

Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Joanes (Bahia), ao longo de 10 anos e identificação de fontes poluidoras

Kleber O. Viscard Junior^{1,2} e Vânia P. Campos*¹

¹Mestre em Química Analítica (ênfase em Química Ambiental), Universidade Federal de Bahia, Brasil.

²Doutora em Química Analítica, Professora do Instituto de Química da UFBA, Brasil. (*Autor correspondente: vaniaroc@ufba.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 17/09/2021 – Revisado em: 24/11/2021 – Aceito em: 31/01/2022

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Joanes abastece em cerca de 40% a Região Metropolitana de Salvador. Mesmo assim, tem sofrido muitos impactos ambientais nos recentes anos. A qualidade dessas águas foi estudada em 18 pontos ao longo da bacia. Foram calculados os índices IQA (Índice de qualidade da água), IET (Índice do Estado Trófico) e IVA (Índice de Preservação da Vida Aquática). O IQA mostrou pontos na calha principal apresentando água ruim praticamente ao longo dos 10 anos. Afluentes também tiveram classificação entre ruim e péssima por todo o período. O IET classificou 50% dos pontos como ambiente supereutrófico ou hipereutrófico. As barragens apresentaram melhores resultados para os 3 índices. O IVA classificou muitos pontos da calha do rio e em afluentes com águas de qualidade ruim ou péssima. Mais de 80% dos pontos amostrados na bacia violaram os padrões de qualidade regulamentados pela Resolução CONAMA 357/05 para água doce classe 2. Resultados comprovam também a degradação da bacia em relação à pesca, o que vem sendo reclamado há anos pela população ribeirinha, que hoje se depara com a grande escassez de peixes no rio, antes, seu principal alimento. Fontes de poluição predominantes na bacia são esgotos sem tratamento. O rio Joanes e seus afluentes tem usos preponderantes comprometidos de forma acentuada. O estudo assegura um melhor entendimento sobre a poluição da bacia do rio Joanes e espera-se que possa subsidiar ações de gerenciamento por parte de órgãos estaduais e municipais para o controle rigoroso da qualidade da água da bacia hidrográfica.

Palavras-Chaves: Rio Joanes, Bacia hidrográfica, Índices de Qualidade de Água.

Evaluation of the water quality of the Joanes river basin (Bahia – Brazil) over 10 years and identification of polluting sources

ABSTRACT

The Joanes river hydrographic basin supplies around 40% of the Metropolitan Region of Salvador. Even so, it has suffered many environmental impacts in recent years. The quality of these waters has been studied at 18 points along the basin. Were calculated the indexes WQI (Water Quality Index), TSI (Trophic State Index) and ALI (Aquatic Life Preservation Index). The WQI showed points in the main gutter showing poor water practically over the 10 years. Affluents were also rated between poor and very poor throughout the period. The TSI classified 50% of the points as a super eutrophic or hyper eutrophic environment. The dams showed better results for the 3 indexes. The ALI classified many points of the river channel and in tributaries with poor or very poor quality waters. More than 80% of the points sampled in the basin violated the quality standards regulated by CONAMA Resolution 357/05 for freshwater class 2. Results also prove the degradation of the basin in relation to fishing, which has been claimed for years by the riverside population, which today is faced with the great scarcity of fish in the river, what once was their main food. Predominant sources of pollution in the basin are untreated sewage. The Joanes River and its tributaries have their main uses severely compromised. The study ensures a better understanding of the pollution in the Joanes River basin and it is expected that it should support management actions by state and municipal agencies for the rigorous control of the water quality of the hydrographic basin.

Keywords: Joanes River; Hydrographic Basin; Water Quality Index

Viscard Junior, K.O., Campos, V.P. (2022). Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Joanes - Bahia, ao longo de 10 anos e identificação de fontes poluidoras. Meio Ambiente (Brasil). v.3, n.5, 045-066.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

1. Introdução

A bacia hidrográfica do rio Joanes, situa-se entre a capital do Estado da Bahia, Salvador e Região Metropolitana. Nela estão inseridas atividades produtivas de mineração, agropecuária, indústrias, empreendimentos urbanísticos, turísticos e de lazer, entre outras. Esta bacia vem sendo impactada ao longo dos anos, principalmente com lançamento de efluentes domésticos e industriais, disposição a céu aberto de lixo, ocupação desordenada do solo e desmatamento (INEMA, 2016).

O rio Joanes se estende por uma área aproximada de 1200 km², percorrendo um curso de cerca de 250 km da nascente até sua foz, divisa entre os municípios baianos Lauro de Freitas e Camaçari. Junto com seu afluente principal, o rio Ipitanga, é responsável por cerca de 40% do abastecimento de água da região, existindo nos seus cursos um conjunto de barragens (INEMA, 2016).

Para avaliar a qualidade de determinado corpo hídrico, surgiram índices, como resultado da crescente preocupação social com os impactos ambientais causados pelo desenvolvimento populacional. O principal objetivo dos índices é converter dados de complexos parâmetros em uma informação compreensiva, não somente por técnicos como por pessoas não técnicas (MPCB, 2019).

Os índices de qualidade de água são projetados para responder diferentes questões, sendo considerados diferentes grupos de parâmetros que são mais representativos do que outros para cada caso (Oliveira, Campos & Medeiros, 2010; Kumar, Kumar & Kumari, 2018; Perrin et al., 2018; Nasab et al., 2018).

O primeiro Índice de Qualidade de Água (Horton, 1965) foi seguido por autores que desenvolveram um índice semelhante (Brown et al., 1970), com o apoio da *National Sanitation Foundation (NSF)*: o índice *NSFWQI*. A partir deste, foram feitas adaptações, com variação de alguns dos parâmetros originalmente considerados. Uma destas adaptações resultou no IQA usado no Brasil desde 1975 (CETESB, 2017a). O objetivo do uso do IQA era servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental de Recursos Hídricos. Ele utiliza 9 parâmetros de qualidade de água: Coliformes Termotolerantes (CT); pH; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Nitrogênio Total (N_{total}); Fósforo Total (P_{total}); Temperatura; Turbidez; Sólidos Totais (ST) e Oxigênio Dissolvido (OD).

Outros índices mais específicos também foram desenvolvidos e vem sendo aplicados a rios brasileiros. Entre estes estão: o Índice de Qualidade das Águas para a Proteção da Vida Aquática (IQA_{PVA}), que usa amônia total e oxigênio dissolvido, ambos parâmetros extremamente importantes para a preservação da vida aquática (Silva & Jardim, 2006); o IET (Índice do Estado Trófico), que tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, considerando os parâmetros P_{Total} e clorofila- *a* (CL-*a*) (Silva & Jardim, 2006; Santos et al., 2018; Santos et al., 2017); o IVA (Índice de Preservação da Vida Aquática), que avalia a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral e considera a toxicidade de contaminantes químicos sobre organismos aquáticos, informando não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia (CETESB, 2017a); o IAP (Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público), que define se a água captada exigirá mais ou menos cuidados em seu tratamento e é composto por parâmetros organolépticos, bem como substâncias tóxicas.

Alguns autores mostram uma maior adequação de um índice do que outro, para determinado corpo hídrico, mesmo que tenham a mesma finalidade. Menezes et al. (2018) compararam o IQA usado no Brasil com o IQA_{BASCARÁN}, que pode trabalhar com mais de 20 parâmetros. Essa comparação também foi feita com o índice desenvolvido pelo Conselho Canadense de Meio Ambiente (Almeida & Oliveira, 2018). A diferença em resultados entre índices de mesma finalidade, deve ocorrer principalmente pelo fato daquele que apresenta resultados mais restritivos, levar em consideração e incorporar no seu cálculo variáveis mais representativas da bacia hidrográfica, especialmente em relação à toxicidade.

Outros índices de qualidade de água semelhantes ao IQA usado no Brasil são também usados em outros países (Banda & Kumarasamy, 2020a; Lkr, Singh & Puro, 2020; Beshiru et al., 2018; Al-Afify, Othman & Ramadan, 2018; Yadav & Jamal, 2018; Varshney & Jamal, 2018; Abbas & Hassan, 2018; Briciu, Graur & Dino, 2020). Muitos consideram um número maior de parâmetros de qualidade de água (En-nKhili et al., 2020; Zaoui, 2020; Varol, 2020; Banda & Kumarasamy, 2020a), incluindo elementos tóxicos (Wu et al, 2020). Um exemplo disso é o Índice de qualidade de água usando 13 variáveis, chamado de Universal, que foi considerado robusto e tecnicamente estável quando aplicado em mais de 400 amostras de bacias hidrográficas da África do Sul (Banda & Kumarasamy, 2020b). Outros índices também assim considerados, foram: o Índice de Qualidade de Água Iraniano (IRWQIsc), composto com 10 parâmetros, aplicado a dados de 6 anos de monitoramento (Bui et al, 2020) e o IQA associado ao Índice de Tolerância à Poluição (ITP), aplicado na Nigéria, com o objetivo de verificar a adequação das águas para consumo humano e para a vida aquática (Odigie, 2019; Son

et al., 2020).

Aplicação de modelos complexos (Bui et al., 2020; Odigie, 2019; Son et al., 2020; Gaya et al., 2020) e de técnicas estatísticas multivariadas vem sendo associada a índices de qualidade de água (Tripathi & Singal, 2019; Gardiman et al., 2018; Yousefi, Zahedi & Niksokhan, 2018; Varol, 2020; Matta et al., 2020; Bastos et al., 2018). Além disso, aplicações de conjunto de rede neural artificial melhoraram o desempenho de modelos, usando técnica de pré-processamento de dados de elementos traços e compostos orgânicos, como pesticidas e BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos) (Othman et al., 2020); Rezaie-Balf et al. (2020).

O monitoramento da qualidade das águas também pode ser feito com associações de parâmetros tradicionais usados nos índices de qualidade com ferramentas que permitam uma visão holística do efeito dos compostos químicos no ambiente, como testes moleculares (Brito & Luz, 2015).

O programa oficial de monitoramento de águas superficiais do estado da Bahia, Programa Monitora (SEIA, 2021), executado pelo INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), mostra, assim como outros programas desse tipo em outros estados, a grande diversidade de usos dos corpos hídricos e também as submissões constantes de despejos de efluentes urbanos e industriais.

