superficiais, sendo utilizadas com grande recorrência.

Com isso, esse trabalho tem a finalidade de quantificar e correlacionar estatisticamente os parâmetros DBO, DQO e Carbono Orgânico Total (COT), em amostras de águas superficiais do Estado do Ceará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar a Demanda Bioquímica de Oxigênio, a Demanda Química de Oxigênio e o Carbono Orgânico Total em águas superficiais, e estabelecer as correlações estatísticas entre esses parâmetros.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar amostras de águas superficiais localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, no estado do Ceará.
- Quantificar a matéria orgânica das amostras de forma indireta, através das análises de DBO e DQO, e direta, por meio do COT.
- Verificar, estatisticamente, a possibilidade de substituir os parâmetros DBO e DQO pelo COT, em águas superficiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água

A água é uma molécula simples, composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. O oxigênio é o átomo central e realiza uma ligação covalente com cada hidrogênio, restando dois pares de elétrons livres (GOMES e CLAVICO, 2005). Devido à repulsão eletrostática existente entre os pares de elétrons não-ligantes do oxigênio e os ligantes oxigênio-hidrogênio, essa molécula tem geometria angular, com ângulo de $104,5^\circ$ entre ambos os hidrogênios (MIESSLER; FISCHER; TARR, 2014).

Devido à diferença de eletronegatividade nas ligações O-H e à presença de pares de elétrons livres, a água possui um grande momento dipolar, o que a torna uma molécula polar (MIESSLER; FISCHER; TARR, 2014). Os dipolos positivos, nos átomos de hidrogênio, e negativo, na região do átomo de oxigênio e dos elétrons livres, possibilitam a atração eletrostática dos dipolos de cargas opostas entre as moléculas de água, o que resulta na ligação de hidrogênio. Sem essa interação intermolecular, o ponto de ebulição da água poderia chegar a -80°C , impossibilitando sua existência no estado líquido na superfície terrestre. Enquanto compostos similares encontram-se na natureza apenas na forma gasosa, a água está presente nos estados sólido, líquido e vapor (GOMES e CLAVICO, 2005), o que possibilita, por exemplo, a existência do ciclo da água no Planeta (FIGURA 1).

Figura 1 – Ciclo da água na biosfera terrestre.

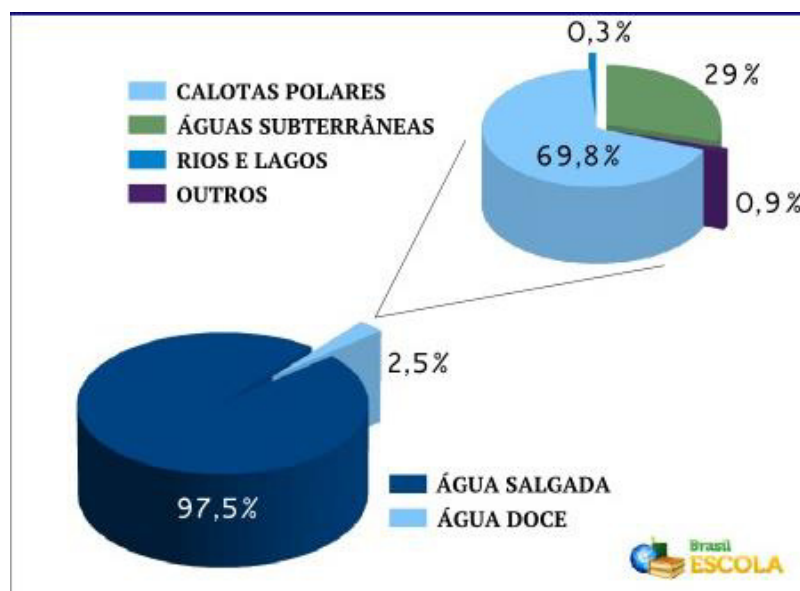


Fonte: Escola Kids (2022).

Por suas propriedades, a água dissolve grande parte das espécies químicas existentes, sendo considerada o solvente universal. Dessa forma, ela atua diretamente em diversos processos químicos e biológicos, também dissolvendo e transportando nutrientes e rejeitos (CABRAL, 2020). Além disso, a água é a única substância que tem maior densidade no estado líquido do que no sólido, sendo esse valor máximo a 4 °C, e possui elevada capacidade térmica, sendo a principal responsável pela estabilidade térmica da Terra (GOMES e CLAVICO, 2005).

Cerca de 70% da superfície da Terra é constituída por água. Porém, 97,5% do total é de água salgada, enquanto apenas 2,5% é água doce. Deste pequeno percentual, somente cerca de 0,26% corresponde às águas superficiais, representadas pelos rios e lagos, conforme a Figura 2 (GOMES e CLAVICO, 2005; GOMES, 2011).

Figura 2 – Distribuição da água na Terra.



Fonte: Brasil Escola (2022), com adaptações.

O Brasil se encontra em posição privilegiada em relação à disponibilidade de recursos hídricos, visto que 10% da água doce do Planeta está presente em seu território (GOMES e CLAVICO, 2005). A importância da água doce não se resume ao consumo humano e de outros seres vivos, mas também por ser essencial para as atividades industriais e agropecuárias (CABRAL, 2020).

3.1.1 Águas superficiais

As águas superficiais são as águas que se acumulam na superfície terrestre. Dessa forma, elas estão em interação constante com o solo e a atmosfera, sendo sujeitas a fatores climáticos, topográficos, vegetais e às propriedades hidráulicas do solo. Essa classe é representada pelos rios, açudes, lagos, pântanos, mares etc., o que inclui águas doces e salgadas (FERREIRA, 2017; KOCH *et al.*, 2017).

Os corpos de água doce superficiais representam apenas cerca de 0,26% de toda a água da Terra, mas, apesar da pequena porcentagem, são as principais fontes de abastecimento (FERREIRA, 2017; GOMES, 2011). O Brasil, apesar de concentrar grande parcela da água doce do mundo, tem esse recurso mal distribuído ao longo de seu território. A região Norte, por exemplo, concentra aproximadamente 68% dos recursos hídricos do país, enquanto possui menos de 7% da população nacional. Em contrapartida, as duas regiões mais populosas, Sudeste e Nordeste, têm, respectivamente, apenas 6% e 3% da água doce disponível (PENA, s.d.).

Segundo o Relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, publicado no ano de 2017, na região Nordeste estão 83% das pessoas afetadas pelas secas, ocorridas entre os anos de 2013 e 2016 (ANA, 2017). O Quadro 1 mostra como estão distribuídos os recursos hídricos, de forma *per capita*, nos 26 Estados e no Distrito Federal, na qual 6 dos 9 Estados da região Nordeste se encontram em situação pobre ou crítica, incluindo o Ceará.

Quadro 1 – Disponibilidade de água doce dos Estados em metros cúbicos por habitante ao ano.

Disponibilidade hídrica per capita (m³/hab/ano)	Estados	Situação
> 20.000	AC, AM, AP, GO, MS, MT, PA, RO, RR, RS e TO	Riquíssimo
> 10.000	MA, MG, SC E PR	Muito rico
> 5.000	ES e PI	Rico
> 2.500	BA e SP	Situação adequada
< 2.500	CE, RJ, RN, DF, AL e SE	Pobres
< 1.500	PB e PE	Situação crítica

Fonte: Brasil Escola (2022).

Sabe-se que os principais setores econômicos do Brasil demandam grande quantidade de água, sendo 62,7% de sua água doce consumida na agricultura, 14,0% na indústria e 5,4% em dessedentação animal (FRANCISCO, 2009). Além do turismo e do comércio, a agropecuária e as indústrias têm importante papel na economia do Nordeste. Com as constantes secas na região, a disponibilidade hídrica para a produção de bens diminui, o que prejudica as economias de seus Estados (ANA, 2017; MAGALHÃES, 2019).

Para as águas superficiais, a resolução CONAMA N° 357/05 apresenta padrões a serem seguidos. Com relação às águas doces, a resolução apresenta limites para diversos parâmetros físico-químicos, dentre eles os materiais em suspensão, óleos e graxas, cor verdadeira, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO5, Oxigênio Dissolvido (OD), clorofila a, fósforo total etc., além de certos metais e compostos orgânicos. Desse modo, é essencial que esses parâmetros sejam analisados, para que essas águas recebam o tratamento adequado e sejam utilizadas com segurança aos fins a que se destinam (BRASIL, 2005).

