

AValiação DO COMPORTAMENTO DOS ÍndICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE ESTADO TRÓFICO DO RIO JAGUARIBE, EM ORÓS - CEARÁ – BRASIL

Marcus Vinícius Araújo de Lima¹
Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino²
Dayane de Andrade Lima³

RESUMO

Os dados de qualidade de água podem ser complexos para a compreensão da sociedade de maneira geral e, para isso, o uso de índices de qualidade se torna essencial para facilitar a comunicação com o público leigo. Bons exemplos de índices de qualidade muito usados são: o índice de qualidade das águas (IQA) e o índice de estado trófico (IET). O estudo avaliou a qualidade da água do rio Jaguaribe em Orós/CE, entre 2016 e 2022, considerando o impacto de um ponto de despejo de efluentes. Foram utilizados os índices de qualidade da água (IQA) e de estado trófico (IET), além da análise das concentrações de fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio. Os dados de monitoramento foram obtidos através da rede de monitoramento do governo do estado do Ceará, com avaliações em dois pontos do rio: à montante e à jusante do ponto de despejo. O comportamento do IQA e do IET mostrou uma redução da qualidade da água no ponto JAG-09 evidenciando interferência na qualidade da água devido ao lançamento de esgotos no rio. As análises das concentrações dos parâmetros corroboraram os resultados dos índices, confirmando o impacto negativo do despejo de efluentes.

Palavras-chave: Limnologia. Eutrofização. Monitoramento.

ABSTRACT

Water quality data can be complex for society in general to understand, and for this reason, the use of quality indices becomes essential to facilitate communication with the lay public. Good examples of widely used quality indices are: the water quality index (WQI) and the trophic state index (TSI). The study evaluated the water quality of the Jaguaribe River in Orós/CE, between 2016 and 2022, considering the impact of an effluent discharge point. The

¹ Discente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), viniciusaraujooros@gmail.com.

² Docente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), ranoyca@unilab.edu.br.

³ Docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus* Morada Nova, dayane.lima@ifce.edu.br.

water quality indices (WQI) and trophic state indices (TSI) were used, in addition to the analysis of the concentrations of total phosphorus, total nitrogen, dissolved oxygen and biochemical oxygen demand. The monitoring data were obtained through the monitoring network of the Ceará state government, with assessments at two points of the river: upstream and downstream of the discharge point. The behavior of the IQA and IET showed a reduction in water quality at point JAG-09, evidencing interference in water quality due to the discharge of sewage into the river. The analyses of the concentrations of the parameters corroborated the results of the indexes, confirming the negative impact of the discharge of effluents. Keywords: Limnology. Eutrophication. Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

Embora seja evidente a importância que os recursos hídricos possuem para a sociedade, tanto a quantidade quanto a qualidade das águas vem sendo prejudicadas cada vez mais devido ao uso e à ocupação desordenados na bacia hidrográfica. O crescimento populacional e a desenvoltura socioeconômica regional geram um aumento na demanda hídrica, além de acarretar um desequilíbrio químico, físico e biológico dos ecossistemas aquáticos (SOUZA *et al*, 2014). A ausência de sistemas de esgotamento sanitário e tratamento de esgoto nas cidades brasileiras resulta em uma parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos d'água, implicando negativamente à saúde da população, aos ecossistemas aquáticos e aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2024).

O Brasil possui uma posição privilegiada em relação à disponibilidade de água superficial, representando aproximadamente 11% dos recursos hídricos globais (ANA, 2014). Contudo, esses recursos são distribuídos de forma desigual pelo território nacional e ao longo do ano, assim como a demanda por sua utilização. A maior parte da água doce do país, cerca de 73%, concentra-se na bacia Amazônica, onde vive menos de 5% da população brasileira. Em contraste, os 27% restantes dos recursos hídricos estão disponíveis para atender 95% da população (LIMA, 2001). A disponibilidade de água para os diversos usos múltiplos que necessitam desse recurso, depende de como são tratadas as questões relativas tanto à sua quantidade quanto à qualidade. Sendo assim, existe uma complexidade em separar estes aspectos para sua utilização de forma racional (COGERH, 2011).

O atlas “Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas” (BRASIL, 2017), destaca que apenas 43% da vazão de esgoto urbanos gerados no país é tratada. O déficit no atendimento dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil resulta em grande parcela de esgotos sem

tratamento e com destinação inadequada. Tais efluentes são frequentemente dispostos diretamente nos corpos d'água, comprometendo a qualidade das águas para diversos usos, ocasionando riscos à saúde pública e impactando o equilíbrio do meio ambiente.

A lei 9.433/1997, que dispõe da Política Nacional de Recursos Hídricos, determina que o lançamento de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final está sujeito a outorga pelo Poder Público. Ambos os instrumentos estão condicionados às prioridades estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, respeitando a classe de enquadramento do corpo hídrico e levando em consideração o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade (BRASIL, 1997).

O enquadramento em classes de qualidade a partir dos seus usos preponderantes é um instrumento que tem como objetivo garantir às águas a qualidade correspondente aos seus usos mais exigentes e, através da implementação de ações permanentes, diminuir o custeio das ações de combate à poluição das águas (BRASIL, 1997). As classes usadas para enquadrar os corpos d'água superficiais estão determinadas nas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº357/2005.

A resolução supracitada classifica as águas doces, salobras e salinas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 13 (treze) classes de qualidade. Com exceção às águas de classe especial, onde o lançamento de efluentes é vetado, a resolução determina que o lançamento de efluentes nos corpos d'água, poderá ocorrer somente se atender às condições e padrões de lançamento de efluentes; não ultrapassar as condições de qualidade estabelecidos para cada classe, na vazão de referência; e atender a outras exigências aplicáveis.

A qualidade da água é um fator que determina sua disponibilidade para diversos usos, sendo condicionada por variáveis naturais ligadas, por exemplo, ao regime de chuvas, escoamento superficial, e por impactos antrópicos, provenientes de fontes pontuais e/ou fontes difusas de contaminação, como o lançamento de efluentes (ANA, 2024).

A depender do grau de poluição dos rios mediante o lançamento de efluentes, o processo de autodepuração pode melhorar significativamente a qualidade da água. Nesse fenômeno, compostos orgânicos são estabilizados, sendo convertidos em gás carbônico e água, que não são prejudiciais do ponto de vista ecológico. A capacidade de autodepuração de corpos d'água implica em um restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações ocasionadas pelo despejo de efluentes (VON SPERLING, 2014).

O Nordeste brasileiro possui um clima predominantemente semiárido, apresentando uma baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação. A construção de açudes (açudagem) tem sido uma importante estratégia para armazenamento de água e assegurar o abastecimento na região. A implementação de políticas públicas para a açudagem fez com que essa prática se consolidasse na região, onde se encontra a segunda maior população brasileira e que se concentra a menor parcela de recursos hídricos. Com as regularizações de suas vazões, os mananciais que eram intermitentes, hoje são mananciais estratégicos para o abastecimento dos territórios estaduais (GUIDICINI & JARDIM, 2021; NOVAIS et al., 2022).

Segundo o relatório da rede de monitoramento qualitativo da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH durante a campanha de novembro/2022, 75% dos açudes monitorados estavam eutrofizados. Esse cenário ocorre devido às condições hidrológicas do Estado, que desempenham importante papel na predominância da eutrofização dos reservatórios (COGERH, 2023).

Segundo Esteves (2011, p 625), a eutrofização de um corpo hídrico é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, deixando de ser um ambiente aquático oligo ou mesotrófico e transformando esse corpo hídrico em um ambiente hipertrófico. Esse processo pode ter causas naturais, lixiviação de nutrientes, ou antrópicas, ocasionado pela intervenção humana, principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos, industriais e/ou oriundos da agricultura, tendo uma enorme carga de nutrientes, principalmente N (Nitrogênio) e P (Fósforo).

As concentrações desses compostos em mananciais, são influenciadas devido aos processos físicos de advecção e difusão e processos bioquímicos e físicos de conversão que, quando somadas, provocam uma mudança na concentração deste constituinte ao longo do tempo (VON SPERLING, 2014). O monitoramento desses parâmetros é essencial para a gestão dos recursos hídricos e para a avaliação da qualidade das águas dos rios, de forma a possibilitar a verificação de tendências quanto ao seu comportamento e a identificação de áreas prioritárias para o controle da poluição, bem como sua adequação para os diferentes usos, quando necessário (ANA, 2024).