Normalmente, o monitoramento oficial da qualidade das águas no Brasil determina poucos parâmetros, permitindo no máximo o cálculo do IQA e do IET, deixando de determinar outros parâmetros, legislados e/ou não legislados, importantes pela sua toxicidade. Isso seria necessário para que fosse possível calcular também outros índices de qualidade de água, que representariam outros aspectos de importância. Isso não é diferente com o Programa Monitora, que tem um papel de subsidiar órgãos e secretarias ambientais do estado para um gerenciamento mais adequado dos recursos hídricos.

Lançamentos indevidos de esgotos domésticos sem tratamento, importantes fontes pontuais de nutrientes e matéria orgânica para os cursos d'água, tem importante papel na qualidade das águas dos rios brasileiros. As águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de OD, o qual é consumido no processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica. Concentrações de OD abaixo de 2 mg L⁻¹ comprometem a vida aquática, principalmente dos peixes (ANA, 2018). A ANA publicou a Resolução nº 2.079/2017 (ANA, 2017), estabelecendo procedimentos para análise e emissão de outorgas para diluição de efluentes domésticos, com a finalidade de esgotamento sanitário. Passou então a ser exigido oficialmente no país o tratamento de esgoto com no mínimo 60% de índice de remoção da DBO, que é também um indicador importante da poluição das águas por esgotos e possui uma relação inversa com os níveis de OD.

Com a exigência estabelecida pela referida Resolução, não seria mais outorgado o lançamento de esgoto bruto nos corpos d'água. No entanto, dados recentes mostram que, considerando as cinco regiões brasileiras, em média, são tratados apenas cerca de 51% do total de esgoto gerado. Nas macrorregiões, os índices variam de 21% no Norte a 59% no Sudeste (SNIS 2021).

O crescimento desordenado das grandes metrópoles, onde a maioria dos rios urbanos encontra-se poluída, tem levado à degradação da qualidade das águas, ocorrendo conseqüentemente a escassez de água com qualidade adequada para consumo humano. Isso vem acontecendo em Salvador e Região Metropolitana, impactando de forma direta a qualidade das águas de uma das principais bacias hidrográficas do estado da Bahia, a bacia do rio Joanes.

Normalmente, dados de qualidade de água gerados oficialmente não são muito explorados e/ou divulgados, deixando de ser aproveitados para reforçar a necessidade de atenção dos órgãos estaduais e municipais com relação à degradação observada de corpos hídricos, o que poderia ser pelo menos minimizado com o controle das fontes poluidoras.

Dessa forma, este trabalho visou estudar a condição de qualidade da água ao longo da bacia do rio Joanes, utilizando diferentes índices, visando verificar as possíveis causas da sua visível degradação. Dados do Programa Monitora, levantados ao longo de anos viabilizaram esse estudo, juntamente com dados primários, gerados neste trabalho. O estudo visou assegurar um melhor entendimento da situação, acompanhando local e temporalmente o impacto de potenciais emissões nesta importante bacia hidrográfica, responsável por grande parte do abastecimento de água da região, além de subsidiar ações de gerenciamento por parte de órgãos estaduais e municipais para o controle rigoroso da qualidade da água da referida bacia hidrográfica.

2. Material e Métodos

Foram levantados dados secundários de parâmetros de qualidade da água superficial da bacia do rio Joanes, obtidos pelo Programa Monitora e divulgados pelo INEMA (SEIA, 2021). O período desse levantamento foi de 10 anos. Isso permitiu caracterizar a condição de qualidade das águas da bacia entre 2008 e 2017, através dos índices IQA e IET.

O Índice de Qualidade da Água IQA é calculado pela equação 1 (CETESB, 2017a):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade” (CETESB, 2017a), em função de sua concentração ou medida;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade (valores encontrados em cada curva) e

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

O Índice do Estado Trófico (IET) é calculado para rios pela equação 2 (CETESB, 2017a):

$$IET = [IET (P) + IET (CL)]/2 \quad \text{Equação 2}$$

Onde,

IET (P) e IET (CL) são os Índices:

$$IET (P) = 10 \times k [6 - (0,42 - 0,36 \times (\ln P)/\ln 2)] - 20$$

$$IET (CL) = 10 \times k [6 - (-0,7 - 0,6 \times (\ln CL)/\ln 2)] - 20$$

P: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$;

CL: concentração de clorofila medida à superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$;

ln: logaritmo natural.

No período de 2016 a 2017 foram analisados também, parâmetros adicionais àqueles determinados pelo monitoramento oficial do Estado, referentes a concentrações de metais e surfactantes. Para isso foram utilizadas as mesmas amostras coletadas pelo Programa Monitora naquele período. Esses dados, não contemplados pelo referido programa, foram compilados junto com a série de dados secundários oficiais, divulgados na web, possibilitando calcular também o IVA, índice que além do grau de trofia da água reporta a qualidade da mesma em termos ecotoxicológicos, o que não seria possível considerando apenas os dados secundários disponíveis.

O Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA) é calculado pela equação 3 (CETESB, 2017a):

$$IVA = (IPMCA \times 1,2) + IET \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

$$IPMCA = VE \times ST \quad \text{Equação 4}$$

Sendo,

IPMCA: Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática;

VE: Valor da maior ponderação do grupo de variáveis essenciais;

ST: Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas.

A tabela 1 (a, b e c) apresenta a classificação da água para fins de diagnóstico, segundo os índices IQA, IET e IVA, de acordo com a ponderação calculada.

Tabela 1 - Classificação / Legenda para avaliação dos Índices de Qualidade de Água:

(a) IQA; (b) IET; (c) IVA

(a)		(b)	
CATEGORIA	PONDERAÇÃO	CATEGORIA	PONDERAÇÃO
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$	ULTRAOLIGOTRÓFICO	$IET \leq 47$
BOA	$51 < IQA \leq 79$	OLIGOTRÓFICO	$47 < IET \leq 52$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$	MESOTRÓFICO	$52 < IET \leq 59$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$	EUTRÓFICO	$59 < IET \leq 63$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$	SUPEREUTRÓFICO	$63 < IET \leq 67$
		HIPEREUTRÓFICO	$67 < IET$

(c)	
CATEGORIA	PONDERAÇÃO
ÓTIMA	$IVA \leq 2,5$
BOA	$2,6 < IVA \leq 3,3$
REGULAR	$3,4 < IVA \leq 4,5$
RUIM	$4,6 < IVA \leq 6,7$
PÉSSIMA	$IVA \geq 6,8$

A Figura 1 apresenta os pontos amostrais ao longo da bacia hidrográfica em estudo e a Tabela 2 a identificação, e localização desses pontos.

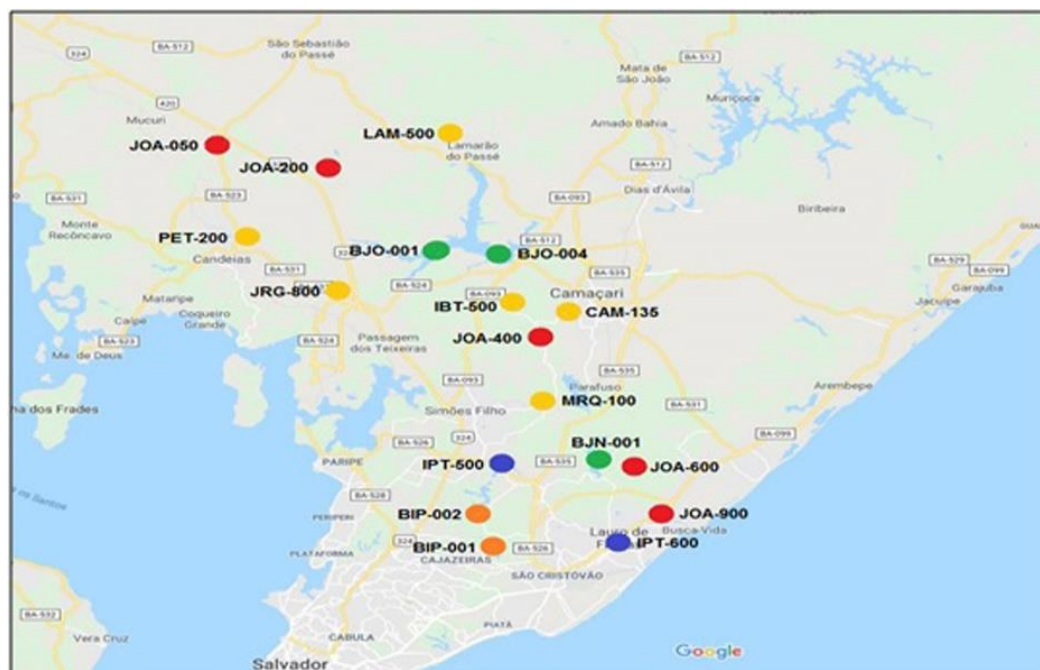
Figura 1 - Pontos amostrais na Bacia do Rio Joanes, sobre mapa

Tabela 2 - Identificação e localização dos pontos amostrais na Bacia do rio Joanes e prováveis fontes de emissão de poluentes em cada ponto