3.2 Matéria orgânica

A matéria orgânica presente na água pode ter origem natural, a partir de resíduos animais e vegetais, ou ser introduzida no corpo hídrico, geralmente através da ação antrópica, como o depósito de efluentes domésticos ou industriais (CETESB, 2022). De forma geral, a matéria orgânica é composta principalmente por derivados de carbono orgânico, além de compostos de fósforo e nitrogênio.

A biodegradação da matéria orgânica ocorre através da ação de microrganismos, que pode ser por via aeróbica (com oxigênio) ou anaeróbica (sem oxigênio), na qual o processo aeróbico é energeticamente mais favorável. Assim, em um meio oxigenado qualquer, os microrganismos aeróbicos decompõem as espécies orgânicas através do consumo do oxigênio presente, levando à diminuição do teor de Oxigênio Dissolvido (OD) da água (CETESB, 2022; MORAES, 2022).

Além disso, a degradação dos compostos orgânicos libera nutrientes para o corpo hídrico, principalmente nitrogênio e fósforo, elevando as suas concentrações no meio. Essas espécies químicas favorecem o crescimento de algas, cianobactérias, macrófitas etc., que causam alterações em parâmetros físico-químicos da água, como a cor e a turbidez. Dessa forma, a luz solar tem maior dificuldade de adentrar nesse meio, diminuindo assim a produção de oxigênio das plantas aquáticas, realizada por meio da fotossíntese. Esses fatores, somados ao consumo de oxigênio pelos microrganismos aeróbicos, podem levar ao estado de

eutrofização, ocasionando a morte de espécies aquáticas e do próprio corpo hídrico, a depender do grau de eutrofização ao qual esse ambiente está submetido (CABRAL, 2020; CETESB, 2022).

3.3 Oxigênio Dissolvido

A medida do teor de OD de um corpo hídrico é uma análise importante para indicar a qualidade dessa água. É fato que o oxigênio é essencial para a manutenção da vida aquática, e sua solubilidade em água é naturalmente baixa, podendo ser ainda menor a depender da temperatura, pressão ou salinidade do meio. Dessa forma, o OD representa as condições de vida nesse ambiente, além de influenciar nos deslocamentos das espécies que o habitam (BRANDELERO; SIQUEIRA; LIMA, 2010; MENDONÇA; GONÇALVES; RIGUE, 2020).

Vale ressaltar que o oxigênio não apenas é fundamental para as espécies aquáticas macroscópicas, mas que também faz parte do metabolismo de microrganismos aeróbicos. Esses micróbios, por sua vez, degradam a matéria orgânica presente no meio, utilizando o oxigênio comoceptor de elétrons, diminuindo então a sua concentração na água. Assim, é essencial que o OD esteja presente em quantidades razoáveis no ambiente aquático, pois, quanto maior for a concentração de OD no corpo hídrico, maior a sua capacidade natural de autodepuração, ou seja, a capacidade de eliminar os resíduos biodegradáveis (BRANDELERO; SIQUEIRA; LIMA, 2010; MENDONÇA; GONÇALVES; RIGUE, 2020).

Para determinar o teor de OD em águas, a literatura apresenta dois métodos: o iodométrico e o eletrométrico (APHA, 2017), sendo que em ambos a amostra deve ser armazenada em um frasco de Winkler (FIGURA 3), também chamado de frasco DBO, que é hermeticamente fechado.

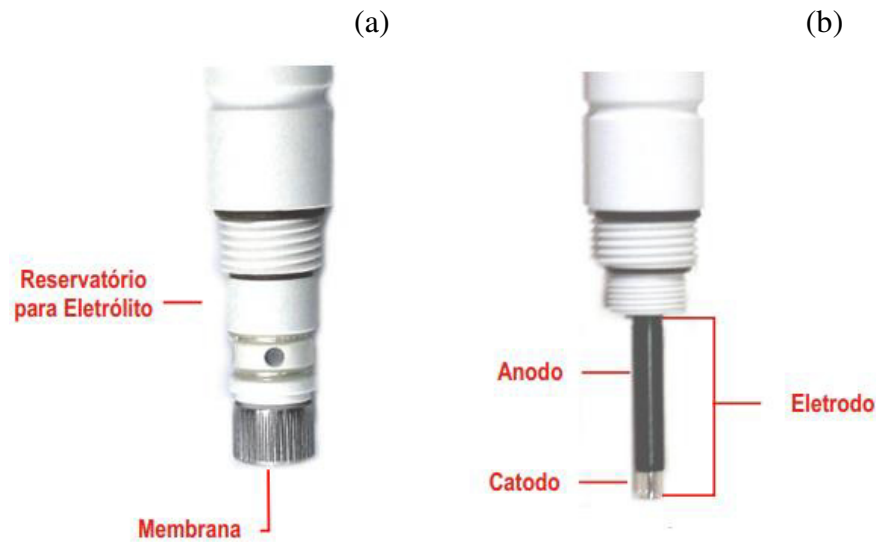
Figura 3 – Frasco de Winkler ou DBO.



Fonte: MELO (2021).

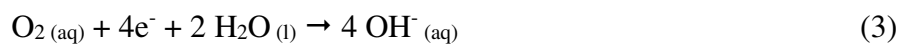
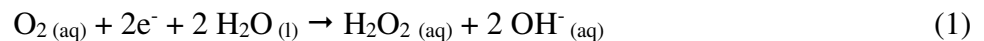
O método eletrométrico é o mais utilizado na atualidade para medir OD em corpos hídricos, visto que a análise é rápida, com boa precisão e com a possibilidade de realizar a medida *in loco*. Nele, utiliza-se uma célula com membrana seletiva à passagem de oxigênio (FIGURA 4), composta por um cátodo e um ânodo imersos em um eletrólito, que normalmente é uma solução de cloreto de potássio (KCl) (DIGIMED, s.d.; FERREIRA, 2007).

Figura 4 – Estrutura genérica de uma célula de medição de OD: vista externa (a) e vista interna (b).



Fonte: DIGIMED (s.d.), com adaptações.

O cátodo consiste em um metal nobre, geralmente platina (Pt) ou ouro (Au), onde o oxigênio difundido sofre redução. Esse processo tem dois caminhos possíveis: em duas etapas com o intermediário peróxido de hidrogênio (H₂O₂), mostrado pelas reações 1 e 2, ou em uma etapa simples, conforme a reação 3. A corrente elétrica gerada, devido à redução do oxigênio, é diretamente proporcional à concentração dessa espécie no meio, permitindo assim a sua quantificação (FERREIRA, 2007).



Por sua vez, a composição do ânodo define se o eletrodo é galvânico ou polarográfico. Caso seja do tipo galvânico, metais como Zn, Cd, Al e Pb são utilizados, nos quais, em contato com o cátodo, a corrente elétrica surge espontaneamente, devido à diferença

de potencial positiva estabelecida entre os pares redox O_2/OH^- e M^0/M^+ . Já se a célula for polarográfica, o processo de oxirredução não ocorre de forma espontânea. Para isso, é necessária a aplicação de um potencial externo ao sistema, de aproximadamente 800 mV, e os eletrodos Ag/AgCl e Ag/Ag⁺ são os mais utilizados como ânodos nessa classe (C2O, s.d.; DIGIMED, s.d.; FERREIRA, 2007).

De forma geral, esse método é indicado quando é inviável utilizar o método iodométrico. Isso ocorre principalmente quando há interferentes na amostra, em águas com alto índice de cor ou se há a necessidade de realizar a análise *in loco* (APHA, 2017).

3.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa o consumo de OD da amostra por microrganismos aeróbicos para decomposição da matéria orgânica presente no corpo d'água. De maneira geral, essa análise visa replicar em laboratório os fenômenos que acontecem no ambiente aquático. Assim, esse parâmetro permite a determinação indireta da matéria orgânica biodegradável, através da medida da diminuição do teor de oxigênio ao fim da duração da análise. A partir desses dados, é possível determinar o grau de poluição do ambiente aquático, pois um alto valor de DBO significa grande quantidade de matéria orgânica biodegradável depositada no meio, visto que os microrganismos demandam mais oxigênio para a sua oxidação (MELO JÚNIOR *et al.*, 2018; VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Quando a matéria orgânica se encontra em excesso no corpo hídrico, ocorre o consumo do OD acima da capacidade de reposição do meio, afetando assim a sua autodepuração. Essa elevada taxa de DBO impacta diretamente a biodiversidade local, em especial os seres que demandam maiores quantidades de oxigênio para a sobrevivência, sendo uma das principais causas da mortandade de peixes. Se o ambiente aquático mantiver os baixos níveis de OD, a presença de microrganismos anaeróbicos será favorecida e a degradação da matéria orgânica ocorrerá pela via sem oxigênio, o que resulta na produção de gases com odor desagradável, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) (BRANDELERO; SIQUEIRA; LIMA, 2010; MELO JÚNIOR *et al.*, 2018).