Com o intuito de se avaliar a influência da ocorrência de períodos de estiagem além dos impactos do lançamento de efluentes na qualidade de um determinado manancial, bem como propor medidas de controle efetivas diante aos impactos associados, é necessário o uso de modelos matemáticos, como os índices de qualidade de água (IQA) e de estado trófico (IET), que represente o comportamento da capacidade de autodepuração do corpo d'água (ANDRADE, 2010).

Os indicadores ambientais surgem a partir de uma crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento humano, tornando-se fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus efeitos. Eles trazem uma maior facilidade de comunicação com o público leigo, a partir do fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. Entretanto, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2023)

Visa-se, dessa forma, o atendimento do sexto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da Organização das Nações Unidas (ONU), presente na Agenda 2030 de sustentabilidade adotada pelos países membros. O ODS 6 almeja “garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos”.

A partir disso, o estudo disposto no presente trabalho foi realizado com objetivo de avaliar o comportamento dos aspectos qualitativos da água do Rio Jaguaribe, em Orós/CE, no período de 2016 a 2022, utilizando-se de ferramentas como o IQA e IET e, levando em consideração alguns dos parâmetros que mais impactam a qualidade das águas, como fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido e DBO.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.Conjuntura hídrica atual.

Sobre a relação do ser humano com os recursos hídricos, podemos perceber que:

De todos os recursos naturais, a água tornou-se o mais precioso. A maior parte da superfície da terra é coberta por mares que a envolvem; no entanto, em meio a essa fartura, ainda queremos mais. Por um estranho paradoxo, a maior parte da abundante água presente na terra não pode ser utilizada para a agricultura, indústria ou para o consumo humano em virtude da sua elevada quantidade de sais marinhos; dessa forma, a maioria da população mundial passa ou é ameaçada por uma escassez hídrica. Em uma era em que o ser humano esqueceu suas origens e está cego até mesmo para suas necessidades mais básicas de sobrevivência, a água, assim como outros recursos, tornou-se vítima da indiferença humana (Carson, 2010, p. 47).

A oferta de água em quantidade suficiente e qualidade adequada é essencial para o desenvolvimento humano, mas o aumento progressivo das demandas hídricas, devido aos diversos usos da água, tem gerado conflitos e desafiado a garantia da segurança hídrica, especialmente nos grandes centros urbanos. Nesses locais, observa-se a crescente distância dos pontos de captação e a necessidade de interligações complexas por meio de grandes

sistemas integrados. No Brasil, a demanda por água passou por várias transformações ao longo do tempo, impulsionadas pelo crescimento populacional, urbanização, industrialização e mudanças no estilo de vida da sociedade. Esse aumento tem se mantido ao longo dos anos, com destaque para o abastecimento das cidades, a indústria de transformação e a agricultura irrigada, que juntas representam cerca de 83% do total retirado (ANA 2024). A demanda por água pode ser alterada por uma série de fatores econômicos, ambientais e climáticos, sendo que um dos principais está relacionado ao crescimento populacional, já que a expansão da população leva a uma maior necessidade de água, tanto para o consumo direto quanto para a produção de bens e serviços (ANA, 2021; ANA 2024).

A qualidade das águas (sejam superficiais ou subterrâneas) é um fator que determina sua disponibilidade para diversos usos, tais como o abastecimento humano, agropecuária e a indústria. Variáveis naturais tais como o regime de chuvas, o escoamento superficial, as características geológicas, uso e ocupação da bacia, bem como a poluição oriunda das atividades antrópicas como o lançamento de esgotos, a gestão (ou a falta de gestão) inadequada dos resíduos sólidos e os usos do solo, interferem na qualidade das águas dos mananciais (ANA, 2024).

Deve-se também pensar na água em termos das cadeias tróficas de vida que se sustentam em uma transferência energética cíclica infinita, entre os seres presentes nesse meio. Os minerais presentes na água são passados a cada elo das cadeias alimentares e, portanto, é de se esperar que cada substância que seja despejada na água (tóxica ou não) possa entrar nesses ciclos da natureza (CARSON, 2010).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2018), 83,6% dos brasileiros possuíam acesso ao serviço de abastecimento de água. Já quando se trata da perspectiva do esgotamento sanitário os percentuais caem de maneira considerável, pois cerca de 53% da população era atendida com a rede de coleta de esgoto, enquanto 46,3% tinha acesso a rede de tratamento de esgoto.

O lançamento de efluentes nos corpos d'água, predominantemente de esgotos domésticos, indisponibiliza água para outros usos devido à poluição hídrica. O déficit de saneamento básico, no que diz respeito à coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras têm resultado em uma quantidade significativa de descargas de poluição chegando aos corpos d'água, prejudicando a saúde da população, além de impactar negativamente os ecossistemas aquáticos e os usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2024).

2.2. Monitoramento e qualidade da água de rios.

Segundo Von Sperling (2014), a qualidade da água é determinada a partir das condições naturais e do resultado de alterações humanas no uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica. Sob condições naturais, a qualidade das águas pode ser afetada a partir do escoamento superficial e infiltrações no solo devido às precipitações atmosféricas. Tal impacto depende do contato da água com as partículas, substâncias e impurezas do solo, sendo influenciado pela condição de conservação das condições naturais da bacia hidrográfica em questão (VON SPERLING, 2014).

Carson (2010), em seu livro *Primavera silenciosa*, comenta que “desde que os químicos começaram a fabricar substâncias que a natureza nunca inventou, os problemas com a purificação da água tornaram-se complexos, e os perigos para os que usam a água aumentaram”. A interferência dos seres humanos, seja diretamente no corpo hídrico ou no uso e ocupação do solo, contribui para a alteração da qualidade da água. A geração de despejos (domésticos ou industriais), aplicação de defensivos agrícolas e a forma que o homem usa e ocupa o solo, implicam diretamente na qualidade das águas dos mananciais superficiais e subterrâneos (CARSON, 2010; VON SPERLING, 2014).

O monitoramento qualitativo dos corpos d'água é uma atividade essencial para a gestão dos recursos hídricos e para a avaliação da qualidade de suas águas, possibilitando verificar tendências de comportamento e a identificação de áreas com potencial de priorização para o controle da poluição, bem como sua adequação para os diferentes usos múltiplos correspondentes. A existência de uma rede de monitoramento é de fundamental importância para a elaboração dos planos de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos em classes segundo o uso preponderante mais exigente (ANA, 2024).

Entre os principais alvos de monitoramento estão alguns trechos de rios que são estratégicos para a gestão dos recursos hídricos, áreas que possuem maior potencial e vulnerabilidade para ocorrência de cheias, trechos importantes para regulação e fiscalização, além de ações previstas em planos de recursos hídricos e bacias prioritárias (ANA, 2024).

O monitoramento é realizado com o objetivo de fornecer informações, ao longo de uma série histórica, sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos tanto superficiais (rios, lagos e reservatórios) e subterrâneos. Essa avaliação é geralmente realizada a partir da análise de parâmetros, como: oxigênio dissolvido, pH, temperatura, alcalinidade, dureza, fósforo total, etc. Estes indicadores mostram a concentração de poluentes, como substâncias, partículas, microrganismos e outras características da água. A adequação da água para um

determinado uso é determinada por meio desses indicadores (ANA, 2024; VON SPERLING, 2014).

2.3. Parâmetros de qualidade das águas.

A avaliação da qualidade da água é realizada a partir da análise de parâmetros obtidos através do monitoramento da água nos corpos hídricos. As observações da qualidade da água de um corpo hídrico são realizadas in situ ou por meio da coleta de amostras de água em um ponto de monitoramento pré-determinado. Esses parâmetros são indicadores que auxiliam na identificação do grau de concentração de poluentes, tais como substâncias, partículas, microrganismos, além de outras características, como a cor, sólidos e a turbidez da água (ANA, 2024).

Os parâmetros podem ser classificados em três tipos:

- Variáveis físicas: cor, sólidos, temperatura e turbidez, etc;
- Variáveis químicas: oxigênio dissolvido, pH, nitrogênio e suas frações, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e suas frações, etc;
- Variáveis biológicas: coliformes termotolerantes, clorofila “a”, etc.

Cada um desses parâmetros possui uma forma de origem, importância sanitária e biológica, bem como utilização para fins de interpretação de resultados. De maneira sucinta, o quadro 01 descreve a origem, importância e a aplicabilidade/uso de alguns parâmetros de qualidade das águas.

Quadro 1 - Origem, importância e uso dos principais parâmetros de qualidade de água (continua).