Ponto amostral	Identificação	Especificação da localização	Georreferenciamento		Prováveis fontes de emissão de poluentes
			Latitude (S)	Longitude (N)	
Município: Salvador					
BIP-001	B. Ipitanga II	Área rural	12° 51' 19"	38° 23' 23"	Área com baixa influência antrópica
IPT-500	Rio Ipitanga	À margem de barramento do Complexo de Represas: IPT I e II	12° 49' 51"	38° 22' 00"	Emissões pontuais de esgotos domésticos e difusas de agricultura (fertilização). Ponto apresentando alto estado de trofia
BIP-002	B. Ipitanga I	Área rural	12° 53' 51"	38° 22' 59"	Área com baixa influência antrópica
Município: Lauro de Freitas					
BJN-001	B. Joanes I	Próximo à uma comunidade rural	12° 50' 11"	38° 19' 42"	Recebe afluentes poluídos com efluentes industriais e urbanos que deságuam antes da barragem.
IPT-600	Rio Ipitanga	Zona comercial/urbana	12° 53' 12"	38° 19' 12"	
JOA-600	Rio Joanes	À jusante da Barragem Joanes I	12° 50' 86"	38° 18' 39"	Esgotos domésticos da localidade, lançados sem tratamento
JOA-900	Rio Joanes	Área de elevado nível de urbanização	12° 51' 44"	38° 17' 00"	
Município: Candeias					
BJO-001	B. Joanes II	Área rural. Estação de captação de água para tratamento	12° 40' 22"	38° 25' 18"	Área com baixa influência antrópica
JRG-800	Rio Jacarecanga	Área rural com influência urbana e industrial (AI)	12° 42' 38"	38° 27' 27"	Emissões de esgotos (moradias no entorno do ponto), de atividade industrial e de agricultura.
PET-200	Rio Petecada	Área Industrial, não muito afastada do centro urbano. À jusante da Barragem Joanes II	12° 40' 31"	38° 30' 30"	Emissões industriais e urbanas
JOA-200	Rio Joanes	Área rural	12° 36' 21"	38° 27' 32"	Baixa atividade humana no local. Indícios de criação de animais no entorno.
Município: Simões Filho					
BJO-004	B. Joanes II	Área rural, afastada de centros urbanos	12° 40' 26"	38° 22' 33"	Ponto aparenta não sofrer influência antrópica
IBT-500	Rio Itaboaã	Área residencial	12° 41' 12"	38° 23' 67"	Emissões de esgotos não tratados
MRQ-100	Rio Muriqueira	Rio chegando a este ponto após receber efluentes de toda a cidade	12° 46' 17"	38° 22' 28"	Emissões de esgotos de toda a cidade.
Município: Camaçari					

CAM-135	Rio Camaçari	Área urbana, próximo a ind. de cerâmica. Ausência de mata ciliar	12° 42' 45"	38° 20' 08"	Área com alta influência antrópica. Emissões urbanas e industriais
JOA-400	Rio Joanes	Área rural, à montante da B. Joanes I e à jusante da B. Joanes II. Próximo à ind. de cerâmica	12° 43' 8,0"	38° 21' 16"	Recebe águas do IBT 500, que não aparenta boa qualidade. Emissões industriais e rurais.
Município: São Sebastião do Passé					
LAM-500	Rio Lamarão	Área rural, à jusante de metalurgia	12° 36' 17.71"	38° 23' 29.26"	Prováveis emissões industriais e rurais. Ponto aparenta boa qualidade de água
JOA-050	Rio Joanes	Área rural, próximo a cruzamento de adutora de água e dutos da Petrobrás	12° 35' 32"	38° 32' 27"	Área com baixa influência antrópica

B = Barragem

2.1 Amostragem e análises

As coletas de água superficial realizadas pelo Programa Monitora, seguiram procedimentos do Guia Nacional de Coleta de Amostras (CETESB & ANA, 2011). A depender da localização do ponto amostral, foi usado bote inflável ou balde em aço inox, com corda presa na alça.

Amostras coletadas foram divididas em 3 frascos de polipropileno e 2 de borosilicato; um sem preservante e os outros com adição de carbonato de magnésio ($MgCO_3$) para determinar Clorofila-a (CL-a), tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) para Coliformes Termotolerantes (CT), ácido sulfúrico (H_2SO_4) para fósforo total e nitrogênio total (P_{Total} e N_{Total}) e ácido nítrico (HNO_3) para metais. Em seguida foram transportadas à temperatura abaixo de 4°C e estocadas em câmara fria até o momento da análise, com prazo respeitado para cada parâmetro.

pH, OD e temperatura foram determinados no momento da coleta, utilizando-se um pHmetro HI-98128 e um oxímetro HI-9146, respectivamente, ambos da marca Hanna. As análises adicionais do período de 2016 a 2017, determinaram metais (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn), por espectroscopia de emissão atômica indutivamente acoplada com plasma (ICP-OES), marca Perkin Elmer, modelo OPTIMA 7300DV. Amostras para este fim, previamente acidificadas, foram filtradas por membrana Millipore (nitrato de celulose) 0,45 µm, usando sistema à vácuo de vidro sinterizado e conservadas em tubos Falcon de 50 mL. Elas foram analisadas após calibração do equipamento com solução de 1,0 mg L⁻¹ Mn⁺², para ajuste da Gaussiana do sinal de emissão e alinhamento do detector com a tocha. Curvas de calibração (0,05 a 4 mg L⁻¹) foram preparadas com padrões monoelementares SpecSol, de 1000 mg L⁻¹, preparando-se um padrão multielementar com os seis metais em concentração final de 10 mg L⁻¹. Deste, foram preparados os pontos da curva, ajustando-se previamente a acidez. As análises foram também controladas com brancos, replicatas e adição de padrões às amostras.

A qualidade das curvas analíticas foi estimada através da linearidade. Linhas de emissão foram escolhidas adotando-se aquela, onde a curva de calibração apresentou o melhor coeficiente de determinação ($R^2 > 0,995$), na faixa de concentração utilizada. Os Limites de Quantificação foram calculados com base no desvio padrão de 10 brancos independentes e no coeficiente angular da curva analítica de calibração. Os valores variaram entre $3,1 \times 10^{-3}$ mg L⁻¹ Cd e $8,1 \times 10^{-2}$ mg L⁻¹ Pb.

Demais parâmetros foram determinados seguindo os procedimentos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Baird et al, 2017), indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros analisados e respectivas técnicas utilizadas

Parâmetros	Técnica Analítica (Método usado)*
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotométrica (SMEWW 10200H)
Coliformes termotolerantes	Tubos Múltiplos (SMEWW 9221 C, E)
DBO ₅	Eletrométrica (SMEWW 5210 B)
Fósforo Total	Espectrofotométrica (SMEWW 4500 P, E)
Nitrogênio Total	Espectrofotométrica (SMEWW 4500 N, C)
Sólidos Totais	Gravimétrica (SMEWW 2540 B)
Surfactantes	Espectrofotométrica (SMEWW 5540 C)
Turbidez	Nefelométrica (SMEWW 2130 B)

*Em Baird et al, 2017

Todos os parâmetros determinados neste trabalho foram utilizados para calcular índices de qualidade de água (IQA, IET e IVA) ao longo da bacia em estudo, visando acompanhar espacial e temporalmente a evolução da qualidade das águas.

3. Resultados e Discussão

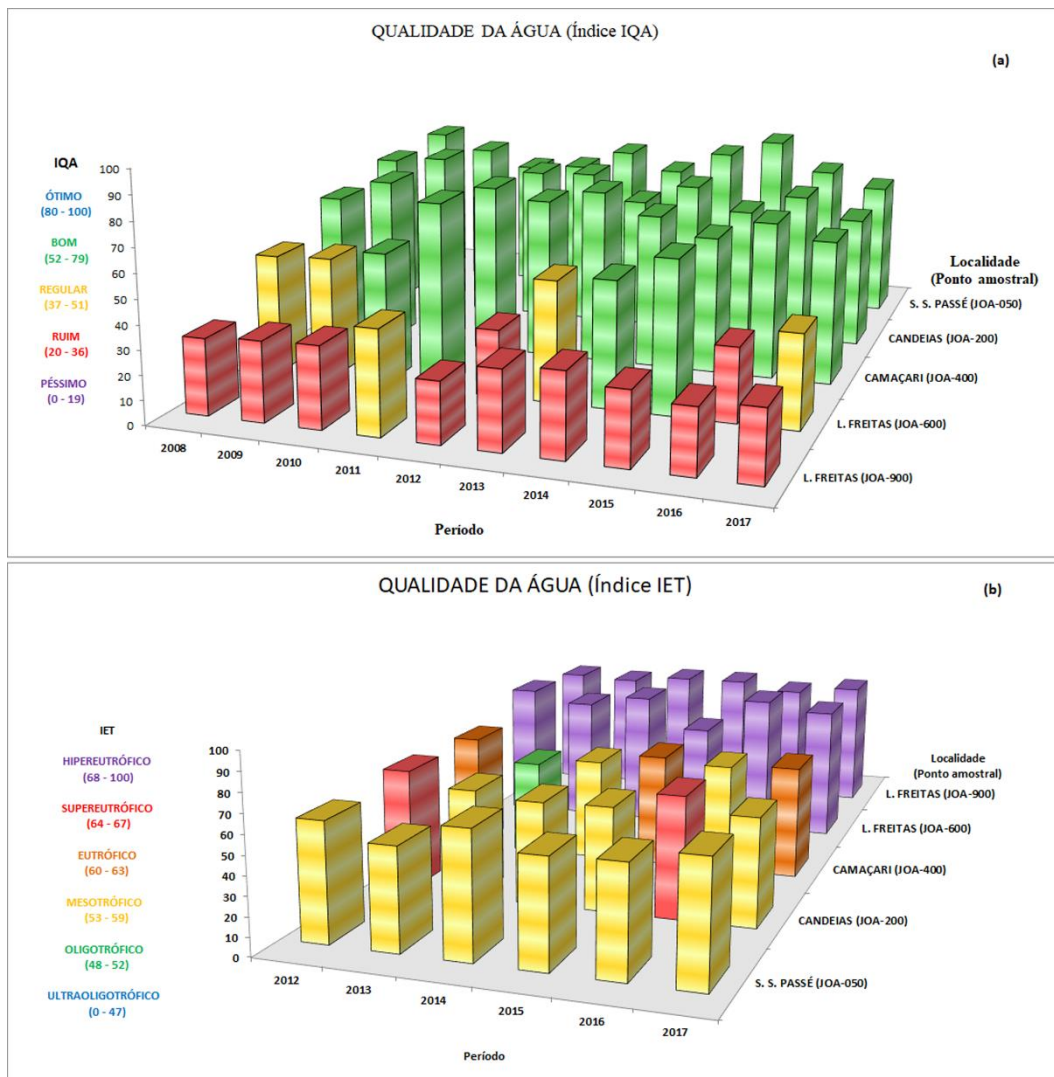
3.1 Condição da qualidade da água da Bacia do rio Joanes considerando os índices IQA (2008 – 2017) e IET (2012 – 2017).