Dentre os métodos presentes na literatura, a DBO medida em 5 dias é a mais utilizada, por apresentar boa aproximação com a DBO total. Esse método consiste na medição do OD da amostra logo após a coleta, seguida de sua incubação por 5 dias a uma temperatura de 20 ± 1 °C e na ausência de luz, realizando-se uma nova medida de OD após esse período.

Vale ressaltar que o pH das amostras deve estar na faixa de 6,0 - 8,0, caso contrário a correção desse parâmetro é necessária (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Se a concentração de matéria orgânica na água ou efluente de estudo for elevada, pode ser necessário realizar diluições e introduzir nutrientes para os microrganismos presentes. Em casos específicos, como em efluentes industriais, a presença de microrganismos é mínima, sendo também necessária a adição de “sementes”, ou seja, microrganismos aeróbicos que realizarão a oxidação da amostra (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

3.5 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) indica indiretamente a quantidade de oxigênio consumida para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, além de minerais e outras espécies presentes na amostra. Essa análise é realizada mediante a ação de um agente oxidante forte, em meio ácido e sob temperatura de 140 – 150 °C por cerca de 2 horas, tendo íons prata como catalisadores da digestão (APHA, 2017; VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997; ZUCCARI; GRANER; LEOPOLDO, 2005).

Esse parâmetro tem grande importância no estudo de águas, já que possibilita compreender os impactos do despejo de efluentes domésticos e industriais em corpos hídricos. Além disso, essa análise tem como principal vantagem a agilidade, visto que demanda um tempo próximo a 2 horas para a sua realização, enquanto o seu parâmetro equivalente, a DBO, demanda 5 dias (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997; ZUCCARI; GRANER; LEOPOLDO, 2005).

Dentre os agentes oxidantes utilizados na realização dessa análise, o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) é a espécie de maior destaque. O cromo é um metal pesado, e seu estado hexavalente possui elevada toxicidade, pois é carcinogênico e pode causar irritação severa das vias aéreas (Cheis, 2013). Apesar desses problemas, essa espécie tem algumas vantagens inerentes à sua utilização, por exemplo o fato de o dicromato de potássio ser padrão primário, ao contrário de outros oxidantes fortes, como o permanganato, além de ter preço acessível e haver a possibilidade de determinar o seu excesso por titulação, através da volumetria de retorno (ZUCCARI; GRANER; LEOPOLDO, 2005).

Nas condições estabelecidas pela análise, o dicromato oxida grande parte das espécies químicas da amostra, na qual, de forma geral, a maior parcela é composta por matéria orgânica. Esse processo ocorre de acordo com a reação 4, que representa uma reação

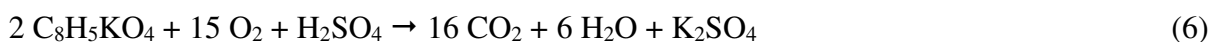
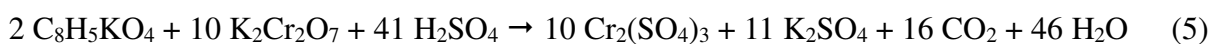
genérica para a degradação de compostos de carbono, onde: $n = 4x + y - 2z$ (ZUCCARI; GRANER; LEOPOLDO, 2005).



Desse modo, a literatura apresenta os dois principais métodos para a determinação desse parâmetro: o titulométrico e o colorimétrico (APHA, 2017). O método colorimétrico baseia-se no fato de que ambas as formas do cromo presentes, de Cr^{3+} ou Cr^{6+} , são coloridas, logo absorvem luz na região do visível. O cromo Cr^{3+} tem coloração verde e absorve luz na região de sua cor complementar, em 600 nm. Já o cromo Cr^{6+} é alaranjado, e a sua quantificação é realizada em 420 nm, na região da cor violeta (APHA, 2017; POHLING, 2009).

Assim, esse método utiliza um espectrofotômetro para quantificar o cromo Cr^{3+} , formado pela oxidação da matéria orgânica, ou o cromo Cr^{6+} em excesso, na forma de dicromato. Se as amostras possuírem baixo teor de DQO (até 90 mg $O_2.L^{-1}$), deve-se realizar a leitura na faixa de 420 nm, visto que a maior parte do cromo presente permanecerá como dicromato. Caso esse teor supere 90 mg $O_2.L^{-1}$, o cromo estará, em sua maior parcela, na forma de cromo Cr^{3+} e a leitura deve ser realizada na faixa de 600 nm (APHA, 2017; POHLING, 2009).

A fim de se obter a correlação entre os valores de absorbância fornecidos pelo equipamento e os teores de DQO, é necessária a construção de uma curva de calibração a partir de um padrão com demanda de oxigênio bem determinada. A utilização do biftalato de potássio ($C_8H_5KO_4$) é sugerida pela literatura, por ser um reagente padrão primário. Amostras com concentrações conhecidas desse reagente são oxidadas pelo dicromato nas condições padrão da análise, como mostra a reação 5. Além disso, é possível estabelecer a relação estequiométrica da concentração de biftalato de potássio com a DQO, através da reação 6, na qual 1 mg. L^{-1} de biftalato de potássio equivale a 1,176 mg $O_2.L^{-1}$ (APHA, 2017; POHLING, 2009).



Vale ressaltar que a curva de calibração deve apresentar linearidade entre os pontos, e que, se a análise for realizada em 420 nm, o gráfico será decrescente, pois a concentração de dicromato tende a diminuir conforme a concentração do composto oxidável aumenta. Na situação oposta, a curva será crescente, já que a concentração de cromo 3+ no meio tende a aumentar com o aumento da concentração do reagente. (POHLING, 2009).

De maneira geral, os principais interferentes da DQO são as espécies que inibem a ação catalítica da prata, sendo o cloreto a mais comum, pois precipita os cátions prata na forma de cloreto de prata. Para inibir esse interferente, pode-se adicionar sulfato de mercúrio à amostra, que age complexando os ânions cloretos. Uma alternativa é precipitá-los através da adição de prata, centrifugando ou filtrando as amostras antes da digestão para a remoção do precipitado (APHA, 2017).

3.6 Carbono Orgânico Total

O Carbono Orgânico Total (COT) quantifica as parcelas de carbono dissolvido e não dissolvido da matéria orgânica, em amostras de água ou de solo. Esse parâmetro é largamente utilizado na caracterização de águas e efluentes, sendo essencial em diversos segmentos industriais, como na indústria farmacêutica. Nela, o COT indica a qualidade da água de uso farmacêutico e a eficiência do processo de limpeza dos equipamentos, de modo que não deve existir resíduos de princípios ativos ou de sanitizantes (BENEDETTI, 2012; PEREIRA, 2016).

De maneira geral, o COT é uma análise rápida, que demanda apenas alguns minutos, pequenas alíquotas e dispensa o uso de reagentes tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente. Sua determinação em ambiente aquático pode indicar o nível de poluição do meio e a presença de contaminantes em geral. Como em águas o teor de carbono elementar é muito pequeno, o Carbono Total (CT) é dado pela soma do COT com o Carbono Inorgânico Total (CIT) da amostra, logo $COT = CT - CIT$ (BENEDETTI, 2012; PEREIRA, 2016).

Em comparação com parâmetros semelhantes, como a DBO e a DQO, o COT é o único que determina a matéria orgânica de forma direta, visto que as outras duas análises medem a diminuição de oxigênio e a quantidade de oxidante utilizada para degradar as espécies presentes na amostra, respectivamente (BENEDETTI, 2012; PEREIRA, 2016). Porém, o COT não mede outras espécies orgânicas presentes, como compostos nitrogenados, e nem compostos inorgânicos, que podem contribuir para a demanda de oxigênio do meio (APHA, 2017).