PARÂMETRO	ORIGEM	IMPORTÂNCIA	USO
Oxigênio Dissolvido (OD)	Dissolução de Oxigênio atmosférico; fotossíntese; aeração artificial.	Vita para organismos aquáticos aeróbicos; caracterização de efeitos da poluição por matéria orgânica.	Controle da eficiência operacional de estações de tratamento de esgotos; Caracterização dos corpos d'água. Controle da eficiência das estações de tratamento de esgotos; Caracterização dos corpos d'água.
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Despejos de resíduos orgânicos.	Alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.	

Fonte: Adaptado de CETESB (2023), Von Sperling (2014) e Von Sperling (2005).

Quadro 2 - Origem, importância e uso dos principais parâmetros de qualidade de água (continuação).

PARÂMETRO	ORIGEM	IMPORTÂNCIA	USO
Nitrogênio	Composição celular de microrganismos e proteínas; despejos domésticos e industriais; fertilizantes orgânicos e inorgânicos.	Crescimento de microrganismos para o tratamento de esgotos; Responsável pelo processo de eutrofização; Tóxico para seres humanos e organismos aquáticos.	Caracterização de águas de abastecimento (brutas e tratadas), de águas residuárias, e de corpos d'água em geral. Caracterização de águas de águas residuárias (brutas ou tratadas), e de corpos d'água em geral.
Fósforo	Decomposição de matéria orgânica; lixiviação; despejos (domésticos e industriais); fertilizantes orgânicos e inorgânicos.	Indispensável para o crescimento de algas e microrganismos estabilizantes da matéria orgânica; Principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização de corpos d'água.	
Coliformes	Despejos domésticos.	Controle das etapas do tratamento de esgotos; monitoramento de poluição fecal.	Indicativo de contaminação fecal; risco a saúde de banhistas e usuários.
pH	Lixiviação; absorção de gases atmosféricos; fotossíntese; oxidação da matéria orgânica; despejos domésticos e industriais.	Controle das etapas do tratamento da água: coagulação, desinfecção, controle de corrosividade das tubulações e equipamentos;	Caracterização de águas de abastecimento (brutas e tratadas), de águas residuárias, e de corpos d'água em geral; controle de operação de estações de tratamento de água e de esgotos.
Turbidez	Erosão; uso e ocupação do solo; despejos domésticos e industriais.	Influencia as taxas fotossintéticas, podendo causar uma redução da produtividade primária e prejudicar as comunidades biológicas dos corpos d'água.	Caracterização de corpos d'água; controle de operação de estações de tratamento de água e de esgotos.
Sólidos Totais	Erosão; uso e ocupação do solo; despejos domésticos e industriais.	Estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica;	Controle de poluição das águas naturais; estudos de caracterização de esgotos sanitários e efluentes industriais.
Clorofila "a"	Fitoplâncton.	Responsáveis pelo processo fotossintético;	Indicador da biomassa algal; principal indicador de estado trófico dos ambientes aquáticos
Temperatura	Irradiação natural; despejos industriais.	Impacta na velocidade das reações bioquímicas das comunidades aquáticas; Influencia a solubilidade dos gases;	Caracterização de corpos d'água; caracterização de águas residuárias brutas.

Fonte: Adaptado de CETESB (2023), Von Sperling (2014) e Von Sperling (2005).

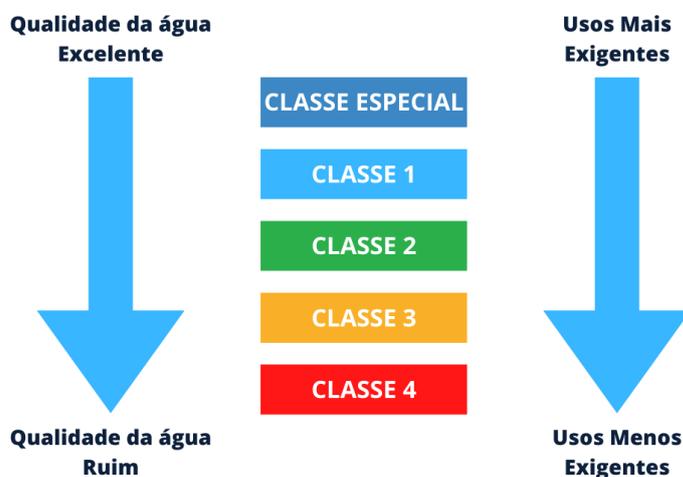
Para cada parâmetro de qualidade da água de um corpo hídrico, seja ela superficial ou subterrânea, existe um padrão de referência para classificar tanto a água bruta quanto os efluentes que serão lançados nos corpos d'água para fins de diluição. A Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Quadro 02), bem como estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

Segundo a resolução supracitada, as águas podem ser separadas a partir de sua salinidade, onde:

- águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;
- águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;
- águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

As águas doces, salobras e salinas do território nacional são classificadas conforme a qualidade necessária para seus usos predominantes, atribuindo-se as classes mais baixas para os usos mais exigentes e as classes mais altas para os usos menos exigentes, como mostra a figura 1.

Figura 1 - Fluxo de classificação das águas conforme os usos.



Fonte: ANA (2020).

No que diz respeito às águas doces, elas podem ser classificadas em 5 classes, sendo elas:

- Classe especial - águas destinadas: ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.;

- Classe 01 - águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
- Classe 02 – águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca;
- Classe 03 – águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais;
- Classe 04 – águas destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

Quadro 3 - Padrões de qualidade para cada classe de água doce.

Parâmetro	Padrão de qualidade por classes			
	1	2	3	4
Oxigênio Dissolvido (OD)	≥ a 6 mg/L	≥ 5 mg/L	≥ a 4 mg	≥ a 2,0 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Até 3 mg/L	Até 5 mg/L	até 10 mg/L	-
Nitrogênio	Até 2,18 mg/L	Até 2,18 mg/L	-	-
Fósforo Total	0,1 mg/L P	0,1 mg/L P	0,15 mg/L P	-
Coliformes	Até 200 NPM/100ml	Até 1.000 NPM/100ml	Até 4.000 NPM/100ml	-
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez	40 NTU	Até 100 NTU	Até 100 NTU	-
Sólidos Totais	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	-
Clorofila “a”	10 µg/L	Até 30 µg/L	60 µg/L	-
Temperatura	-	-	-	-

Fonte: BRASIL (2005).

2.4. Índices de Qualidade.

Em uma visão geral da sociedade, as informações sobre as concentrações dos parâmetros de qualidade da água, bem como da quantidade de poluentes nos corpos hídricos tem pouca utilidade e significado. A partir disso, pode-se adotar índices de qualidade para a divulgação ao público leigo, que retratam, por meio de um único valor representativo, a qualidade das águas de um determinado manancial ou reservatório. Esses índices são de cunho exclusivamente comunicativo, servindo apenas para informar ao público sobre as condições ambientais dos corpos d'água, sendo muito úteis para fins de divulgação de relatórios com os dados de monitoramento realizados pelo poder público (VON SPERLING, 2014).

2.4.1. Índice de Qualidade da água (IQA).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é composto por nove parâmetros físico-químicos-biológicos, são eles:

- Oxigênio Dissolvido - OD;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO;
- Temperatura;
- Potencial Hidrogeniônico - pH;
- Coliformes termotolerantes;
- Nitrogênio;
- Fósforo;
- Sólidos;
- Turbidez;

Este índice foi desenvolvido no Estados Unidos, pela *National sanitation foundation* (NSF), sendo sua estrutura estabelecida a partir de pesquisas realizadas por vários especialistas. Cada técnico selecionou parâmetros que consideravam relevantes para avaliação da qualidade da água de corpos d'água. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água propostas, somente nove foram selecionadas. Para cada um desses parâmetros selecionados, foram atribuídos valores diferentes de pesos, como uma ponderação. O IQA reflete os impactos mais comuns da poluição na qualidade das águas superficiais, abrangendo o lançamento de despejos orgânicos, nutrientes e sedimentos (ANA, 2024; CETESB, 2023;

VON SPERLING, 2014).

Os dados mostram o quanto o IQA possui uma sensibilidade aos problemas de qualidade de água de ocorrência comum dos grandes centros urbanos no Brasil, ressaltando os desafios relacionados à universalização do saneamento básico e à necessidade de planejamento e infraestrutura para o controle da poluição hídrica de origem difusa (ANA, 2024).