Na primeira etapa do trabalho, foram considerados dois índices para avaliar a qualidade das águas da bacia do rio Joanes, ao longo de 10 anos, em 18 pontos de amostragem: o IQA, que fornece informação básica sobre a qualidade das águas e o IET, que avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias (CETESB, 2017a).

As Figuras 2 a 4 (a e b) apresentam a evolução da qualidade da água na bacia do rio Joanes em relação a médias anuais dos índices IQA (2008 a 2017) e IET (2012 a 2017), nos pontos amostrais na calha principal do rio Joanes, em afluentes da bacia e em barragens. Na calha principal do rio (Figura 2a) dois pontos chamaram a atenção: JOA-900 e JOA-600, no município de Lauro de Freitas. São pontos localizados em áreas urbanas, sem saneamento básico adequado. O primeiro, é o ponto da rede de monitoramento mais próximo da foz e mesmo assim apresentou qualidade ruim praticamente ao longo de todo o período de 10 anos (exceção em 2011), provavelmente como consequência da instalação de vários condomínios nessa área ao longo desse período. O ponto JOA-600, apresentou maior variação do IQA, ruim apenas em 2013 e 2016. Isso pode ser justificado pela sua localização à jusante da barragem Joanes I, o que pode amenizar sua potencial poluição, pela diluição com águas menos poluídas.

No caso do estado trófico (Figura 2b), esses dois pontos não apresentaram variação durante todo o período, com indicação constante de ambiente hipereutrófico. Ou seja, estes trechos do rio se encontram bastante afetados por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, podendo ocorrer episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos. (CETESB, 2017b).

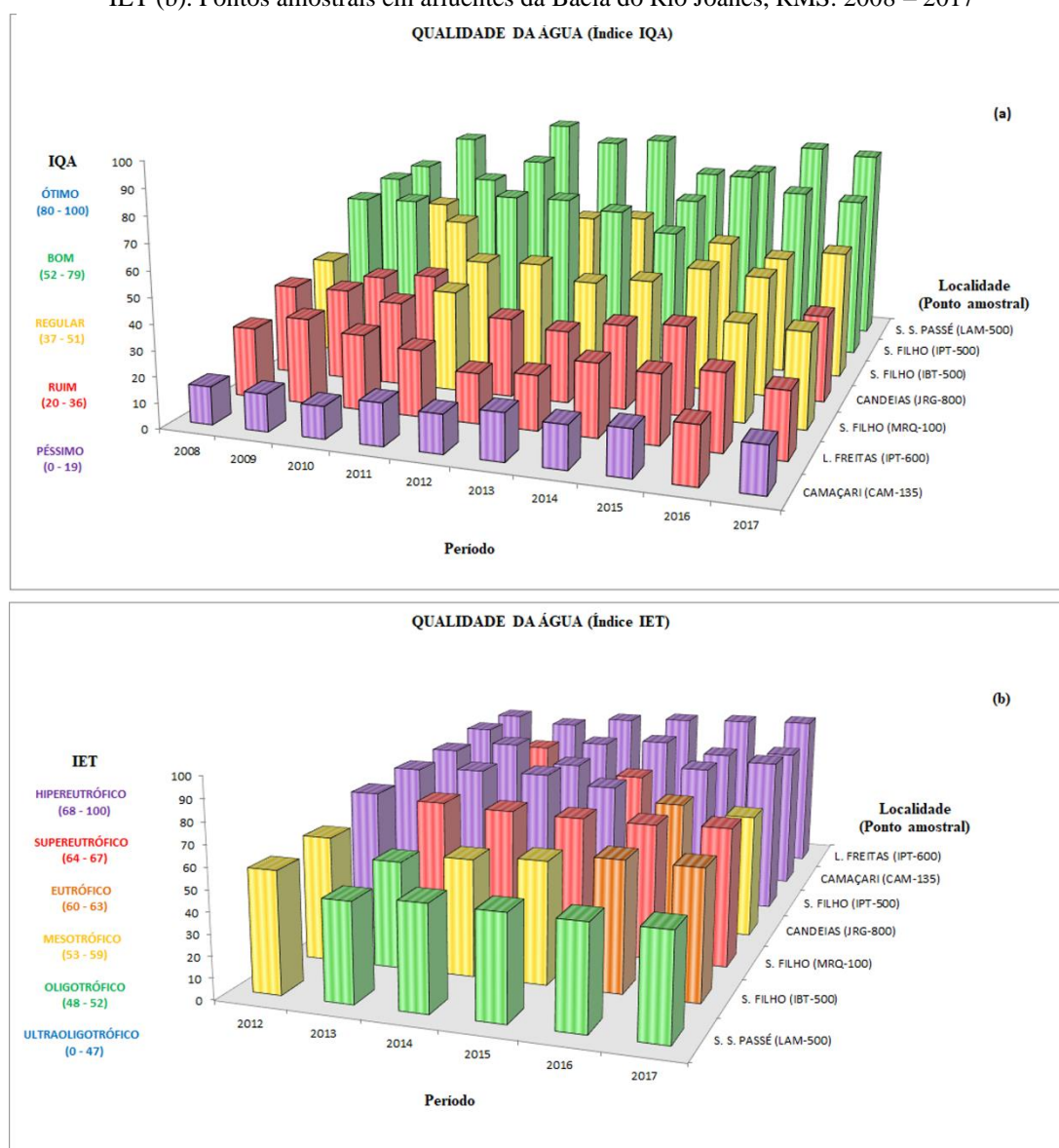
Figura 2 - Evolução da qualidade da água, em função de médias anuais dos índices IQA (a) e IET (b). Pontos amostrais na calha principal do Rio Joanes, RMS. 2008 – 2017



A Figura 3 a e b (afluentes do rio Joanes), mostram piores resultados em relação aos pontos localizados na calha principal. Principalmente nos municípios de Camaçari (ponto CAM-135), de Simões Filho (rio Muriqueira, ponto MRQ-100) e no rio Ipitanga, o principal afluente do rio Joanes (IPT-600), em Lauro de Freitas, onde a qualidade da água foi considerada péssima ou ruim, durante os 10 anos de monitoramento. Com relação ao estado trófico, além desses dois pontos (CAM-135 e IPT-600), outro ponto no rio Ipitanga, IPT-500, no município de Salvador, se mostrou hipereutrofizado (Figura 3b).

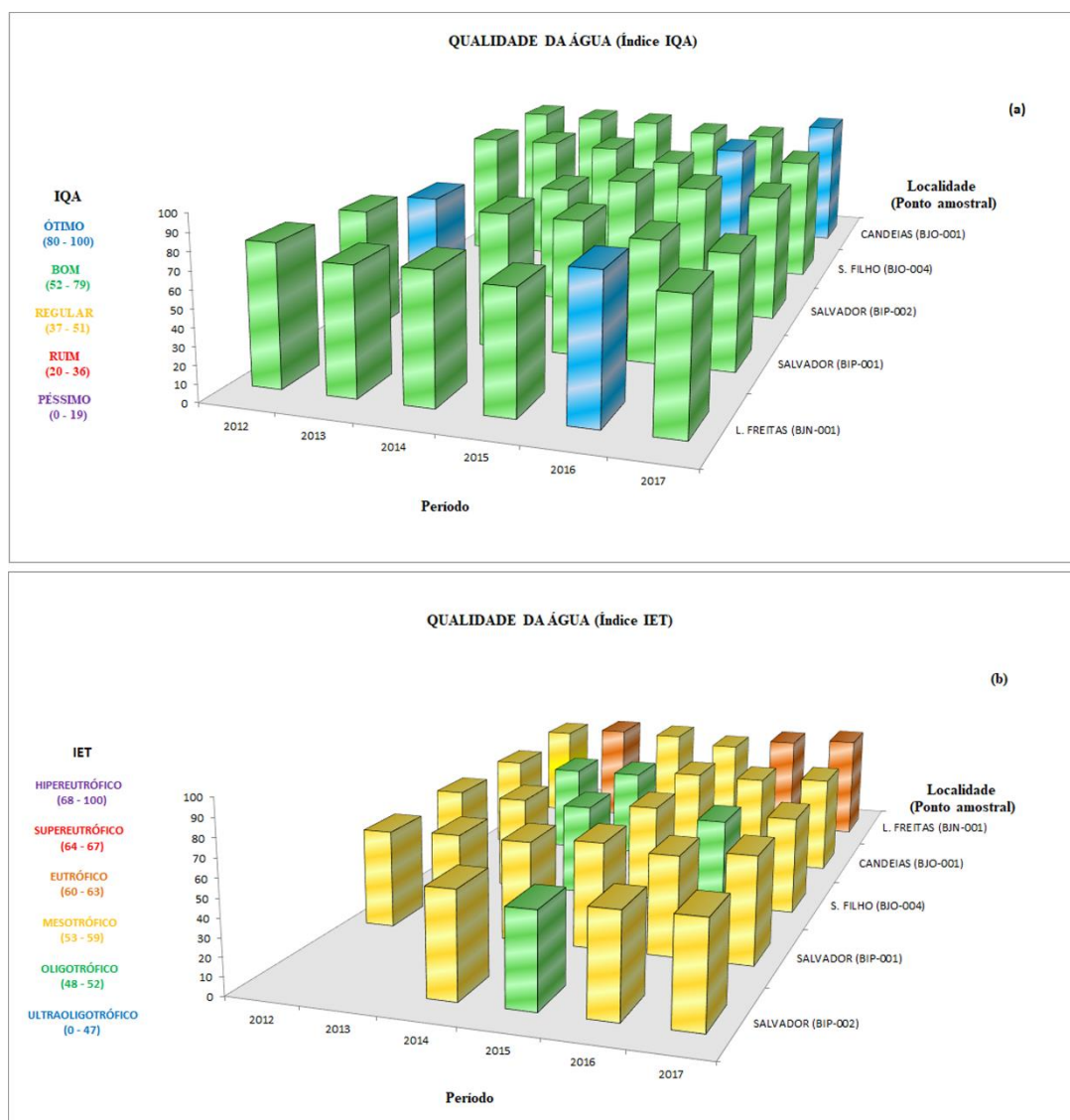
Como se pode observar na Tabela 1, a qual descreve a localização e prováveis emissões dos pontos amostrais, esses afluentes estão entre os mais poluídos na bacia do rio Joanes, recebendo emissões de esgotos sem tratamento, emissões industriais e oriundas de áreas de agricultura. Mais adiante, quando serão apresentados e discutidos os parâmetros de qualidade violados nas águas da bacia em relação aos limites da Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 20025), será possível observar que aqueles dois afluentes em Camaçari e Lauro de Freitas tiveram o maior número de padrões violados, apresentando inclusive as concentrações mais altas de fósforo total, responsável principal pela hipereutrofização daqueles ambientes.