Os métodos para a determinação do COT na literatura utilizam altas temperaturas, catalisador metálico e oxigênio ou radiação ionizante a temperaturas mais brandas. No método de Combustão de Alta Temperatura, uma alíquota é injetada em um reator contendo um catalisador oxidativo, como óxido de cobalto, e o CT é oxidado a dióxido de carbono e água. Esse CO₂ gerado é removido da amostra e transportado por um gás de arraste a um Detector de Infravermelho Não Dispersivo – *Nondispersive Infrared Sensor* (NDIR), onde é medido. Na sequência, uma nova alíquota é injetada em um segundo reator, onde é acidificada com ácido ortofosfórico (H₃PO₄) ou ácido sulfúrico (H₂SO₄). Considerando que toda a fração de carbono inorgânico se encontra na forma de carbonato ou bicarbonato, o CIT reage em meio ácido, produzindo CO₂, que também é transportado pelo gás de arraste e medido pelo NDIR. A partir das medidas do CT e do CIT, o COT é determinado de forma indireta (APHA, 2017; PEREIRA, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental (LQA) e no Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes (LARSE), localizados no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC). Foram analisadas onze amostras de águas superficiais (dentre rios e lagoas), nomeadas de A1 a A11, localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), no estado do Ceará.

As coletas foram realizadas no mês de setembro do ano de 2022, conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011). As análises seguiram as metodologias descritas pelo *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), as quais foram realizadas em duplicata, sendo os resultados o cálculo de suas médias.

4.1 Limites de Quantificação e Detecção

O Limite de Quantificação (LQ) e o Limite de Detecção (LD) dos parâmetros foram calculados de acordo com o Documento de Orientação Sobre Validação de Métodos Analíticos, DOQ-CGCRE-008 (INMETRO, 2011). Para isso, realizou-se 10 replicatas do branco para cada parâmetro, e analisou-se seguindo os passos de cada método na literatura utilizada (APHA, 2017).

A partir dos dados obtidos, o LQ de cada técnica foi estimado com base nos seus desvios padrões, através da equação 7. Para o COT, o LQ da análise de CIT teve de ser calculado pela equação 8, visto que o desvio padrão amostral diferente de zero é requisito para que a equação 7 seja utilizada. Por fim, os LDs foram calculados a partir dos LQs, por meio da equação 9 (INMETRO, 2011).

$$LQ = \bar{X} + 10.s \quad (7)$$

Onde:

\bar{X} : média dos valores dos brancos;

s: desvio padrão amostral dos brancos.

$$LQ = 10 s / b \quad (8)$$

Onde:

b: coeficiente angular da curva de calibração.

$$LD = LQ / 3,3 \quad (9)$$

4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Realizou-se o método da DBO-5 com diluições das amostras de 50% e 25%. Devido à coloração intensa de algumas amostras, optou-se pelo método eletrométrico para a medição dos ODs inicial e final. Para isso, utilizou-se um medidor de oxigênio portátil da marca Digimed, modelo DM-40P, cuja célula é do tipo polarográfica, composta por um cátodo de Pt e um ânodo de Ag (FIGURA 5).

Figura 5 – Oxímetro portátil.



Fonte: Autor.

As amostras foram mantidas durante os 5 dias de análise em uma incubadora BOD modelo LUCA-161/01, da marca Lucadema (FIGURA 6), sob temperatura de 20 ± 1 °C, na ausência total de luz e com renovação diária do selo hídrico na tampa do frasco de Winkler. Como os pHs das amostras se encontravam na faixa de 6,0 a 8,0, não houve a necessidade de correção. Os resultados são expressos na unidade padrão do parâmetro, $\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

Figura 6 – Incubadora BOD.



Fonte: Autor.

4.3 Demanda Química de Oxigênio

4.3.1 Preparo da solução digestora

Inicialmente, pesou-se em uma balança analítica uma quantidade superior a 10,216g de dicromato de potássio P.A., secando-se por 2h em estufa entre 100 e 105°C e, na sequência, resfria-se em um dessecador. Do reagente seco, pesou-se 10,216g e, em seguida, 33g de sulfato de mercúrio P.A., sendo ambos diluídos em 167 mL de ácido sulfúrico P.A. Por fim, adicionou-se 500mL de água destilada e aferiu-se o seu volume para 1 L em um balão volumétrico, armazenando-se a solução em frasco âmbar (APHA, 2017).

4.3.2 Preparo da solução catalítica

Pesou-se 10,12g de sulfato de prata P.A. e diluiu-se em ácido sulfúrico P.A., aferindo-se o seu volume para 1 L em um balão volumétrico. A solução deve ser deixada em repouso entre 1 e 2 dias, para que haja a completa dissolução do soluto. Após isso, transferiu-se a solução para um frasco âmbar.

4.3.3 Procedimentos

Devido à elevada concentração de cloreto nas amostras, fez-se necessário um pré-tratamento com nitrato de prata P.A. em alíquotas de 10,0 mL, a fim precipitar quantitativamente esses íons na forma de cloreto de prata, seguido de centrifugação a 3000 rpm por 1 minuto. Na sequência, retirou-se a alíquota de 2,5 mL do sobrenadante e adicionou-se a um tubo de ensaio com tampa de rosca, seguido de 1,5 mL da solução digestora e 3,5 mL da solução catalítica, realizando-se em seguida os demais procedimentos estabelecidos pela literatura do Método Colorimétrico em Refluxo Fechado.

As amostras foram digeridas por 2 horas, a 150 °C, em um termoreator para DQO da marca Solab, modelo SL-16/30 Dry Block (FIGURA 7). Por fim, após o resfriamento, realizou-se as leituras em um espectrofotômetro UV-1900i da marca Shimadzu (FIGURA 8), no comprimento de onda de 600 nm, devido aos teores de DQO serem superiores a 90 mg O₂.L⁻¹.

Figura 7 – Termo reator DQO.



Fonte: Autor.

Figura 8 – Espectrofotômetro.



Fonte: Autor.

4.3.4 Curva de calibração

Pesou-se 0,2000 g de biftalato de potássio P.A. Na sequência, transferiu-se quantitativamente o conteúdo pesado para um balão volumétrico de 200,0 mL e aferiu-se o seu volume com água Milli-Q, de modo que se obteve uma solução estoque de 1000 ppm. A partir dela, foram realizadas as diluições, em água Milli-Q, para se obter as seguintes

concentrações: 50; 100; 200; 300 e 400 mg.L⁻¹. Conforme a relação estequiométrica (6), 1 mg.L⁻¹ de biftalato de potássio equivale a 1,176 mg de O₂.L⁻¹. Desse modo, as soluções equivalem a 58,8; 117,6; 235,2; 352,8 e 470,4 mg de O₂.L⁻¹, respectivamente.

As 5 soluções e 2 brancos (água Milli-Q) foram analisados seguindo os procedimentos do Método Colorimétrico em Refluxo Fechado, com alíquotas de 2,5 mL, e tiveram suas absorvâncias lidas no mesmo espectrofotômetro utilizado para a análise das amostras, no comprimento de onda de 600 nm. Os valores, obtidos em mg O₂.L⁻¹, foram plotados em um gráfico no *software* Excel, onde foram determinados a equação da reta e o seu coeficiente de determinação (R²).

4.4 Carbono Orgânico Total

As 11 amostras e o branco foram analisados pelo método de Combustão de Alta Temperatura. Para isso, utilizou-se um analisador de COT modelo TOC-L, da marca Shimadzu, acoplado a um autoamostrador OCT-L de mesma marca (FIGURA 9). O equipamento utilizado realiza as medidas de COT de maneira indireta, a partir da medição do CT e do CIT em duplicata, fornecendo os seus resultados em mg C.L⁻¹.

Figura 9 – TOC-L acoplado ao OCT-L.



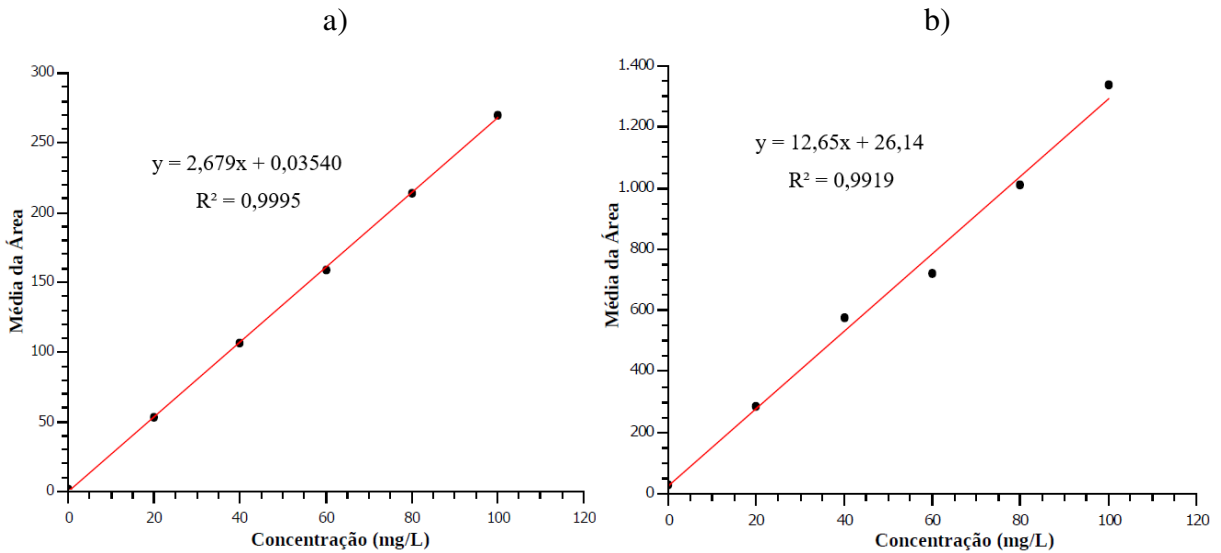
Fonte: Autor.