O IQA é calculado a partir do produto ponderado dos parâmetros de qualidade de água que integram o Índice. A seguinte fórmula é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde:

IQA = índice de qualidade das águas;

q_i = Qualidade do i-ésimo parâmetro, sendo um número entre 1 e 100, obtido através da “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, atribuído em função da importância para conformação global de qualidade;

i = Número do parâmetro, variando de 1 a 9 (para o IQA, se utilizam nove parâmetros de qualidade).

Os pesos para cada parâmetro, disposto no quadro 4, determinados pelos especialistas que desenvolveram o IQA-NSF, vão retratar a influência e importância de cada parâmetro na determinação da qualidade das águas. A soma de todos esses pesos dos nove parâmetros é igual a 1. Após a atribuição de cada nota individual para cada um dos nove parâmetros, deve-se elevar a mesma ao respectivo peso e fazendo o produtório de todos os parâmetros ($q_i^{w_1} \times q_i^{w_2} \times q_i^{w_3} \times q_i^{w_4} \times \dots \times q_i^{w_9}$) (VON SPERLING, 2014).

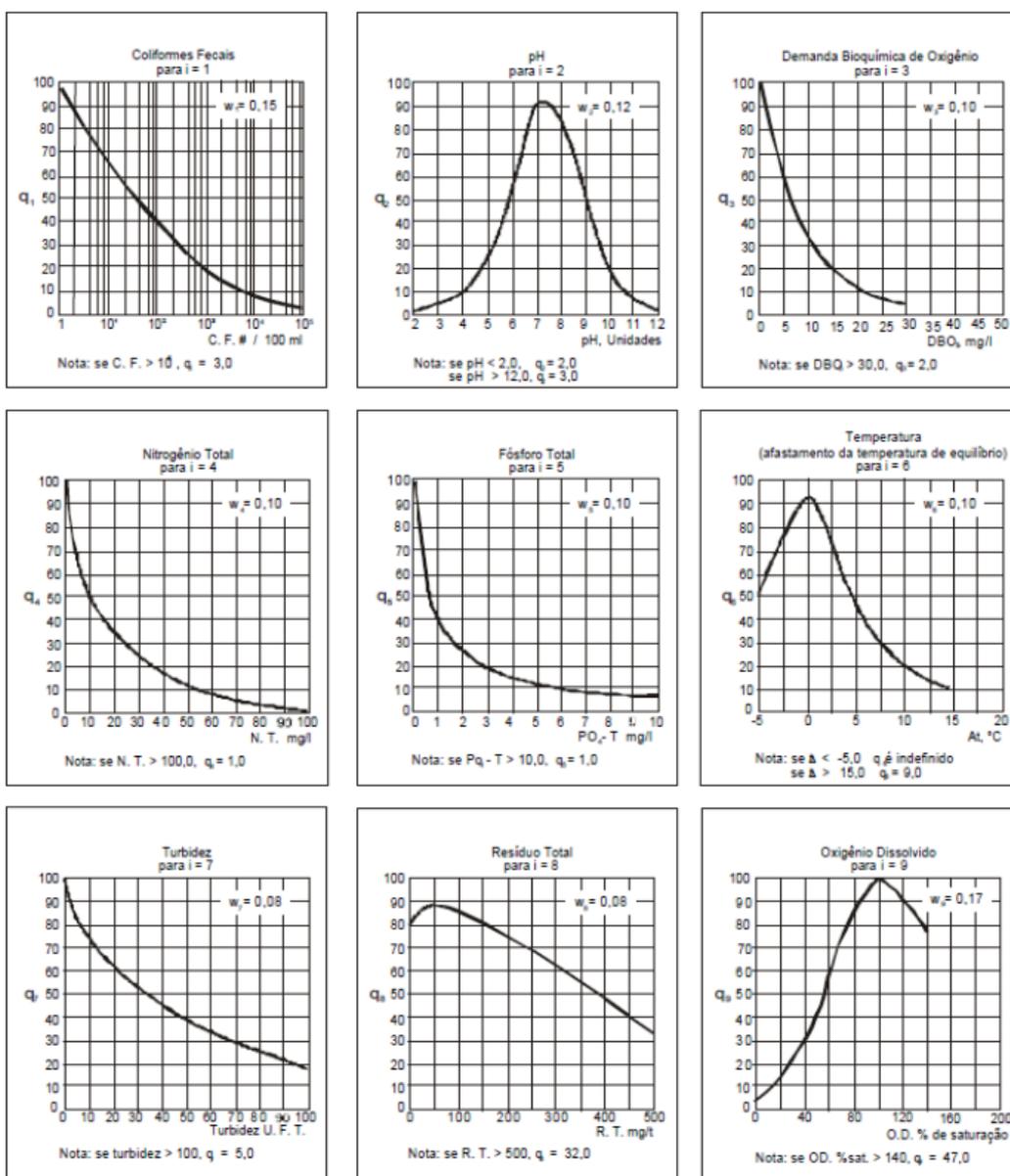
Quadro 4 - Parâmetros de qualidade de água que compõem o IQA.

Parâmetro	Unidade de medida	q_i (Pesos)
Coliformes termotolerantes	NPM/100ml	0,15
pH	-	0,12
DBO ₅	mg/L	0,10
Nitrogênio Total	mgN/L	0,10
Fósforo Total	mgPO ₄ /L	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Sólidos Totais	mg/L	0,08
Oxigênio Dissolvido	% de saturação	0,17

Fonte: CETESB (2024).

As curvas de qualidade para cada um dos parâmetros estão dispostas na figura 02. Elas foram desenvolvidas pelo NSF, sendo adaptadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB substituindo o uso do nitrato para a utilização do Nitrogênio total. Essas curvas são utilizadas para transformar as concentrações de diferentes parâmetros físicos, químicos e biológicos em uma escala de pontuação padronizada (geralmente de 0 a 100). Essas pontuações refletem a contribuição de cada parâmetro para a qualidade geral da água. Para cada parâmetro, localize a curva de qualidade correspondente. Essas curvas relacionam os valores medidos na amostra (eixo X) à pontuação padronizada (eixo Y).

Figura 2 - Curvas de qualidade para os parâmetros que compõem o IQA



Fonte: CETESB (2024).

A qualidade do Fósforo pode ser obtida através da curva de Fosfato, convertendo o resultado de Fósforo Total em Fosfato ao multiplicar-se por 3,066. O percentual de saturação do Oxigênio Dissolvido é determinado em consonância com a altitude do local de coleta e temperatura da água.

Para ensaios de *Escherichia coli* é possível se utilizar da mesma curva de qualidade que foi desenvolvida para Coliformes Termotolerantes. aplicando-se um fator de correção de 1,25 sobre o resultado de *E. coli*, pois em testes realizados determinou-se que, para cada 100 NPM de Coliformes Termotolerantes detectados em uma amostra, existem aproximadamente 80 representantes de *Escherichia coli* (CETESB, 2023).

A partir do resultado obtido no cálculo do IQA efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, variando numa escala de 0 a 100, representada na Tabela 01.

Tabela 1 - Cassificação do IQA adaptado pela CETESB e do NSF.

IQA - CETESB	Faixas	IQA - NSF	Faixas
Excelente	80 < IQA ≤ 100	Excelente	90 < IQA ≤ 100
Bom	52 < IQA ≤ 80	Bom	70 < IQA ≤ 90
Médio	37 < IQA ≤ 52	Médio	50 < IQA ≤ 70
Ruim	20 < IQA ≤ 37	Ruim	25 < IQA ≤ 50
Péssima	0 < IQA ≤ 20	Muito Ruim	0 < IQA ≤ 25

Fonte: Von Sperling (2014).

2.4.2 Índice de Estado Trófico (IET).

O Índice do Estado Trófico classifica os corpos de água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água em função do enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento das algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas. Três variáveis podem ser utilizadas para cálculo desse índice, sendo elas: transparência (medida através do disco de secchi), fósforo total e clorofila “a”. Entretanto, esse índice sofreu alterações com o tempo, onde, das três variáveis utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico, são comumente aplicadas apenas duas: clorofila “a” e fósforo total, pois os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, podendo ser afetada pela turbidez decorrente de material mineral em suspensão (CETESB, 2023; VON SPERLING, 2014).

Para esse índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila, IET(CL), no entanto, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador (o fósforo),

indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas. Sendo assim, o índice médio engloba, a causa e o efeito do processo (CETESB, 2023).