Figura 3 - Evolução da qualidade da água, em função de médias anuais dos índices IQA (a) e IET (b). Pontos amostrais em afluentes da Bacia do Rio Joanes, RMS. 2008 – 2017



A Figura 4 a e b, pontos em barragens, mostra melhores resultados para os dois índices, quando comparados com pontos na calha principal e em afluentes (Figuras 2 e 3, respectivamente). Nesses pontos, localizados em barragens, predomina o fator de diluição, uma vez que a concentração de contaminantes trazidos pelos afluentes e/ou emitidos diretamente por fontes industriais e urbanas é diminuída em função do grande volume de água represada. Além disso, processos físicos, químicos e biológicos, nesse tipo de ambiente aquático, são favorecidos, promovendo a restauração das características ambientais naturalmente (Pereira Junior, 2021). Por estas razões, como mostra a Figura 4a, os pontos amostrais nas barragens apresentaram IQA entre as categorias Boa e Ótima.

Figura 4 - Evolução da qualidade da água, em função de médias anuais dos índices IQA (a) e IET (b). Pontos amostrais em barragens da Bacia do Rio Joanes, RMS. 2008 – 2017



Com relação ao estado trófico nas barragens, a Figura 4b mostra que o ambiente da barragem Joanes I (BJN-001) no município de Lauro de Freitas, estava eutrofizado em 50% do período monitorado durante 6 anos. Como pode ser visto na Tabela 1, à montante dessa barragem desaguam os rios Camaçari e Muriqueira, antes comentados, poluídos com emissões industriais e urbanas, estando estes entre os afluentes do rio Joanes mais impactados (Figura 3 e Tabela 3). Essa barragem, como a Joanes II, é utilizada para abastecimento público nos Sistemas de Abastecimento de Água de Salvador e do Recôncavo Baiano. Desde 2016 elas vêm passando por processos de remediação, com aplicação de Argila Modificada Ionicamente com Lantânio (cerca de 40 ton a cada 4 meses, no primeiro ano e de 50 a 70 ton no segundo). Este processo vem continuando variando-se o tipo de remediador a partir de 2019, quando passou a ser usado um remediador biológico. Estudos de Guimarães Neto et al. (2019) mostraram que o remediador químico à base de alumínio aplicado na barragem Joanes I, reservatório que vinha sofrendo intensos *blooms* de cianobactérias nos últimos anos, apresentou baixa eficácia na redução de fósforo e cianobactérias, como está destacado na figura 4b para os anos de 2016 e 2017, contrariando as expectativas do provedor de saneamento.

Dessa forma, à exceção dos pontos anteriormente comentados nos municípios de Simões Filho, Camaçari e Lauro de Freitas, que se encontravam em condições de alta degradabilidade, na maioria dos casos, os resultados mostram ao longo dos anos, qualidade de água entre Regular e Boa, considerando-se o IQA.

Com relação ao IET, os resultados indicam corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade das águas, mas, em níveis ainda aceitáveis (estado mesotrófico) e outros com alta produtividade, indicando impacto por atividades antrópicas, que interferem nos seus múltiplos usos (CETESB, 2017b).

Estudo feito por Costa et al. (2020) no rio Piabanha (RJ) mostrou a melhora significativa da qualidade das águas desse rio ao longo dos anos, em função do progresso do sistema de coleta e tratamento de esgotos na região. O mesmo poderá ocorrer no rio Joanes, caso providências sejam tomadas pelos órgãos competentes no sentido de excluir as intensas fontes de emissão de esgotos, com a adoção de políticas públicas adequadas.

3.2 Condição da qualidade da água da Bacia do rio Joanes considerando-se o Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA), no período de 2016 - 2017

Estudar uma bacia hidrográfica com mais de um índice de qualidade de água é válido, pois não havendo um IQA específico para a bacia de interesse, o uso de diferentes IQA's aproxima da realidade as classificações finais da qualidade das águas em avaliação (Menezes et al., 2018).

Os dados adicionais (primários) gerados neste trabalho, no período de 2016 a 2017 (concentrações de metais e surfactantes) juntamente com outros parâmetros de qualidade de água, possibilitaram calcular outros índices, ainda não aplicados às águas da bacia hidrográfica do rio Joanes. O Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) foi calculado para que junto com o IET tornasse possível o cálculo do IVA, o qual avalia a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral, considera contaminantes químicos tóxicos e informa principalmente sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos.

Apesar de aproximadamente em 90% das amostras analisadas não ter sido quantificada a presença de metais, para efeito do cálculo do IVA, o grau de eutrofização, a concentração de oxigênio dissolvido e a concentração de substâncias tensoativas nas amostras, já impactaram o suficiente para mostrar a condição de qualidade das águas da bacia em estudo, em relação ao aspecto ecotoxicológico das suas águas e do seu estado trófico.

A Tabela 3 apresenta a média de 10 anos para o IQA e de 6 anos para o IET, juntamente com a classificação da água em função do IVA nos diferentes pontos, considerando a média de 4 campanhas amostrais entre 2016 e 2017. Não foi possível amostrar no ponto PET-200 (Rio Petecada, município de Candeias) nesse período, porque o mesmo se encontrava seco. Este ponto, que apresentou em média ambiente supereutrófico ao longo de 4 anos de monitoramento (Tabela 3), provavelmente não teria uma boa classificação pelo IVA, uma vez que este índice inclui o IET no seu cálculo. Observa-se em alguns casos dispersão alta referente às médias apresentadas nessa tabela, principalmente em relação ao IQA, em função do longo período considerado (10 anos), onde estão incluídas diferentes condições ambientais, como meteorológicas e variação de efluentes lançados no rio ao longo desse período.

A Tabela 3 ainda mostra que, com exceção das barragens, apenas três pontos não apresentaram classificação RUIM ou PÉSSIMA para o IVA, no período: JOA-050 e JOA-400, na calha principal do rio, nos municípios de São Sebastião do Passé e Camaçari, respectivamente e LAM-500 (afluente do rio Lamarão), também em São Sebastião do Passé. O primeiro ponto encontra-se em área rural, com baixa influência antrópica (Tabela 2). O ponto JOA-400, também na calha principal do rio, encontra-se entre duas barragens e embora receba um tributário (IPT-500) classificado como hipereutrófico, sua qualidade deve estar influenciada por processos de diluição dos contaminantes, em função do grande volume de água da barragem localizada à montante.

Os pontos no rio Joanes e nos demais afluentes, cujas águas foram classificadas com qualidade ruim ou péssima em relação à preservação da vida aquática, situam-se nos municípios de Lauro de Freitas (todos os pontos aí monitorados), Camaçari, Simões Filho e Salvador. Apenas os dois pontos monitorados em São Sebastião do Passé foram classificados, segundo o IVA como Regular e Ótimo. O primeiro (JOA-050), deve sofrer alguma influência de emissões da área rural, onde se localiza, o que pode ser constatado também pela sua classificação referente ao estado trófico (Tabela 4).

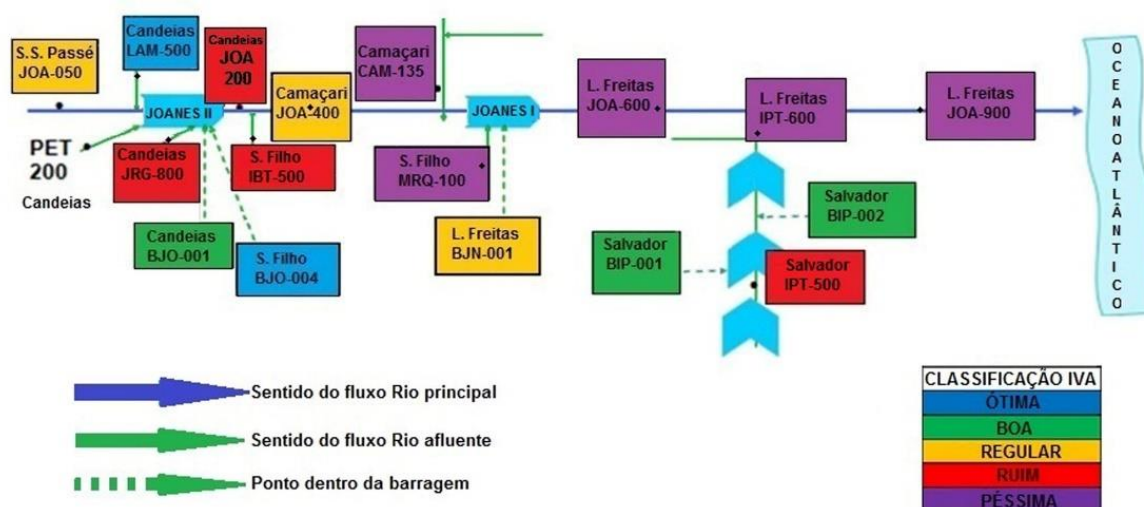
Tabela 4 - Valores médios dos índices IQA (2008 – 2017), IET (2012 – 2017) e IVA (2016 – 2017) em cada ponto monitorado na Bacia do rio Joanes.