Para que a leitura fosse realizada, adicionou-se os 8 capilares do autoamostrador a 8 amostras, e o capilar do branco em um recipiente com água Milli-Q, através dos quais as amostras e o branco são injetados nos reatores do equipamento. Na análise do CT, utilizou-se alíquotas de 50 µL. Já para a determinação do CIT, foram injetados 270 µL.

4.4.1 Curva de calibração

O equipamento realizou o cálculo das concentrações de CT e CIT a partir das curvas de calibração do laboratório em que essas análises foram realizadas (LARSE), desenvolvidas por Moraes (2022), e presentes na Figura 10. Os resultados são apresentados pelo equipamento de acordo com a medida de CT presente na Figura 11.

Figura 10 – Curvas de calibração do CT (a) e do CIT (b).



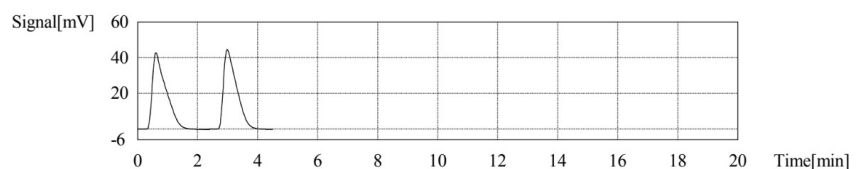
Fonte: MORAES (2022), com adaptações.

Figura 11 – Exemplo da disposição dos dados de CT ou CIT de cada amostra analisada pelo TOC-L.

Anal.: TC

No.	Area	Conc.	Inj. Vol.	Aut. Dil.	Ex.	Cal. Curve	Date / Time
1	134.9	50.34mg/L	50µL	1.000		CALIBRAÇÃO-TC-L-ALE.2022_05_11_11_13_50.cal	27/09/2022 09:36:37
2	134.7	50.26mg/L	50µL	1.000		CALIBRAÇÃO-TC-L-ALE.2022_05_11_11_13_50.cal	27/09/2022 09:39:05

Mean Area 134.8
Mean Conc. 50.30mg/L



Fonte: Autor.

4.5 Análise Estatística

As análises estatísticas e a plotagem dos gráficos foram realizadas nos *softwares* R versão 4.2.2, Rstudio e no Microsoft Excel 2022. Verificou-se a correlação entre as variáveis DBO x COT e DQO x COT através do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de determinação (R^2) das regressões lineares.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Limites de Quantificação e Detecção

O cálculo dos Limites de Quantificação e Detecção é essencial para determinar as concentrações em que o analito pode ser quantificado e detectado em cada método, com precisão e exatidão aceitáveis (INMETRO, 2011). Os resultados obtidos pela análise dos 10 brancos de cada parâmetro, nomeados de B1 a B10, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores obtidos para os 10 brancos realizados em cada parâmetro analisado.

Brancos	DBO (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	CT (mg C/L)	CIT (mg C/L)
B1	0,18	153,25	0,3048	0,0000
B2	0,22	144,00	0,3466	0,0000
B3	0,26	163,75	0,3356	0,0000
B4	0,19	152,25	0,3313	0,0000
B5	0,23	154,00	0,3407	0,0000
B6	0,16	159,00	0,3832	0,0000
B7	0,21	154,75	0,3783	0,0000
B8	0,18	168,25	0,3582	0,0000
B9	0,24	145,50	0,3679	0,0000
B10	0,21	167,50	0,3709	0,0000

Fonte: Autor.

Através das equações 7, 8 e 9, calculou-se o LQ e o LD de cada análise. Para a DBO, o LQ e o LD são 0,52 e 0,16 mg O₂.L⁻¹, respectivamente; de maneira semelhante para a DQO, os limites calculados foram de 240,04 e 72,74 mg O₂.L⁻¹. No CIT, o desvio padrão amostral é nulo, logo LQ e LD são 0,0000. Como COT = CT – CIT, pode-se afirmar que os limites do COT são equivalentes aos limites do CT. Desse modo, o LQ e o LD do COT são 0,5966 e 0,1808, respectivamente.

5.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO calcula a matéria orgânica de maneira indireta, através do consumo de oxigênio para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente no ambiente aquático. Os resultados obtidos para o presente parâmetro encontram-se dispostos na Tabela 2.

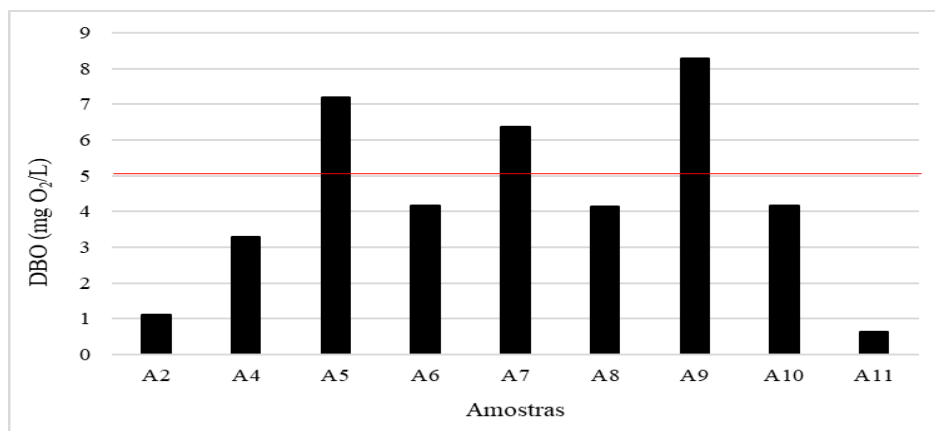
Tabela 2 – Resultados para o parâmetro DBO.

Amostras	DBO (mg O ₂ /L)
A1	< LQ
A2	1,12
A3	< LQ
A4	3,28
A5	7,20
A6	4,16
A7	6,36
A8	4,14
A9	8,28
A10	4,16
A11	0,64

Fonte: Autor.

A resolução CONAMA N° 357/05 apresenta os padrões de qualidade das águas superficiais, dentre eles encontra-se a DBO. Em águas doces de classe 2, nas quais se enquadram as amostras estudadas por este trabalho, a DBO de 5 dias deve ser de até 5 mg O₂.L⁻¹. O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos para esse parâmetro em comparação com o limite estabelecido pela resolução.

Gráfico 1 – Comparação entre a DBO das amostras e o limite da CONAMA 357/2005 para a classe 2.



Fonte: Autor.

Conforme os resultados apresentados, três amostras, A5, A7 e A9, se encontram acima do padrão estabelecido pela resolução do CONAMA 357/2005, o que indica baixa

concentração de matéria orgânica biodegradável na região de coleta da maior parte dos corpos hídricos estudados.

Em seu trabalho, Silva *et al.* (2019) avaliaram os parâmetros DBO, OD, Nitrogênio Total e Clorofila “a” para caracterização de um rio localizado na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Nesse estudo, foram realizadas coletas nos meses de novembro e fevereiro, sendo os períodos de seca e de chuva no Estado, respectivamente. Em relação a DBO, os resultados dos quatro pontos analisados, em ambos os períodos, estão dispostos no Quadro 2. Esses valores encontram-se acima dos resultados encontrados nos 11 pontos estudados (ver Tabela 2), o que mostra que esse rio recebe maior carga poluidora do que os corpos hídricos estudados no presente trabalho.

Quadro 2 – Resultados de DBO obtidos através da análise de um rio localizado na RMF.

Pontos	Mês	Período	DBO (mg O₂/L)
P1	Novembro	Seco	91,0
P2	Novembro	Seco	96,5
P3	Novembro	Seco	120,7
P4	Novembro	Seco	122,6
P1	Fevereiro	Chuvoso	50,6
P2	Fevereiro	Chuvoso	38,5
P3	Fevereiro	Chuvoso	54,6
P4	Fevereiro	Chuvoso	64,7

Fonte: SILVA *et al.* (2019), com adaptações.