É importante considerar que, em um corpo hídrico onde o processo de eutrofização esteja completamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice de clorofila provavelmente será compatível com aquele determinado pelo índice de fósforo. No entanto, em corpos hídricos onde o processo é limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice de clorofila refletirá essas condições, classificando o estado trófico em um nível de menor trofia em comparação ao índice de fósforo. Além disso, caso seja feito o uso de produtos algicidas, a redução nas concentrações de clorofila levará a uma diminuição na classificação do estado trófico, conforme o índice de clorofila (CETESB, 2023; VON SPERLING, 2014).

O Índice do Estado Trófico aqui apresentado é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila “a” – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos tanto para ambientes lênticos quanto para ambientes lóticos, segundo as equações:

Para ambientes lóticos (rios):

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \frac{-0,7 - 0,6x(\ln CL)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (2)$$

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \frac{-0,42 - 0,36x(\ln PT)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (3)$$

Para ambientes lênticos (reservatórios e lagos):

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \frac{0,92 - 0,34x(\ln CL)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (4)$$

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \frac{1,77 - 0,42x(\ln PT)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (5)$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL: concentração de clorofila “a” medida à superfície da água, em µg/L;

ln: logaritmo natural.

Em situações em que ambas as variáveis estejam disponíveis, o resultado dos valores apresentados nas tabelas de IET serão submetidas a uma média aritmética simples, com arredondamento da primeira casa decimal, dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila “a”, segundo a equação:

$$IET_{Médio} = \frac{IET(PT) + IET(CL)}{2} \quad (6)$$

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para rios e reservatórios estão descritos na Tabela 02 a seguir:

Tabela 2 - Limites para as diferentes classes de trofia para rios e reservatórios.

Estado trófico	IET	RIOS		RESERVATÓRIOS	
		P total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)	P total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)
Ultraoligotrófico	47	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$640 < P$	$7,46 < CL$	$233 < P$	$69,05 < CL$

Fonte: Von Sperling (2014).

3.METODOLOGIA

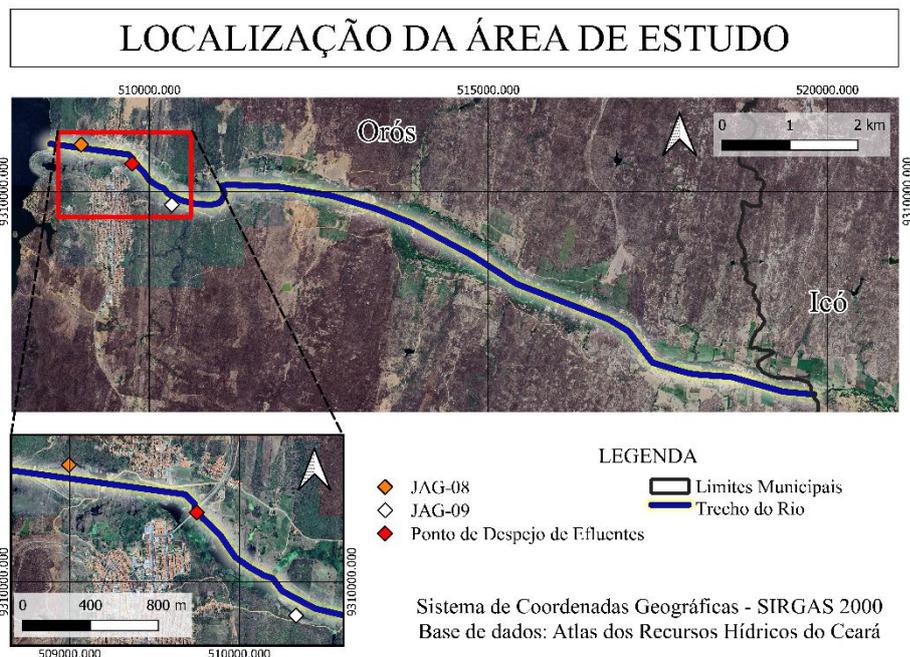
3.1.Delimitação da área de estudo;

O estudo irá englobar um trecho do rio Jaguaribe localizado no município de Orós, aproximadamente 450 Km de Fortaleza, compreendido na sub-bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no Estado do Ceará. O trecho em questão recebe despejos de efluente bruto proveniente da rede de coleta de esgotos do município.

O trecho em estudo possui aproximadamente 12,5 km, desde o início da perenização, na válvula dispersora do açude Orós, até o ponto de encontro com os limites entre os municípios de Orós e Icó, a jusante do açude Orós. Esse trecho é monitorado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), com dois pontos de monitoramento

identificados como JAG-08 e JAG-09, situados antes e depois do local de lançamento de efluentes da rede de esgoto da cidade, respectivamente (Figura 03). Ressalta-se que também podem ocorrer lançamentos de efluentes em pontos difusos ao longo do percurso monitorado.

Figura 3 - Localização da área de estudo e dos pontos de interesse



Fonte: Autor (2024).

As coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento e do ponto de lançamento de efluentes da rede de esgoto do município estão dispostos na tabela 03 a seguir.

Tabela 3 - Coordenadas Geográficas dos pontos de monitoramento e do ponto onde ocorre lançamento de efluentes

Ponto	Latitude	Longitude
JAG-08	-6,236113071	-38,91868973
JAG-09	-6,24420166	-38,90658188
Lançamento de efluentes	-6,238664581	-38,91187882

Fonte: Autor (2024).

3.2.Obtenção dos dados de qualidade da água do rio;

Os dados de qualidade da água do Rio Jaguaribe foram obtidos através da rede de monitoramento gerida pelo Governo do Estado do Ceará, mediante solicitação à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), pelo portal da Controladoria e

Ouvidoria Geral do Estado.

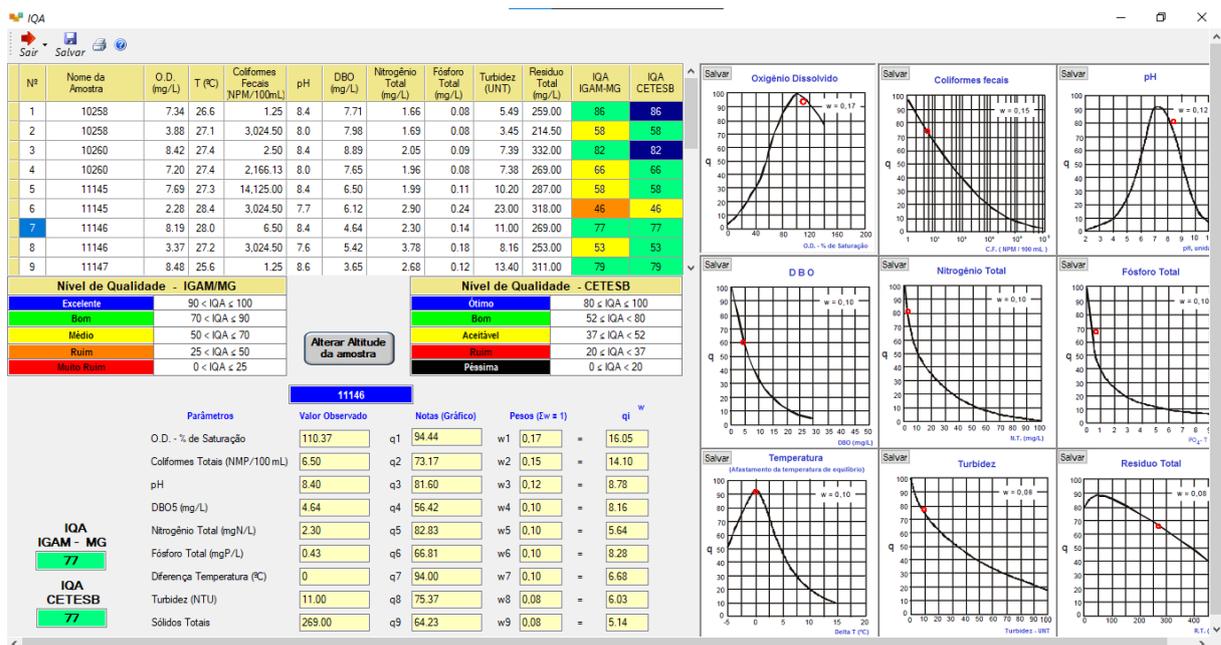
Os dados solicitados correspondem aos 09 parâmetros de qualidade necessários para determinação do IQA e do IET, sendo os mesmos listados e dispostos no quadro 03. Para os fins dessa pesquisa, foram utilizados os dados de monitoramento durante a série histórica entre os anos de 2016 a 2022.