Pontos amostrais/ Município	IQA		IET		IVA	
	Média	Classificação	Média	Classificação	Média	Classificação
JOA-050 / S.S.Passé	64±9	Boa	58±4	Mesotrófico	4,9±1	Regular
LAM-500 / S.S.Passé	70±12	Boa	50±4	Oligotrófico	2,4±0,7	Ótimo
PET-200 / Candeias	48±9	Regular	65±5	Supereutrófico	-	-
JRG-800 / Candeias	40±10	Regular	69±8	Hipereutrófico	7,5±1	Ruim
BJO-001 / Candeias	77±7	Boa	53±2	Mesotrófico	3,2±0,1	Bom
BJO-004 / S. Filho	77±6	Boa	53±3	Mesotrófico	3,2±0,1	Bom
JOA-200 / Candeias	62±8	Boa	59±6	Mesotrófico	5,5±0,9	Ruim
IBT-500 /S.Filho	55±10	Boa	57±7	Mesotrófico	6,5±0,7	Ruim
JOA-400 / Camaçari	65±11	Boa	58±6	Mesotrófico	3,8±1	Regular
CAM-135 / Camaçari	17±5	Péssima	70±6	Hipereutrófico	12±0,1	Péssimo
MRQ-100 / S. Filho	35±7	Ruim	66±7	Supereutrófico	10±1,8	Péssimo
BJN-001 / L. Freitas	75±8	Boa	59±4	Mesotrófico	4,5±1	Regular
JOA-600 / L.Freitas	49±19	Regular	72±8	Hipereutrófico	6,6±2,0	Péssimo
BIP-001 / Salvador	75±8	Boa	56±3	Mesotrófico	3,7±1	Bom
BIP-002 / Salvador	76±6	Boa	55±3	Mesotrófico	3,2±0,1	Bom
IPT-500 / Salvador	60±17	Boa	71±7	Hipereutrófico	6,3±0,9	Ruim
IPT-600 / L. Freitas	29±12	Ruim	75±6	Hipereutrófico	12±0,1	Péssimo
JOA-900 / L. Freitas	32±6	Ruim	70±4	Hipereutrófico	8,6±0,1	Péssimo

Em relação às águas das barragens, o IVA foi determinado como “Regular”, no município de Lauro de Freitas (BJN-001) e entre Bom e Ótimo nas outras barragens, nos municípios de Candeias (BJO-001), Simões Filho (BJO-004) e Salvador (BIP-001 e BIP-002). Os comentários feitos anteriormente referentes à Figura 4, sobre os índices IQA e IET calculados para as barragens são também adequados aqui para os resultados do IVA. O fator de diluição dos contaminantes no grande volume de água represada, além de tratamento especial *in loco* naquelas barragens que são pontos de captação de água para tratamento e posterior distribuição para consumo humano, devem favorecer, em parte, a qualidade das águas das barragens. Apesar disso, as águas de todas as barragens ainda mostravam (até 2017) ambiente classificado como mesotrófico (Figura 4b); ou seja, em um estado intermediário, quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu possível efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias (CETESB, 2017a).

A Figura 5 apresenta o diagrama unifilar da Bacia do Rio Joanes, destacando as classificações para a qualidade da água em função do IVA, em cada ponto monitorado. A figura corrobora com o que foi dito anteriormente, em relação ao estado de degradação do rio Joanes e dos seus afluentes, agravando a qualidade das águas das barragens localizadas à jusante dos mesmos, cuja água é captada para tratamento e abastecimento da população de Salvador e parte da sua Região Metropolitana.

Figura 5 - Diagrama unifilar representando a qualidade da água da bacia do rio Joanes no período de 2016 a 2017, segundo o Índice de Preservação da Vida Aquática



A Figura 5 mostra a predominância nas classificações da qualidade das águas entre ruim e péssima em relação ao Índice de preservação da Vida Aquática (IVA) nos pontos amostrados na calha principal do rio e em afluentes. Isso corrobora não somente com o aspecto desagradável da maioria dos trechos do rio Joanes, mas também com as constantes queixas de pescadores sobre a escassez de peixes na região.

3.3 Classificação da água da Bacia do rio Joanes para múltiplos usos

Os dados compilados nas Tabelas 5 e 6 mostram que, com exceção dos pontos nas Barragens Ipitanga I e II e na Barragem Joanes II, todos os outros pontos de amostragem, incluindo a Barragem Joanes I, violaram a resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) para água doce de classe 2, em algum parâmetro entre os analisados, durante o período do estudo. Isso concorda com os resultados de Almeida & Oliveira (2018) que estudaram ao longo de 4 anos 2 pontos na calha do rio Joanes e dois outros em afluentes, todos entre os 18 pontos, cuja qualidade da água foi analisada neste trabalho.

O Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado da Bahia (CEPRAM) em sua Resolução N° 1.101/95 (BAHIA, 1995) enquadrou na classe 2 o rio Joanes e seus afluentes, da nascente até determinado trecho no município de Lauro de Freitas, onde se encontra o ponto JOA 900, incluído na rede de amostragem considerada neste trabalho e o rio Ipitanga e seus afluentes até a confluência com o rio Joanes, trecho onde se localiza o ponto IPT-600. Dessa forma, entre os usos pretendidos para esses trechos da bacia do rio Joanes estavam, naquela época do referido enquadramento: abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação, aquicultura e atividade de pesca (BRASIL, 2005). Embora neste trabalho não tenham sido calculados todos os índices de qualidade de água específicos para todas essas pretensões de uso, os resultados obtidos mostram a degradação da bacia e a inadequação das suas águas para diversos usos.

Tabela 5 - Parâmetros de qualidade de água em pontos coletados em afluentes do rio Joanes. (2016 – 2017) (n=4)

Parâmetro	UNIDADE	CAM 135 (Camaçari)	IBT 500 (S. Filho)	JRG 800 (Candeias)	LAM 500 (S. S. Passé)	MRQ 100 (S. Filho)	BIP 001 (Salvador)	BIP 002 (Salvador)	IPT 500 (Salvador)	IPT 600 (L. Freitas)
D.B.O.	mg L ⁻¹ O ₂	10 ± 1	3,0 ± 0,6	11 ± 2	<2,0	5,0 ± 2	<2,0	<2,0	3,0 ± 0,6	14 ± 4
OD – Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	1,8 ± 0,4	4,0 ± 0,6	4,7 ± 0,5	6,5 ± 0,4	3,3 ± 0,6	8,0 ± 0,9	8,2 ± 0,1	6,4 ± 1	1,4 ± 0,5
pH		7,3 ± 0,1	6,8 ± 0,1	7,0 ± 0,9	7,1 ± 0,7	6,9 ± 0,1	7,8 ± 0,3	7,8 ± 0,5	7,4 ± 0,2	6,9 ± 0,4
Temperatura	°C	29 ± 0,4	26 ± 0,8	25 ± 2	28 ± 1	26 ± 1	29 ± 1	28, ± 1	28 ± 2	26 ± 1
ST- Sólidos Totais	mg L ⁻¹	346 ± 21	300 ± 86	1166 ± 50	94 ± 13	266 ± 36	171 ± 14	206 ± 26	204 ± 21	311 ± 49
Turbidez	NTU	44 ± 0,4	63 ± 8,0	6,6 ± 2	25 ± 9	18 ± 4	12 ± 4	19 ± 0,1	40 ± 6	36 ± 5
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,003	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031
Chumbo	mg L ⁻¹	<0,08	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081	<0,081
Cobre	mg L ⁻¹	<0,02	<0,020	<0,020	0,021 ± 0,004	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Cromo	mg L ⁻¹	<0,01	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Níquel	mg L ⁻¹	<0,01	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Zinco	mg L ⁻¹	0,053 ± 0,006	<0,0038	0,058 ± 0,005	<0,0038	0,027 ± 0,003	<0,0038	<0,0038	0,0050	<0,0038
Surfactantes	mg L ⁻¹	4,1 ± 0,3	< 0,25	0,32 ± 0,08	0,28 ± 0,04	1,3 ± 0,2	< 0,25	< 0,25	< 0,25	4,0 ± 0,4
Fósforo total	mg L ⁻¹	2,8 ± 0,7	0,14 ± 0,04	1,1 ± 0,3	<0,02	0,80 ± 0,4	0,030 ± 0,01	0,030 ± 0,01	0,20 ± 0,06	1,9 ± 0,4
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	26 ± 4	3,0 ± 1,0	56 ± 3	<1,0	9,0 ± 2	<1,0	2,0 ± 0,6	2,2 ± 0,50	15 ± 3
Clorofila-a	µg L ⁻¹	6,5 ± 2	47 ± 8	243 ± 21	12 ± 0,3	4,2 ± 0,2	7,6 ± 1	8,3 ± 0,7	86 ± 26	68 ± 13
Coliformes termotolerantes	col/100 mL	>1,6x10 ⁴	3,5x10 ³ ± 1,8x10 ³	3,6x10 ³ ± 6,4x10 ²	2,3x10 ± 1,4x10	>1,6x10 ⁴	2,5x10 ² ± 6,3x10	7,6x10 ± 2,6x10	3,8x10 ³ ± 1,1x10 ³	>1,6x10 ⁴

Tabela 6 - Parâmetros de qualidade de água em pontos coletados na Calha principal e barragens do rio Joanes. (2016 – 2017) (n=4)