A partir da análise desses dados, é possível observar que os valores de DBO são menores no mês de fevereiro, durante o período de chuvas. De maneira geral, resultados contrários eram esperados, visto que as precipitações arrastam os sedimentos para dentro do ambiente aquático, elevando a carga de matéria orgânica no local. Além disso, alguns parâmetros físicos, como sólidos solúveis, cor e turbidez, também tendem a aumentar, o que dificulta a passagem de luz solar no corpo d’água e, conseqüentemente, prejudica a realização do processo de fotossíntese pelas espécies aquáticas, diminuindo assim o OD nesse ambiente (ARAÚJO, 2013).

Semelhante ao trabalho de Silva *et al.* (2019), Barros e Souza (2013) obtiveram menores teores de DBO na estação chuvosa, sendo justificado que, devido ao maior fluxo de água nesse período, a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos é favorecida. No presente trabalho, as coletas e análises foram realizadas no mês de setembro, já cessada a

quadra chuvosa da região. Então, é esperado que, nos meses do período chuvoso, os resultados do parâmetro DBO sofram alterações, a depender da carga de efluentes depositada e da capacidade de autodepuração dos ambientes aquáticos.

5.3 Demanda Química de Oxigênio

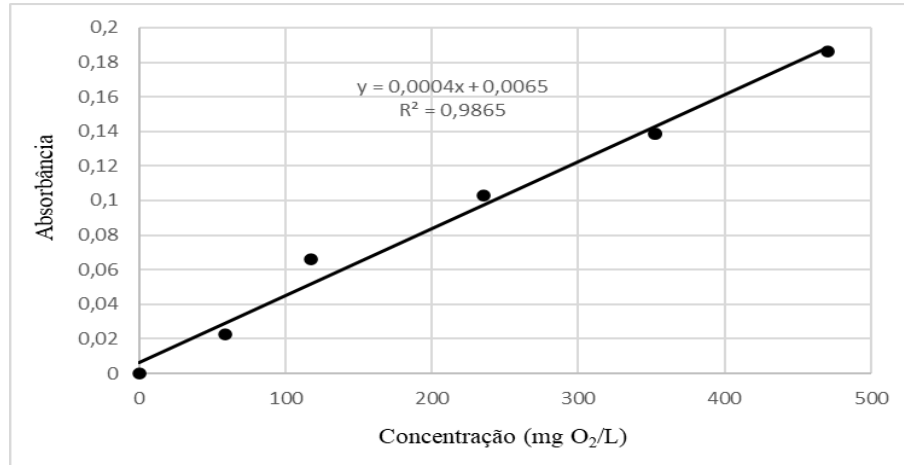
De maneira análoga à DBO, a DQO também é um parâmetro que quantifica a matéria orgânica de forma indireta. Porém, a DQO quantifica a matéria orgânica biodegradável ou não, além de oxidar outras espécies químicas presentes no meio. A fim de converter o sinal analítico, medido por um equipamento, em concentração, uma curva de calibração é necessária. Em alguns casos, o instrumento pode realizar a medida a partir da calibração por padrões, como o medidor de OD utilizado nesse trabalho, que realiza a sua aferição a partir do ar atmosférico e da água destilada. Para o parâmetro DQO, construiu-se uma curva de calibração a partir da análise dos padrões de biftalato de potássio, cujas médias dos resultados encontram-se dispostas na Tabela 3, com a média dos dois brancos subtraída de cada valor. A partir desses dados, plotou-se a curva de calibração presente no Gráfico 2.

Tabela 3 – Resultados da análise dos padrões de biftalato de potássio.

Concentração (mg O₂/L)	Absorbâncias
0	0
58,8	0,0227
117,6	0,0659
235,2	0,1030
352,8	0,1384
470,4	0,1862

Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Curva de calibração do parâmetro DQO.



Fonte: Autor.

O coeficiente de determinação obtido para a curva, $R^2 = 0,9865$, indicando boa correlação linear entre a concentração dos padrões e a resposta dada pelo equipamento. Desse modo, pode-se aplicar o modelo linear a esses dados, na qual 98,65% da variância da variável dependente é explicada pela variável independente. Além disso, a curva apresenta comportamento crescente, conforme o previsto pela teoria, devido a leitura ter sido realizada no comprimento de onda de 600 nm, para quantificar o cromo 3+ formado (POHLING, 2009).

Desse modo, os resultados da análise de DQO nas 11 amostras estudadas encontram-se presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados para o parâmetro DQO.

Amostras	DQO (mg O ₂ /L)
A1	< LQ
A2	436,25
A3	< LQ
A4	285,75
A5	308,75
A6	279,75
A7	257,00
A8	263,75
A9	276,25
A10	359,25
A11	242,00

Fonte: Autor.

Rocha (2015) analisou o parâmetro DQO em 10 corpos d'água presentes na RMF, cada um em no mínimo 2 pontos, no qual todas as análises apresentaram concentrações abaixo de 100 mg de O₂.L⁻¹, diferente dos resultados do presente trabalho, uma vez que 9 dos 11 pontos analisados apresentaram teor de DQO superior a 200 mg de O₂.L⁻¹.

De acordo com Silva (2013), o crescimento das cidades de forma não planejada resulta em impactos ao ambiente local, destacando-se a queda da qualidade dos corpos hídricos nas áreas recém-urbanizadas. Dentre os fatores que ocasionam essa piora nos índices de qualidade, estão o maior escoamento de águas residuais e o descarte irregular de efluentes domésticos ou industriais. Assim, a expansão da zona urbana de Fortaleza ao longo dos últimos anos pode ter contribuído para o aumento das taxas de DQO na região estudada.

5.4 Carbono Orgânico Total

Diferente dos demais parâmetros estudados nesse trabalho, o COT quantifica a matéria orgânica de maneira direta, através da medida do teor de carbono presente na amostra. Os resultados das análises desse parâmetro encontram-se dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados para o parâmetro COT.

Amostras	COT (mg C/L)
A1	6,01
A2	15,18
A3	8,15
A4	10,98
A5	13,08
A6	14,54
A7	18,34
A8	14,36
A9	15,84
A10	10,07
A11	< LQ

Fonte: Autor.

Em relação aos teores de COT, Duavi (2015) realizou um estudo desse parâmetro em quatro pontos de um rio localizado na RMF. Os resultados obtidos foram 12,54; 23,69; 17,56 e 24,72 mg C.L⁻¹, respectivamente. Albano (2015) analisou um ponto de uma lagoa e

dois pontos de um rio na RMF, e obteve valores de 2,4; 6,4 e 16 mg C.L⁻¹, respectivamente. Relacionando-se esses valores com os do presente trabalho (ver Tabela 5), observa-se a proximidade de parte dos resultados, com dois pontos acima e um abaixo dos resultados das 11 amostras.

5.5 Quantificação da Matéria Orgânica

A partir dos teores de DBO obtidos, a resolução CONAMA N° 357/05 classifica 8 das 11 amostras estudadas como sendo aptas aos fins a que se destinam, ao receber o tratamento adequado, indicando concentração de matéria orgânica biodegradável tolerável nos corpos hídricos da RMF. Em relação aos demais parâmetros, os teores de DQO apresentaram aumento no intervalo de 7 anos, enquanto o COT demonstrou estabilidade no mesmo período.

Esse fato não indica que os corpos hídricos da RMF não estão recebendo carga poluidora, mas sim que, de forma geral, eles estão com boa capacidade de autodepuração. No processo de respiração aeróbica realizado pelos microrganismos, os compostos de carbono são transformados em CO₂ e H₂O (POHLING, 2009), sendo o dióxido de carbono uma espécie gasosa que tende a escapar para a atmosfera. Assim, enquanto a degradação dos compostos de carbono resulta na diminuição do teor de COT no ambiente, as espécies nitrogenadas, sulfuradas e fosforadas, por exemplo, tendem a permanecer no meio, sendo posteriormente oxidadas a nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), sulfatos (SO₄²⁻) e fosfatos (PO₄³⁻), o que eleva os teores de DQO do corpo hídrico.

5.6 Análise Estatística

Conforme os resultados obtidos na análise de DBO, DQO e COT (ver Tabelas 2, 4 e 5), três amostras: A1, A3 e A11 possuem ao menos um dos parâmetros abaixo do LQ, portanto não serão considerados na análise estatística. Assim, os dados utilizados para as correlações estatísticas encontram-se na Tabela 6, e a estatística básica desses resultados está presente na Tabela 7.