3.3. Tratamento e interpretação dos dados;

Os dados obtidos foram avaliados individualmente, para cada campanha de monitoramento, e dispostos em gráficos para melhor visualização e comparação. As concentrações de fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio foram também dispostas em gráfico, entretanto, apresentarão uma linha para representação dos padrões de qualidade determinados pela resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces de classe 2 em ambientes lóticos, para fins de comparação.

Para determinação do IQA utilizou-se da metodologia disposta pela NSF-WQI da National Sanitation Foundation – NSF (Equação 01), adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, levando-se em consideração os nove parâmetros designados para estimar a qualidade do local de estudo, associados ao seu peso relativo. O cálculo foi realizado com o auxílio do software Qualigriff versão 1.17, da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (figura 4).

Figura 4 - Interface do software Qualigriff para cálculo do IQA.



Fonte: Autor (2024).

O índice de estado trófico foi obtido através da aplicação da equação 03, e classificado conforme a tabela 02 segundo o índice correspondente para ambientes lóticos (rios) levando em consideração somente o IET para fósforo total, devido à ausência de dados de clorofila “a” por falhas nas campanhas de monitoramento. O cálculo do IET neste trabalho foi realizado com o auxílio de planilha eletrônica.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da aplicação do índice de qualidade de água para o rio estudado estão dispostos na tabela 4. Para o ponto 08, houve uma variação entre os valores 89 e 48, com um IQA médio da série histórica de 75. Para o ponto 09, houve uma variação entre 66 e 46, com um IQA médio da série histórica de 54.

Usando a classificação da CETESB, no ponto 08 houve uma variação entre as classes excelente e média, e a média de IQA da série histórica na classe bom. Já na classificação proposta pela NSF, as classes variaram entre bom e médio, com o IQA médio da série histórica sendo bom.

No ponto 09, considerando a classificação da CETESB, o IQA se apresentou entre as classes bom e médio, com o IQA médio da série histórica sendo 54. Para a classificação proposta pela NSF, houve uma flutuação entre a classe médio e ruim, com uma média de IQA da série histórica classificada como médio.

Tabela 4 - Resultado dos índices de qualidade de água calculados para cada data e pontos de coleta e suas respectivas classes.

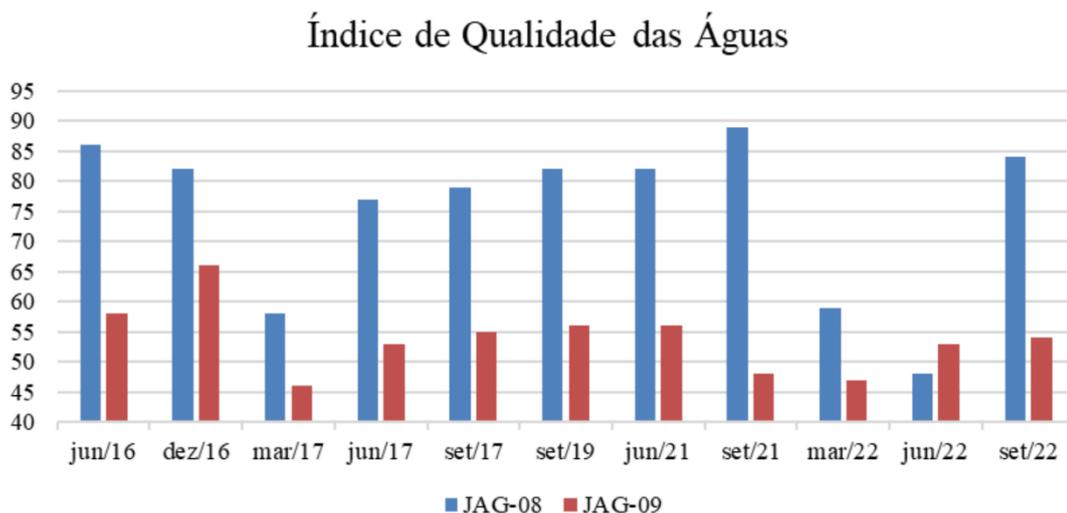
DATA	IQA			
	JAG-08		JAG-09	
16/06/2016	86	Ótima	58	Boa
08/12/2016	82	Ótima	66	Boa
14/03/2017	58	Boa	46	Aceitável
19/06/2017	77	Boa	53	Boa
13/09/2017	79	Boa	55	Boa
17/09/2019	82	Ótima	56	Boa
14/06/2021	82	Ótima	56	Boa
22/09/2021	89	Ótima	48	Aceitável
15/03/2022	59	Boa	47	Aceitável
21/06/2022	48	Aceitável	53	Boa
20/09/2022	84	Ótima	54	Boa

Fonte: Autor (2024).

Avaliando e comparando o IQA calculado entre os pontos, conforme disposto no gráfico disposto na figura 5, há uma redução/piora na qualidade da água recorrente sempre no ponto JAG-09 em relação ao ponto JAG-08, com exceção da campanha do mês de junho/2022 onde o IQA foi maior no ponto JAG-09.

Em um estudo realizado por Santos et al. (2018), que avaliou a qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia, em Sergipe, por meio de índices de qualidade, foi identificado que variações no IQA podem ser atribuídas ao carreamento de efluentes de montante a jusante do rio, bem como à ausência de saneamento básico. Esses fatores não se limitam às bacias costeiras, ocorrendo também em bacias continentais, onde a falta de infraestrutura de saneamento e o transporte de poluentes por processos hidrológicos comprometem a qualidade da água, especialmente durante períodos de chuvas, evidenciando problemas semelhantes em diferentes contextos hidrográficos.

Figura 5 - Comportamento do IQA em cada data e pontos de monitoramento.



Fonte: Autor (2024)

Rosa, Oliveira e SAAD (2016), ao investigarem o comportamento do Índice de Qualidade da Água (IQA) na bacia hidrográfica do rio Cotia, em São Paulo, observaram que as reduções no IQA estão associadas ao aumento de parâmetros como DBO e fósforo total, além da diminuição da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD). Esses parâmetros estão relacionados aos processos de decomposição de material orgânico, indicando níveis acima do natural, atribuídos a ações antrópicas

Para o índice de estado trófico calculado a partir das concentrações de fósforo total, tem-se o resultado disposto na tabela 5. Pode-se observar que, nos resultados obtidos para o

IET no ponto JAG-08, houve um comportamento onde houve variação entre 60 e 54 (classes eutrófico e Mesotrófico, respectivamente) e uma média histórica de 58 (classe mesotrófico). Para o ponto JAG-09, houve uma variação entre 70 a 55 (classes Hipereutrófico e mesotrófico) e uma média histórica de 60 (classe eutrófico).

No ponto JAG-08, em 9/11 campanhas (cerca de 81%) as águas do rio estavam classificadas como mesotrófico e, 2/11 campanhas (cerca de 19%) estavam classificadas como eutrófica. Já no ponto JAG-09, em 06/11 campanhas (cerca de 54%) as águas correspondiam à classe mesotrófica, em 4/11 campanhas (cerca de 36%) estavam em classe eutrófica e, em 1/10 campanhas as águas estavam hipereutroficas (10%).

Tabela 5 - Resultado dos índices de estado trófico calculados para cada data e pontos de coleta e suas respectivas classificações.

DATA	P total (µg/L)					
	JAG-08	Estado Trófico		JAG-09	Estado Trófico	
16/06/2016	77	57	Mesotrófico	79	57	Mesotrófico
08/12/2016	85	57	Mesotrófico	83	57	Mesotrófico
14/03/2017	114	59	Mesotrófico	235	62	Eutrófico
19/06/2017	138	60	Eutrófico	181	61	Eutrófico
13/09/2017	116	59	Mesotrófico	128	59	Mesotrófico
17/09/2019	139	60	Eutrófico	139	60	Eutrófico
14/06/2021	121	59	Mesotrófico	126	59	Mesotrófico
22/09/2021	98	58	Mesotrófico	960	70	Supereutrófico
15/03/2022	89	57	Mesotrófico	131	59	Mesotrófico
21/06/2022	80	57	Mesotrófico	195	61	Eutrófico
20/09/2022	46	54	Mesotrófico	56	55	Mesotrófico

Fonte: Autor (2024).