Parâmetro	UNIDADE	BJN 001 (L. Freitas)	BJO 001 (Candeias)	BJO 004 (S. Filho)	JOA 050 (S. S. Passé)	JOA 200 (Candeias)	JOA400 (Camaçari)	JOA600 (L. Freitas)	JOA 900 (L. Freitas)
D.B.O.	mg L ⁻¹ O ₂	2,0 ± 0,7	< 2	< 2	2,0 ± 0,8	< 2	< 2	7,0 ± 0,3	12 ± 6
OD - Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	6,2 ± 1	6,5 ± 0,9	6,8 ± 0,7	4,1 ± 0,7	3,2 ± 0,9	4,8 ± 1	2,1 ± 0,5	0,73 ± 0,1
pH		7,1 ± 0,3	6,9 ± 0,4	7,0 ± 0,1	6,5 ± 0,2	6,7 ± 0,5	6,9 ± 0,2	6,8 ± 0,2	6,9 ± 0,2
Temperatura	°C	28 ± 2	28 ± 1	27 ± 2	23 ± 2	26 ± 2	27 ± 1	28 ± 2	27 ± 2
ST- Sólidos Totais	mg L ⁻¹	133 ± 12	124 ± 15	117 ± 16	260 ± 57	154 ± 30	162 ± 30	3691 ± 964	10028 ± 2007
Turbidez	NTU	6,0 ± 0,7	4,9 ± 2	5,7 ± 2	28 ± 2	36 ± 7	18 ± 6	26 ± 3	24 ± 8
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0031
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Cromo	mg L ⁻¹	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012
Níquel	mg L ⁻¹	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,0038	< 0,0038	< 0,0038	< 0,0038	< 0,0038	< 0,0038	0,025 ± 0,003	< 0,0038
Surfactantes	mg.L ⁻¹	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,36 ± 0,07	0,80 ± 0,1
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,070 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,030 ± 0,01	0,10 ± 0,03	0,080 ± 0,03	0,050 ± 0,02	1,3 ± 0,6	1,1 ± 0,3
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	< 1,0	< 1,0	< 1,0	2,5 ± 0,7	< 1,0	1,2 ± 0,7	11 ± 3,	10 ± 2
Clorofila-a	µg L ⁻¹	35 ± 1	3,8 ± 1	3,8 ± 0,8	6,9 ± 0,50	8,6 ± 1	6,8 ± 0,3	44 ± 15	17 ± 3
Coliformes termotolerantes	col/100 mL	6,5X10 ² ± 2,1x10 ²	6,6X10 ² ± 2,7x10 ²	2,9x10 ² ± 1,1x10 ²	2,0x10 ² ± 1,0x10 ²	2,3x10 ² ± 9,2x10 ¹	2,9x10 ³ ± 4,7x10 ²	1,2x10 ⁴ ± 6,1x10 ³	> 1,6x10 ⁴

A Tabela 7 apresenta os parâmetros violados em cada ponto, em relação aos padrões de qualidade das águas doces, para a classe 2, estabelecidos naquela Resolução (BRASIL, 2005) como limites individuais para cada espécie. O rio Joanes e seus afluentes, além da barragem Jones I, encontram-se em desacordo com o enquadramento que lhe foi atribuído há 21 anos atrás (BAHIA, 1995), comprometendo seus usos de forma acentuada. Os casos mais críticos estão no trecho final do rio Joanes e do rio Ipitanga, em Lauro de Freitas e do afluente rio Camaçari, com baixíssima concentração de OD ($< 2 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$). OD é um parâmetro de qualidade de água de enorme importância, visto que representa a saúde geral dos ecossistemas aquáticos (Costa et al., 2020). O ponto LAM-500, bem classificado em relação aos 3 índices, foi provavelmente influenciado pela metalurgia de cobre, à jusante da qual se localiza, uma vez que foi detectado este metal naquelas águas cerca de duas vezes acima do padrão legislado.

Tabela 7 - Parâmetros de qualidade de água com padrões violados segundo a Resolução CONAMA 357/05, para águas doces de classe 2, nos diferentes pontos monitorados na bacia do Rio Joanes, no período 2016 – 2017

Ponto amostral (Município)	Parâmetros Violados
CAM-135 (Camaçari)	DBO, OD, Surfactantes, Fósforo Total e CT
IBT-500 (S.Filho)	OD, Fósforo total, Clorofila <i>a</i> e CT
JRG -800 (Candeias)	DBO, OD, surfactantes, Clorofila <i>a</i> e CT
LAM-500 (Lamarão)	Cobre
MRQ-100 (S.Filho)	OD, Surfactantes, Fósforo Total e CT
IPT-500 (Salvador)	Fósforo Total, Clorofila <i>a</i> e CT
IPT-600 (L. Freitas)	DBO, OD, Surfactantes, Fósforo total, Clorofila <i>a</i> e CT
BJN-001 (L. Freitas)	Fósforo Total e Clorofila <i>a</i>
JOA-050 (S.S.Passé)	OD e Fósforo Total e Clorofila <i>a</i>
JOA-200 (Candeias)	OD e Fósforo Total
JOA-400 (Camaçari)	OD e CT
JOA-600 (L. Freitas)	DBO, OD, Fósforo Total, Clorofila <i>a</i> e CT
JOA-900 (L. Freitas)	DBO, OD, Surfactantes, Fósforo Total e CT

DBO= Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD = Oxigênio Dissolvido; CT= Coliformes Termotolerantes.

4. Conclusão

Este estudo, usando 3 índices diferentes de qualidade de água (IQA, IET e IVA) mostrou a degradação da bacia do rio Joanes, considerando suas águas extremamente poluídas na maioria dos trechos, reforçando a necessidade urgente de medidas eficazes, como por exemplo retirada de fontes de emissão de esgotos, inclusive dos afluentes, que mostram piores resultados em relação aos pontos localizados na calha principal, para recuperar a qualidade das suas águas, que vem a longo tempo acumulando prejuízos à flora, fauna e população humana.

Na calha principal do rio, dois pontos localizados em área urbana, em Lauro de Freitas, se destacaram com a qualidade da água ruim praticamente ao longo de todo o período do estudo. O Índice do estado trófico (IET) mostrou que esses pontos estavam hipereutrofizados, ou seja, com características de corpos d'água afetados significativamente por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos.

Com relação a afluentes, em função principalmente da intensidade de emissões de efluentes urbanos e/ou industriais, nos municípios de Camaçari, Simões Filho e Lauro de Freitas, a qualidade da água foi considerada péssima ou ruim, durante os 10 anos do estudo. O estado trófico nesses pontos também se apresentou na pior classificação.

Os pontos localizados em barragens mostraram melhores resultados para os índices IQA e IET quando comparados com pontos na calha principal e em afluentes. Mesmo recebendo afluentes poluídos, a concentração dos poluentes deve ser diluída, em função do grande volume de água represada. Apesar disso,

na barragem Joanes I, no município de Lauro de Freitas, o fator de diluição não parece se sobrepor ao nível de poluição dos afluentes do rio Joanes que ali desaguam, pois durante o período de 6 anos 50% das campanhas de monitoramento mostraram ambiente supereutrofizado.

O Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA) determinado no período de 2016 – 2017, classificou as águas das barragens entre Regular e Boa. Nos pontos da calha principal do rio, exceto JOA-050, em São Sebastião do Passé e JOA-400, em Camaçari, assim como nos afluentes, exceto no ponto LAM-500, em São Sebastião do Passé, este índice classificou as águas com qualidade ruim ou péssima. Esses resultados comprovam a degradação da bacia do rio Joanes em relação à atividade de pesca, o que vem sendo reclamado há anos pela população ribeirinha, que hoje se depara com a grande escassez de peixes no rio, antes, seu principal alimento.

Os principais padrões de qualidade para águas doces de classe 2, violados nos trechos estudados da bacia, com base na Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) apontam para a grande predominância de fontes pontuais de poluição por emissões de esgotos sem tratamento e juntamente com os índices de qualidade de água calculados neste trabalho, mostram que o rio Joanes e seus afluentes, além da barragem Jones I, encontram-se em desacordo com o enquadramento que lhe foi atribuído, o que compromete seus usos de forma acentuada.

Este estudo mostrou que a principal causa da poluição da bacia do rio Joanes é o lançamento de esgotos não adequadamente tratados ou simplesmente não tratados e enfatiza a necessidade urgente da sua remoção para evitar os efeitos adversos ecológicos e/ou sobre a saúde humana sofridos ao longo da bacia durante tanto tempo.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, ao CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento), onde parte das análises químicas foram feitas e ao INEMA (Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), fonte principal dos dados secundários usados neste trabalho, através do Programa Monitora.

6. Referências

Abbas, A. A. A. & Hassan, F. M. (2018). Water Quality Assessment of Euphrates River in Qadisiyah Province (Diwanayah River), Iraq. **Iraqi J. of Agricult. Sci.** 49, 251.

Al-Afify, A. D. G.; Othman, A. A. & Ramadan, M. F. (2018). Characterization of chemical and microbiological quality of Nile River surface water at Cairo (Egypt). **Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali.**, 29, 725. DOI: 10.1007/s12210-018-0721-8.

Almeida, G. S. & Oliveira, I. (2018). Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study-Joanes River, Brazil B. **Environ. Monit. Assess.** 190, 195. DOI: 10.1007/s10661-018-6542-5.

ANA – Agência Nacional de Águas (2017). **Resolução Nº 2.079, de 04 de dezembro de 2017, que estabelece procedimentos para análise e emissão de outorgas de uso de recursos hídricos para diluição de efluentes domésticos, com a finalidade de esgotamento sanitário, em corpos hídricos de domínio da União, e dá outras providências.** Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-ANA/2017/Resolucao-ANA-2079.pdf>. Acessado em dezembro/2021. 2017

ANA – Agência Nacional de Águas (2018). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual.** Disponível em: <https://sinapse.gife.org.br/download/conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-2018-informe-anual>. Acessado em dezembro 2021.

BAHIA- **Resolução CEPRAM-Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado da Bahia nº 1.101 de 22 de setembro de 1995, que dispõe sobre o enquadramento de corpos d'água da Bacia Hidrográfica do rio**

Joanes e sub-bacia Hidrográfica do rio Ipitanga. Diário Oficial de 28.09.95. Disponível em: < http://www.meioambiente.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/2285/ANEXO_14105289275412f69f3403c.pdf >. Acessado em junho 2021. 1995.

Baird, R.; Eaton, A.D.; Rice, E.W. & Bridgewater, L. (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington DC, American Public Health Association.

Banda, T. D. & Kumarasamy, M. V. (2020a). Development of Water Quality Indices (WQIs): A Review. **Pol. J. Env iron. Stud.**, 29 (3), 2011-2021. DOI: 10.15244/pjoes/110526.

Banda, T. D & Kumarasamy, M. (2020b). Development of a Universal Water Quality Index (UWQI) for South African River Catchments. **Water**, 12, 1534. DOI: 10.3390/w12061534.

Bastos, S.Q.; Betarelli Junior, A.A.; Gomes, B.S. M. & Diniz, J.A.de S. Evidências entre a Qualidade das Bacias Hidrográficas e as Características dos Municípios de Minas Gerais. (2018). **Revista de Economia e Sociologia Rural.** Disponível em: <<https://paperity.org/p/186843731/evidencias-entre-a-qualidade-das-bacias-hidrograficas-e-as-caracteristicas-dos-municipios>>. Acessado em junho 2021.