Tabela 6 – Resultados utilizados para as correlações estatísticas entre os três parâmetros estudados.

Amostras	DBO (mg O₂/L)	DQO (mg O₂/L)	COT (mg C/L)
A2	1,12	436,25	15,18
A4	3,28	285,75	10,98
A5	7,20	308,75	13,08
A6	4,16	279,75	14,54
A7	6,36	257,00	18,34
A8	4,14	263,75	14,36
A9	8,28	276,25	15,84
A10	4,16	359,25	10,07

Fonte: Autor.

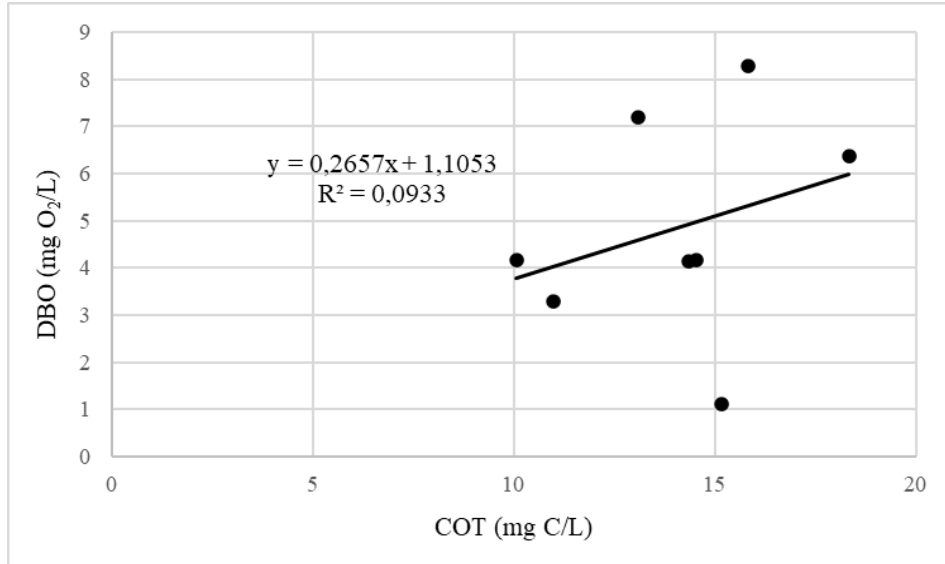
Tabela 7 – Análises estatísticas básicas dos dados correlacionados.

Parâmetro	Média	Mediana	Desv. Pad. Amostral	Mínimo	Máximo
DBO (mg O ₂ /L)	4,84	4,16	± 2,31	1,12	8,28
DQO (mg O ₂ /L)	308,34	282,75	± 60,87	257,00	436,25
COT (mg C/L)	14,05	14,45	± 2,66	10,07	18,34

Fonte: Autor.

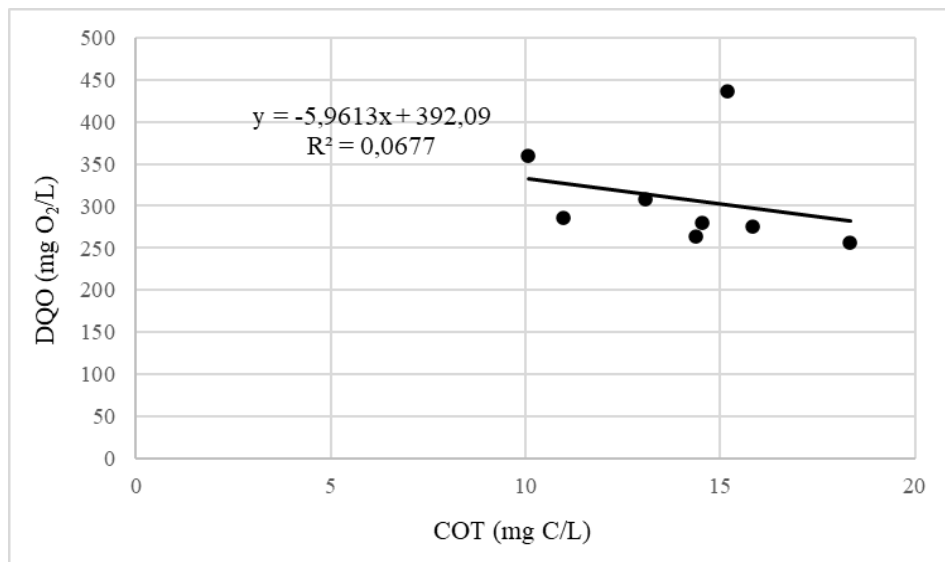
A partir desses dados, foram plotados os Gráficos 3 e 4, que relacionam os parâmetros DBO x COT e DQO x COT, a fim de verificar os seus coeficientes de determinação (R^2). A análise mostra baixa correlação entre os parâmetros DBO e DQO com o COT, sendo os R^2 de 0,0933 e 0,0677, respectivamente. Dessa maneira, apenas 9,33% da variância da DBO e 6,77% da variância da DQO são explicadas pelo COT. ±

Gráfico 3 – Correlação entre os parâmetros DBO e COT.



Fonte: Autor.

Gráfico 4 – Correlação entre os parâmetros DQO e COT.



Fonte: Autor.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é um teste que mede o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas. Desse modo, esse parâmetro apresenta a associação entre o par de variáveis a partir do compartilhamento linear de variância, ou seja, verifica se o aumento ou decréscimo da primeira variável implica na variância da segunda. Esse coeficiente atinge valores entre o intervalo de -1 a 1, no qual os extremos indicam correlação perfeita entre as variâncias das variáveis, enquanto o valor zero indica não haver correlação. Além disso, o sinal negativo ou positivo apenas indica a direção da correlação, se são direta ou inversamente correlacionadas (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

Assim, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre os pares DBO x COT e DQO x COT, sendo obtidos $r = 0,3054$ e $r = -0,2602$, respectivamente. De acordo com Dancey e Reidy (2006), o r é classificado conforme a sua grandeza: $0,10 \leq |r| \leq 0,39$ é fraco; $0,40 \leq |r| \leq 0,69$ é moderado e $0,70 \leq |r| \leq 1$ é forte. Logo, ambos os valores de r são classificados como fracos, o que indica baixa correlação entre os parâmetros DBO e DQO com o COT.

Os resultados dos testes estatísticos dos coeficientes de determinação e de correlação de Pearson indicam não ser possível substituir os parâmetros DBO e DQO pelo COT em águas superficiais, visto que menos de 10% da variação desses parâmetros é explicada pela variação do COT, além de que as correlações entre os pares DBO x COT e DQO x COT são fracas.

Em trabalho semelhante, Arnesen *et al.* (2018) constataram a possibilidade de substituição desses parâmetros, ao analisar águas superficiais do Estado de São Paulo, obtendo, para o par DBO x COT, $R^2 = 0,9294$ e $r = 0,953$; já para o par DQO x COT, $R^2 = 0,9170$ e $r = 0,917$. Dessa forma, mostra-se necessária a realização deste estudo em cada ambiente que se deseja propor a substituição desses parâmetros, pois corpos hídricos em diferentes regiões possuem características químicas e geográficas diferentes, o que impede a generalização dos resultados presentes na literatura.

Além do estudo em águas superficiais, alguns trabalhos da literatura propõem a mesma substituição de parâmetros em outras matrizes. Moraes (2022), por exemplo, realizou o estudo em biofertilizantes derivados da biodigestão anaeróbica de efluentes, obtendo $R^2 = 0,1384$ e $r = 0,372$ para o par DBO x COT e $R^2 = 0,3283$ e $r = -0,573$ para o par DQO x COT, indicando a impossibilidade de substituição nas amostras analisadas.

6 CONCLUSÃO

Analisou-se os parâmetros DBO, DQO e COT nas 11 amostras de água da RMF estudadas, nas quais apenas três: A5, A7 e A9 encontram-se com a DBO acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA N° 357/05 para águas de classe 2. Além disso, constatou-se que a época do ano em que a coleta é realizada afeta diretamente os valores de DBO, e possivelmente também afeta os demais parâmetros quantificadores de matéria orgânica, devido à maior capacidade de autodepuração dos corpos hídricos em períodos chuvosos.

Avaliou-se que os teores de DQO na RMF aumentaram consideravelmente no intervalo de 7 anos, enquanto os valores de COT sofreram pouca variação. Esse fato indica boa capacidade de autodepuração dos ambientes aquáticos estudados, porém também indica que houve aumento da carga poluidora nessas águas, provavelmente devido à expansão urbana da RMF nos últimos anos.