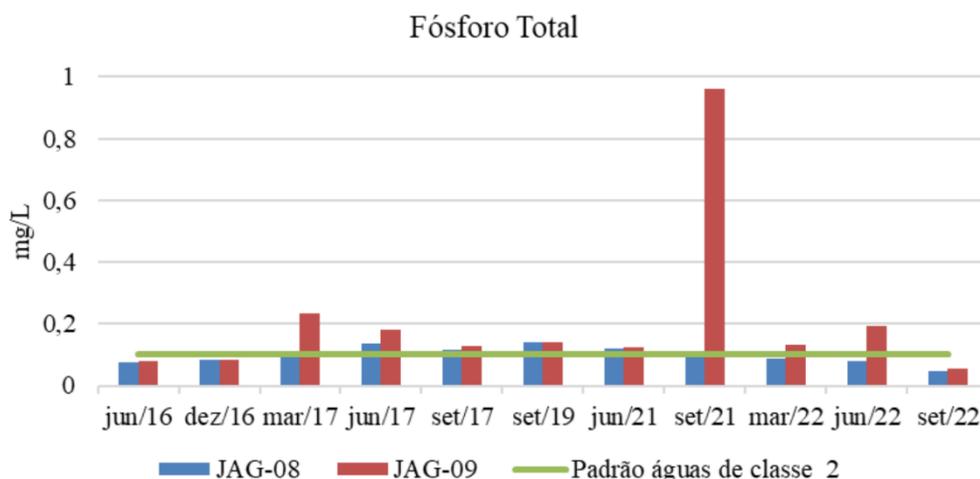
Em um estudo realizado por Santos *et al* (2018) para aplicação de índices para avaliar a qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe, elevação no valor do IET em alguns dos pontos estudados pode ser justificada pela existência de bares sem saneamento às margens do rio, uso da área para o lazer aos fins de semana, área de pastagem com presença de animais e utilização do local para lavagens de roupas e utensílios domésticos.

No que diz respeito ao comportamento das concentrações de fósforo total durante a série histórica em ambos os pontos (figura 6), em 8/11 campanhas (representando cerca de 72%) a concentração de P subiu no ponto JAG-09 em relação ao ponto JAG-08. Além disso, quanto ao padrão de qualidade para águas doces de classe 02 em ambientes lóticos disposto na resolução CONAMA n° 357, 5/11 campanhas do ponto JAG-09 estavam acima da

concentração máxima (0,1 mg/L) e, 7/11 campanhas no ponto JAG-09 extrapolaram o padrão de qualidade.

Silva & Souza (2013), em um estudo da qualidade da água do rio do Carmo, evidenciaram que a presença de fósforo em águas naturais pode estar relacionada principalmente à descarga de esgotos sanitários (matéria orgânica fecal e surfactantes) no manancial. Fato este que corrobora com os resultados do ponto JAG-09, localizado após um ponto de despejo de efluentes, onde houve aumento nas concentrações de P total. A descarga de esgotos domésticos contendo detergentes, bem como a própria matéria fecal, deve ter sido a principal fonte de contaminação de fósforo nas águas monitoradas.

Figura 6 - Comportamento do fósforo total em cada data e pontos de monitoramento.



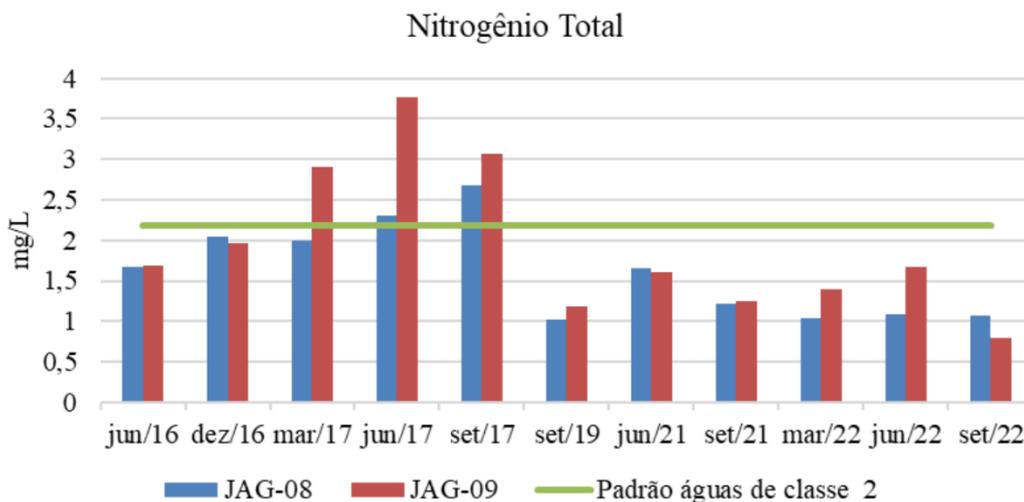
Fonte: Autor (2024).

No comportamento do nitrogênio total (figura 7), observa-se que, em 8/11 campanhas (cerca de 72%), a concentração no ponto JAG-09 era maior quando comparada ao ponto JAG-08. Na maioria das campanhas (8/11), a concentração deste parâmetro estava dentro do padrão máximo determinado na resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces de classe 2 em ambientes lóticos (2,18 mg/L). No ponto JAG-09 apenas 3 campanhas estavam acima do padrão e, no ponto JAG-08 somente 2 campanhas se apresentavam acima do padrão.

Os esgotos, em geral, representam a principal fonte de poluição e origem do nitrogênio. Quando esses efluentes são lançados nos corpos d'água, juntamente com fósforo e outros nutrientes, provocam o enriquecimento do meio aquático, levando à eutrofização. Esse processo pode favorecer o crescimento excessivo de organismos que utilizam esses nutrientes, especialmente as algas, podendo causar sérios prejuízos aos diversos usos da água,

comprometendo o abastecimento público e gerando poluição pela morte e decomposição desses organismos.

Figura 7 - Comportamento do Nitrogênio Total em cada data e pontos de monitoramento.



Fonte: Autor (2024).

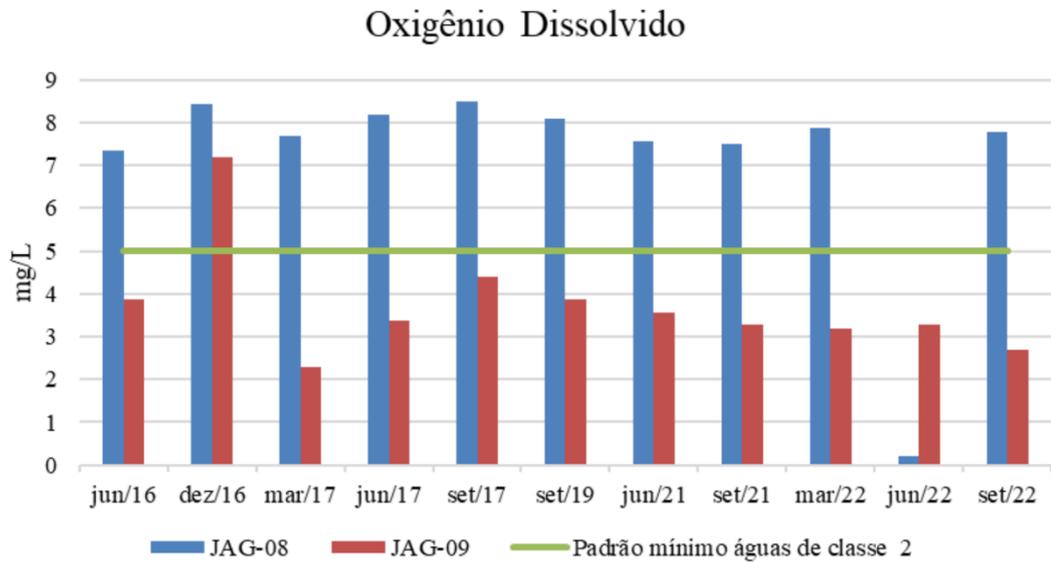
O oxigênio dissolvido em águas doces de classe 2 deve estar em um padrão mínimo de 5 mg/L, segundo a resolução CONAMA nº 357/2005. O ponto JAG-08 se mantém dentro do padrão em quase todas as campanhas (com exceção da campanha do mês de junho de 2022), entretanto, somente em uma das campanhas o ponto JAG-09 se mantém dentro do padrão mínimo de 5mg/L de OD.

A concentração de oxigênio tem grande influência da zona eufótica pelas comunidades responsáveis pela produção primária (fitoplâncton, perifíton e macrófitas aquáticas) (JONASSON, 2004). Em um estudo da qualidade da água e do sedimento de lagoas marginais no sul da Amazônia, realizado por Oliveira, Cruz e Figueiredo (2024), relacionaram as menores médias de oxigênio na Lagoa Aguapé em relação à Lagoa do Padre, nas duas épocas do ano, com a expressiva ocorrência de macrófitas aquáticas.