Beshiru, A.; Okareh, O. T.; Chigor, V. N. & Igbinsosa, E. O. (2018). Assessment of water quality of rivers that serve as water sources for drinking and domestic functions in rural and pre-urban communities in Edo North, Nigeri. **Environ. Monit. Assess.**, 190, 387. DOI: 10.1007/s10661-018-6771-7.

BRASIL - Resolução CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente 357/05. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf >. Acessado em dezembro 2021. 2005.

Briciu, A-E; Graur, A. & Dino, O. (2020). Water Quality Index of Suceava River in Suceava City Metropolitan Area. **Water**, 12, 2111. DOI: 10.3390/w12082111.

Brito, L.O. & Luz, L.D. (2015). Avaliação e Monitoramento da Qualidade das Águas: Usando Análises Moleculares. **Rev. Elet. de Gestão e Tec. Amb.** v. 3, n. 2. DOI: 10.17565/gesta.v3i2.13856.

Brown, R. M.; McClelland, N. I.; Deininger, R. A. & Tozer, R. G. A.. (1970). A Water Quality Index – Do we dare? **Water Sewage Works.**, 117, 339-343.

Bui, D.T.; Khosravi, K.; Tiefenbacher, J.; Nguyen, H. & Kazakis, N. (2020). Improving prediction of water quality indices using novel hybrid machine-learning algorithms **Sci. Total Environ.**, 721, 137612. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137612.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2017a). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice D. Índices de Qualidade das Águas.** São Paulo, Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf> >. Acessado em junho de 2021.

CETESB/ANA - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Agência Nacional de Águas (2011). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.** Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf> >. Acessado em junho de 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2017b). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes->

e-relatorios/ >. Acessado em junho de 2021.

Costa, D. A.; José Paulo Soares deAzevedo, J. P. S; Santos, M. A. & Assumpção, R. S. F. V. (2020). Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. **Scientific Reports**, 10:22038. DOI:10.1038/s41598-020-78563-0.

En-nKhili, H.; Najy, M; Etebaai, I.; Talbi, F. Z.; Kharrim, K. E. & Belghyti, D. (2020). Application of Water Quality Index for the Assessment of Boudaroua Lake in the Moroccan Pre-Rif. **GEOIT4W-2020**, 36, 1-5. DOI: 10.1145/3399205.3399248.

Gardiman Jr, B. S.; Garcia, G. O.; Cecílio, R. A.; Loos, R. A.; Mafia, R. G.; Abad, J. I. M.; Simão, J. B. P. & Barbosa, V. H. B. (2018). Variáveis-Chave para Determinação da Qualidade da Água em Microbacias com Plantios de Eucalipto. **Ciência Florestal**, 28, 127. DOI: 10.5902/1980509831590.

Gaya, M. S.; Abba, S. I.; Abdu, A. M.;Tukur, A. I.; Saleh, M. A.; Esmaili, P. & Wahab, N. A. (2020). Estimation of water quality index using artificial intelligence approaches and multi-linear regression. **Int. J. Art. Intell.** 9, 126. DOI: 10.11591/ijai.v9.i1.pp126-134.

Guimarães Neto, J.O.A., Luz, L.D. & Aguiar Junior, T.R. Effects of an aluminum-based chemical remediator on the cyanobacteria population: a study in the northeast of Brazil. **Environ Monit Assess** 191, 743 (2019). DOI:10.1007/s10661-019-7926-x.

Horton, R. K. (1965). An Index-Number System for Rating Water Quality. **J. Water Pollut. Control. Fed.** 37, 300–306. DOI: <https://www.jstor.org/stable/25035251>.

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2016). **Relatório Técnico Nº 028/2016**. Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2016/11/Relat%C3%B3rio-de-Monitoramento-028-2016-Rios-de-Salvador.pdf> >. Acessado em abril de 2020.

Kumar, D.; Kumar, V. & Kumari, S. (2018). Study on Water Quality of Hindon River (Tributary Of Yamuna River). **Rasayan J. Chem.** 2018, Vol. 11 (4) 1477-1484. DOI: 10.31788/RJC.2018.1143075.

Lkr, A.; Singh, M. R. & Puro, N. (2020). Assessment of water quality status of Doyang River, Nagaland, India, using Water Quality Index. **Appl. Water Sci.** 10, 46. DOI: 10.1007/s13201-019-1133-3.

Matta, G.; Nayak, A.; Kumar, A. & Kumar, P. (2020). Water quality assessment using NSFQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India. **Applied Water Sci.** 10, 206. DOI: 10.1007/s13201-020-01288-y

Menezes, J. M.; Sabino, H.; Cristo, V.; Prado, R. B.; Lima, L. A.; Lullo, L. B. D. & Silva Jr, G. C. (2018). Comparação entre os Índices de Qualidade de Água Cetesb e Bascarán. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, Brasil. DOI: 10.11137/2018_1_194_202.

MPCB - Maharashtra Pollution Control Board (2019). **Water Quality Status Maharashtra 2018-19**, Mumbai, The Energy & Resources Institute, 278. Disponível em: https://www.mpcb.gov.in/sites/default/files/focus-area-reports-documents/Water_Quality_Status_of_Maharashtra_2018_19_30092019.pdf >. Acessado em dezembro de 2021.

Nasab, M. T.; Grimm, K.; Bazrkar, M. H.; Zeng, L.; Shabani, A.; Zhang, X. & Chu, X. (2018). SWAT Modeling of Non-Point Source Pollution in Depression-Dominated Basins under Varying Hydroclimatic Conditions. **Int. J. Environ. Res. Public Health.** 15, 2492. DOI: 10.3390/ijerph15112492.

Oliveira, C. N.; Campos, V. P. & Medeiros, Y. D. P. (2010). Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no Semi-Árido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Quim. Nova**, 33, 1059.

Odigie, J. O. (2019). Application of Water Quality and Pollution Tolerance Indexes as Effective Tools for River Management. **Punj. Uni. J. of Zoo.** 34, 105. DOI: 10.17582/journal.pujz/2019.34.1.105.113.

Othman, F.; Alaaeldin, M. E.; Seyam, M.; Ahmed, A. N.; Teo, F. Y.; Fai, C. M.; Afan, H. A.; Sherif, M. & El-Shafie, A. (2020). Efficient river water quality index prediction considering minimal number of inputs variables. **Eng. Appl. of Comp. Fluid Mechanics.** 14, 751. DOI: 10.1080/19942060.2020.1760942.

Pereira Junior; A., Miranda; A.F.M., Barros; E.D.A. & Sardinha, A.S. (2021). Self-depuration capacity in a lotic environment based on the mathematical model of Streeter-Phelps in northeastern Para. **Research Society and Development** 10(5):1-20, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14890>> Acessado em julho 2021.

Perrin, J.; Salles, C.; Bancon-Montigny, C.; Rais, N.; Chahinian, N.; Dowse, L.; Rodier, C. & Tournoud, M. (2018). Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers. **Environ. Monit. Assess.** 190, 70. DOI: 10.1007/s10661-017-6396-2.

Rezaie-Balf, M.; Attar, N. F.; Mohammadzadeh, A.; Murti, M. A.; Ahmed, A. N.; Fai, C. M.; Nabipour, N.; Alaghmand, S. & El-Shafie, A. (2020). Physicochemical parameters data assimilation for efficient improvement of water quality index prediction: Comparative assessment of a noise suppression hybridization approach **J. of Cleaner Production.** 2020, 271, 122576.

Santos, J. J.; Pita, N. S.; dos Santos Junior, A.; Conceição, E.K. S.; Faria, A. C. F. & Souza, V. M. B. (2017). Qualidade Ambiental das Bacias Hidrográficas da Cidade de Salvador e Lauro de Freitas, Bahia. **Anais do 3º Congresso Internacional RESAG**, Belo Horizonte, Brasil, 15.

Santos, R.L.C.R.; Lima, A. S.; Cavalcanti, E.B.; de Melo, C. M. & Marque, M. N. **Eng. Sanit. Amb.** 2018, 23, 33. DOI:10.1590/S1413-4152201715983

SEIA – Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos. (2021). **Programa Monitora.** Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/planos-e-programas/programa-monitora>>. Acessado em junho de 2021.

Silva, G. S. & Jardim, W. de F. (2006). Um novo índice de qualidade da água para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia. **Química Nova**, 29, 689.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Visão Geral ano de referência 2020.** Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acessado em dezembro/2021.

Son, C. T.; Giang, N. T. H.; Trieu P. Thao, T. P.; Nui, N. H.; Nguyen T. Lam, N. T. & Cong, V. H. (2020). Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. **J. Water Supply: Res. Technol.- Aqua**, 69, 160. DOI: 10.2166/aqua.2020.122.

Tripathi, M. & Singal, S. K. (2019). Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India. **Ecol. Indic.** 96, 430. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.09.025.

Varol, M. (2020). Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study*. **Environ. Poll.**, 266, 115417.

DOI:10.1016/j.envpol.2020.115417

Varshney, R. & Jamal, A. (2018). Evaluation of Reservoir Water Quality using Water Quality Index in Govind Ballabh Pant Sagar Reservoir, India. **Rasayan J. Chem.**, 11, 1177. DOI:10.31788/RJC.2018.1134023.

Wu, H.; Yang, W.; Yao, R.; Zhao, Y.; Zhao, Y.; Zhang, Y.; Yuan, Q. & Lin, A. (2020). Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 27, 35449. DOI: 10.1007/s11356-020-09682-4.

Yadav, H. L. & Jamal, A. (2018). Assessment of Water Quality in Coal Mines: A Quantitative Approach. **Rasayan J. Chem.**, 11, 46. DOI: 10.7324/RJC.2018.1111961.

Yousefi, H.; Zahedi, S. & Niksokhan, M. H. (2018). Modifying the analysis made by water quality index using multi-criteria decision making methods. **J. of African Earth Sci.**, 138, 309. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2017.11.019.

Zaoui, L. (2020). Assessment of water quality bounamoussa river in el tarf region using water quality index (Algeria). **Int. J. Hydro.**, 4, 299. DOI: 10.15406/ijh.2020.04.00258.