Os testes estatísticos mostraram que as variações de DBO e DQO não são explicadas de forma satisfatória pela variação do COT nas águas superficiais estudadas, e os coeficientes de correlação de Pearson dos pares DBO x COT e DQO x COT indicaram correlações fracas entre os parâmetros, o que impossibilita a substituição dos parâmetros DBO e DQO pelo COT. Porém, esse resultado não indica a impossibilidade da substituição, mas sim que o estudo deve ser replicado em cada matriz que se deseja realizar esta correlação, não podendo ser generalizado.

Assim, foi possível determinar os parâmetros DBO, DQO e COT em águas superficiais da RMF, nos quais apenas a DQO apresentou variações significativas. Em águas de classe 2, a resolução CONAMA N° 357/05 apenas apresenta um padrão para o parâmetro DBO. Assim, pode-se afirmar que 8 das 11 amostras encontram-se adequadas aos fins a que se destinam. Além disso, os testes estatísticos mostraram não ser possível a substituição dos parâmetros DBO e DQO pelo COT nessas amostras, indicando que ambas as análises permanecem sendo essenciais para monitorar a qualidade da água nessa região.

REFERÊNCIAS

ALBANO, Aline Maia Ferreira. **Influência da matéria orgânica total na análise de nitrogênio total, por espectrofotometria derivativa (Ed)**. 2015. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**. Brasília: ANA, 2011.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

ARAÚJO, Paulo Roberto Fernandes de. **MODELAGEM DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO CÓRREGO SALOBINHA, MONTES CLAROS DE GOIÁS**. 2013. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

ARNESEN, Allan Saddi; LIMA, Fabiana Aparecida Silva; LOTITO, Danieli Melissa Rodrigues; SILVA, Priscilla Leandro; ROVERI, Flávia. Avaliação Da Adoção Do Parâmetro Carbono Orgânico Total Em Substituição À Demanda Bioquímica De Oxigênio Para Monitoramento da Qualidade De Corpos D'Água Superficiais. In: **29o Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente-Encontro Técnico AESABESP**. São Paulo, 2018.

BARROS, Rosália Valençoeira Gomes; SOUZA, Célia Alves de. Uso do Solo da Sub-bacia do Córrego André e Qualidade da Água em Mirassol D'Oeste-MT. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 1, 2013.

BENEDETTI, Stella. **Avaliação do teor de carbono orgânico total na qualidade da água: aplicação na radiofarmácia**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRANDELERO, Suzi Mari; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; LIMA, Ana Carolina de Brito. Desoxigenação em água superficial de ambiente lótico. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 5, n. 1, p. 163-171, 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <
https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.

CABRAL, Gabriel Alencar Julião. **Comportamento dos compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitratos, em águas subterrâneas**. 2020. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Matéria Orgânica e Nutrientes**, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>>. Acesso em: 23 de out. de 2022.

CHEIS, Daiana. Os Danos Que o Cromo Hexavalente Pode Causar À Saúde. **Revista TAE**, 2013. Disponível em: <[C2O. **Medida Instrumental de Oxigênio Dissolvido \(OD\)**, s.d. Disponível em: <<http://www.c2o.pro.br/automacao/ar01s20.html>>. Acesso em: 17 de nov. de 2022.](https://www.revistatae.com.br/Artigo/538/os-danos-que-o-cromo-hexavalente-pode-causar-a-saude#:~:text=Cromo%20VI%20na%20%C3%A1gua&text=A%20exposi%C3%A7%C3%A3o%20do%20cromo%20hexavalente,(isto%20%C3%A9%20cancer%C3%ADgeno).>”. Acesso em 28 de out. de 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

DANCEY, Christine; REIDY, John. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DIGIMED. **Manual de Instruções: sonda de submersão P-06**. Campo Grande, s.d.

DUAVI, Wersângela Cunha. **“Agrotóxicos Urbanos”: ocorrência, partição ambiental e ecotoxicologia - Rio Ceará, Fortaleza-CE, Brasil**. 2015. 85 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FERREIRA, Marcos Aparecido Chaves. **Desenvolvimento de sensores de oxigênio dissolvido utilizando métodos eletroquímicos e ópticos para monitoramento em tempo real da qualidade da água**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERREIRA, Rosely. Conheça os diferentes tipos de água. **Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 de mar. de 2017. Disponível em: <[FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson \(r\). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.](https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2017/03/conheca-os-diferentes-tipos-de-agua/#:~:text=%C3%81guas%20superficiais%3A%20como%20o%20pr%C3%B3prio,fonte%20de%20abastecimento%20do%20planeta.>”. Acesso em: 23 de out. de 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

FRANCISCO, Rafael Dressler. LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES. **Trabalho de Conclusão de Curso do DEP**, v. 5, n. 1, 2009.

GARDIMAN JUNIOR, Benvindo Sirtoli. Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 3, p. 235-242, 2015.

GOMES, Abílio Soares; CLAVICO, Etiene. Propriedades físico-químicas da água. **Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense**, 2005.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. **Embrapa Meio Ambiente**, mar, 2011.

INMETRO. **Orientações sobre validação de métodos analíticos: documento de caráter orientativo: DOQ-CGCRE-008**: revisão 08-abr/2020. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/.../CGCRE/DOQ/DOQCGCRE-8_03.pdf>. Acesso em: 05 de nov. 2022.

KOCH, Fábio Fernandes et al. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

MAGALHÃES, Alissa. Economia da região Nordeste. **Educa Mais Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/matematica/economia-da-regiao-nordeste>>. Acesso em: 23 de out. de 2022.

MELO, Gean Barbosa de. A Eutrofização e seus efeitos sobre os corpos d'água. **PET Química UFC**, 2021. Disponível em: <<http://www.petquimica.ufc.br/a-eutrofizacao-e-seus-efeitos-sobre-os-corpos-dagua/>>. Acesso em: 25 de out. de 2022.

MELO JÚNIOR, Ariston Silva; BENTO FILHO, Rogério Costa; PAPADOPOLI, Gustavo Urban; MORAIS, Adriana Cavalcante; HOCK, Lincoln Bruno Jordão; CHIRINOS, Gustavo Julian. Avaliação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em uma lagoa facultativa. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**, v. 6, p. 300-319, 2018.

MENDONÇA, Jean Karlo Acosta; GONÇALVES, Débora Farina; RIGUE, Fernanda Monteiro. Experimento para determinação semiquantitativa de oxigênio dissolvido em água doce. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 1, p. 53-61, 2020.

MIESSLER, Gary L.; FISCHER, Paul J.; TARR, Donald A. **Química Inorgânica**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Education, 2014.

MORAES, Alessandra Stephany Bezerra de. **Correlação entre os três métodos de quantificação de matéria orgânica: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total, para análise de biofertilizantes derivado da biodigestão anaeróbica**. 2022. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

PENA, Rodolfo Alves. Distribuição da água no Brasil. **Brasil Escola**, s.d. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>>. Acesso em: 23 de out. de 2022.

PEREIRA, Dora Alexandra dos Santos. **Implementação e Validação de um Método Analítico para Determinação de Carbono Orgânico Total**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Nova de Lisboa.

POHLING, Rolf. **Reações Químicas na Análise de Água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009.

ROCHA, Diego Henrique Nascimento da. **Avaliação da demanda química de oxigênio (DQO) em corpos hídricos cearenses**. 2015. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SANTANA, Aroldo Costa; FREITAS, Diego Antonio França de. **Educação ambiental para a conscientização quanto ao uso da água**. 2012.

SILVA, Júlio César da Costa. **A poluição no rio Cocó, sub-bacia B-2, margem direita, e a expansão urbana de Fortaleza-CE**. 2013. 155 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

SILVA, Lais Alves da; COSTA, Adriana Guimarães; PORFÍRIO, André Ferreira; GOMES, Raimundo Bemvindo. **AValiação PRELIMINAR DA QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DA ÁGUA DA BARRAGEM DO RIO MARANGUAPINHO E DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS EM DOIS PERÍODOS CLIMÁTICOS, SECO E CHUVOSO**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2019.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, v. 22, p. 49-66, 1997.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. **O Desenvolvimento da agricultura do Brasil e o papel da Embrapa**. 2022.

ZUCCARI, Maria Lucia; GRANER, Celso Augusto Fessel; LEOPOLDO, Paulo Rodolfo. Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método colorimétrico alternativo. **Embrapa Territorial-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.