Quedas nas concentrações de oxigênio dissolvido em corpos d'água pode ocorrer tanto de forma direta, devido à mistura com águas desoxigenadas, tanto de forma indireta, em função do consumo de oxigênio para decomposição de material orgânico lançado no corpo hídrico (SÁ, 2023).

Na figura 8 pode-se observar as concentrações em cada campanha, além disso, em cerca de 90% das campanhas apresenta-se uma redução na concentração de OD no ponto JAG-09 em relação ao ponto JAG-08.

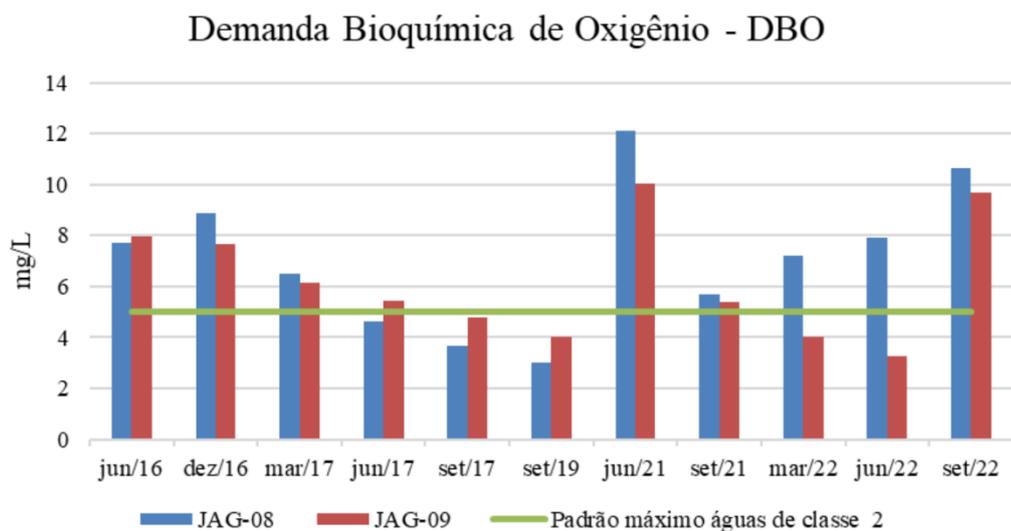
Figura 8 - Comportamento do Oxigênio Dissolvido em cada data e pontos de monitoramento.



Fonte: Autor (2024).

A figura 9 apresenta o comportamento da DBO ao longo da série histórica, em cada um dos pontos estudados.

Figura 9 - Comportamento da DBO em cada data e pontos de monitoramento.



Fonte: Autor (2024).

Em 3/11 das campanhas (cerca de 27%), o ponto JAG-08 estava dentro do padrão máximo determinado pela resolução CONAMA n° 357/2005 (5 mg/L). Já no ponto JAG-09,

4/11 das campanhas estavam dentro do padrão. Quando comparados entre si, em cerca de 63% das coletas (7/11 campanhas) o ponto JAG-08 tinha uma DBO maior que o ponto 09, enquanto somente em 4/11 campanhas de monitoramento o ponto JAG-09 apresentou uma DBO maior.

Um aumento das concentrações de DBO em um corpo hídrico é normalmente causado por insumos de materiais variados de origem predominantemente orgânica. Isso também se deve, provavelmente, à uma possível baixa taxa de pluviosidade e à alta taxa de evaporação (SANTOS *et al*, 2018). À medida que a decomposição avança, a quantidade de matéria orgânica biodegradável disponível diminui, resultando em uma redução na DBO, enquanto o OD pode permanecer baixo devido à baixa taxa de reposição de oxigênio. Como comentado na análise do comportamento do oxigênio dissolvido, macrófitas aquáticas podem contribuir para a desoxigenação da água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da análise do comportamento do IQA, pode-se observar uma clara deterioração na qualidade da água em função do lançamento de efluentes. O comportamento do IQA mostra uma redução da qualidade da água no ponto JAG-09, localizado a jusante do ponto de despejos de efluentes da rede de coleta de esgotos do município, evidenciando interferência na qualidade da água devido ao lançamento de esgotos no rio.

O índice de estado trófico evidenciou uma deterioração da qualidade da água no que diz respeito aos níveis de eutrofização da água. O ponto JAG-08 se comportou com maior estabilidade, variando somente entre duas classes (Mesotrófico e eutrófico). Entretanto, o ponto JAG-09 evidenciou uma maior variabilidade de níveis de trofia durante a série histórica, passando por três classes diferentes (Mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico), mostrando o impacto negativo do ponto de lançamento de efluentes sobre o nível de eutrofização do manancial estudado.

A análise individual das concentrações de fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido e da demanda bioquímica de oxigênio corroboram com os resultados apresentados pelos índices, tanto o IQA, quanto o IET.

Com isso, as informações dispostas evidenciam a importância do uso de índices na compreensão das informações da rede de monitoramento da qualidade da água pelo público leigo. Além disso, as informações aqui dispostas podem auxiliar nas tomadas de decisões no âmbito da gestão das águas e embasar/justificar a necessidade de implantação de uma estação

de tratamento de água na cidade, afim de preservar o ecossistema aquáticos e os seus usos múltiplos.

Recomenda-se, para projetos futuros, uma avaliação mais profunda sobre os aspectos da qualidade da água do manancial estudado, levando em consideração aspectos como a taxa de precipitação, vazão durante o período estudado, bem como uma maior frequência temporal de monitoramento para melhorar a acurácia e precisão do estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021. 332 p., il. ISBN 9786588101193. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/90683. Acesso em: 21 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual**. Brasília: ANA, 2024. 118 p., il.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: ANA, 2020. 57 p., il.; color. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/85813.

ANDRADE, Larice Nogueira de. **Autodepuração dos corpos d'água**. Revista da Biologia, São Paulo, Brasil, v. 5, n. 1, p. 16–19, 2018. DOI: 10.7594/revbio.05.04.

BRASIL Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 2017. 92 p.

BRASIL. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1o da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Seção 1, p. 4-8.

CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969; Gaia, 2010.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas interiores no Estado de São Paulo. 2023**. CETESB. São Paulo, 2021.

ESTEVES, Francisco de Assis (coord.). **Fundamentos de limnologia**. 3.ed Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790 p. ISBN 9788571932715.

GUIDICINI, G; JARDIM, W. D. **Evolução da Seção de Barragens em Açudes no Nordeste, dos Primórdios até Orós**. São Paulo - SP: Tribo da Ilha, 2021. 280 p.

JONASSON, Petur M. Benthic Invertebrates. In: O'SULLIVAN, Patrick E.; REYNOLDS, Colin S. (Eds.). **The Lakes Handbook, Volume 1: Limnology and Limnetic Ecology**. Oxford: Blackwell Science, 2004. p. 341-416.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina, Df: Embrapa, 2001. (Embrapa Cerrados. Documentos, 33).

NOVAIS, R. P.; CARVALHO JUNIOR, A. P.; OLIVEIRA, M. A. **A perenização de rios pela construção de açudes para o combate à seca no semiárido nordestino**. Geopauta, Vitória da Conquista, v. 6. 2022.

ONU BR – NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **A Agenda 2030**. 2015.

PESSOA, J. O.; ORRICO, S. R. M.; LORDÊLO, M. S. **Qualidade da água de rios em cidades do Estado da Bahia**. Engenharia sanitaria e ambiental, v. 23, n. 4, p. 687–696, 2018.

ROSA, Claudionor Alves da Santa; OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; SAAD, Antonio Roberto. **MONITORAMENTO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) E SEUS PARÂMETROS POR SÉRIES TEMPORAIS, TENDO COMO ESTUDO A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COTIA, SÃO PAULO, BRASIL**. I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016.

SÁ, Marcelo. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Editora Blucher, 2023.

SILVA, Alriberto Gemano; SOUZA, Luiz Di. **EFEITOS ANTROPICOS E SAZONAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DO CARMO**. HOLOS, [S. l.], v. 5, p. 122–136, 2013.

DOI: 10.15628/holos.2013.1197. Disponível em:

<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1197>.

SOUZA, Juliana Rosa de; *et al.* **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil.** REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. ISSN 1982-5528.

VON SPERLING, Marcos V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 592 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.7)

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1). inclui bibliografia.