

Cálculo do Índice de Qualidade da Água usando a composição iônica e comparação com o modelo multiplicativo (IQA -NSF)

Calculation of the Water Quality Index using ionic composition and comparison with the multiplicative model (WQI -NSF)

P. J. C. Santos; A. S.C. Monteiro; J. P.H. Alves*

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

**jphalves@uol.com.br*

(Recebido em 16 de julho de 2025; aceito em 29 de setembro de 2025)

Nesse trabalho o IQAi, calculado com base na composição iônica, foi usado para avaliar a qualidade da água dos reservatórios Jacarecica II, Dionísio Machado e Três Barras, que contém diferentes concentrações de sólidos totais dissolvidos. O IQAi e a classificação das águas para consumo humano (entre parêntese) foram 24,2 (excelente) para o Jacarecica II; 132 (pobre) para o Dionísio e 685 (inadequada) para o Três Barras. Para as mesmas amostras, os valores do IQA (NSF) desenvolvido pela National Sanitation Foundation e a classificação (entre parênteses) foram 74 (boa) para o Jacarecica II; 64 (boa) para Dionísio e 59 (boa) para o Três Barras. Os resultados mostraram que o IQA (NSF) não é adequado para avaliar a qualidade da água de amostras com sólidos totais dissolvidos maiores que 500 mg L⁻¹, constituindo-se o IQAi numa alternativa viável a ser usada nesses casos.

Palavras-chave: IQA usando íons, IQA (NSF), reservatórios.

In this study, the WQI_i, calculated based on the ionic composition, was used to evaluate the water quality of the Jacarecica II, Dónísio Machado and Três Barras reservoirs, which contain different concentrations of total dissolved solids. The WQI_i and the classification of water for human consumption (in parentheses) were 24,2 (excellent) for Jacarecica II; 132 (poor) for Dionísio Machado and 685 (inadequate) for Três Barras. For the same samples, the IQA(NSF) values developed by the National Sanitation Foundation and the classification (in parentheses) were 74 (good) for Jacarecica II; 64 (good) for Dionísio and 59 (good) for Três Barras. The results showed that the WQI (NSF) is not suitable for assessing the water quality of samples with total dissolved solids greater than 500 mg L⁻¹, making the WQI_i a viable alternative to be used in these cases.

Keywords: WQI using ions, WQI (NSF), reservoirs.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os Índices de Qualidade da Água (IQAs) tem sido ferramentas utilizadas para a avaliação da qualidade da água [1]. Apresentam a vantagem de utilizar um número reduzido de parâmetros de qualidade da água, transformando-os em um único valor global [2, 3]. Podem também ser usados para comparar estados de diferentes corpos de água, no intervalo espaço – tempo [1, 4]. Desse modo se constituem em ferramentas valiosas para o planejamento de ações de gestão e podem também, ser usados para o acompanhamento do monitoramento contínuo de recursos hídricos [1, 3, 5].

Existem disponíveis na literatura vários IQAs [1], sendo o mais comumente utilizado o IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation /NSF, EUA [6]. Esse índice foi desenvolvido para água doce e por isso, tem uma limitação em relação aos sólidos totais dissolvidos (STD), pois atribui para valores de STD acima de 500 mg L⁻¹, um valor constante e igual a 32, para o subíndice (qi) relacionado aos STD. Isso pode levar a desvios significativos na classificação da qualidade da água. O subíndice é um valor indicativo da qualidade da água para um determinado parâmetro e é calculado em função da concentração do parâmetro, através das curvas de qualidade de cada parâmetro.

Para avaliar a qualidade da água com base apenas na sua composição mineral foi proposto um IQAi, que é calculado usando somente, a composição iônica da amostra da água, o pH e os sólidos totais dissolvidos (STD). Esse IQAi classifica a água, com base na sua composição mineral, em cinco classes de acordo com a sua adequabilidade para o consumo humano [6-10].

Nesse trabalho é apresentado o cálculo do IQAi para a água de três reservatórios, com STD variando de 221 a 8768 mg L⁻¹. A classificação obtida com o IQAi é comparada com a classificação que foi obtida usando o IQA (NSF) e discutido os desvios quando o IQA (NSF) é aplicado a águas com STD superiores a 500 mg L⁻¹.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Como um dos objetivos do estudo foi mostrar os desvios do IQA (NSF) quando é aplicado a águas com STD superior a 500 mg L⁻¹, foram selecionados os reservatórios Jacarecica II, Dionísio Machado e Três Barras, pois mostram variações dos STD de 123 mg L⁻¹ em Jacarecica I até 15821 mg L⁻¹ em Três Barras e diferentes mecanismos de controle das características químicas de suas águas.

O reservatório Jacarecica II está inserido na bacia hidrográfica do rio Sergipe (Figura 1). É formado pelo represamento do Rio Jacarecica, foi projetado principalmente, para atender a demanda de agricultura irrigada e tem uma capacidade de acumulação de 30.400.000 m³ [11, 12]. O reservatório Dionísio Machado está inserido na bacia hidrográfica do rio Piauí, na confluência entre os rios Jacaré e Piauí (Figura 1). Tem capacidade de acumulação de 15.000.000 m³ e é usado principalmente, para o abastecimento humano da cidade de Lagarto e para irrigação do perímetro irrigado Piauí [11, 13].

O reservatório Três Barras está inserido na bacia hidrográfica do rio São Francisco, na região do Baixo São Francisco (Figura 1). Tem capacidade de acumulação de 7.989.600 m³ e foi construído com o objetivo de atender ao abastecimento humano e irrigação, mas devido à elevada salinidade de suas águas, atualmente é usado apenas para pesca e dessedentação de animais [11, 14].

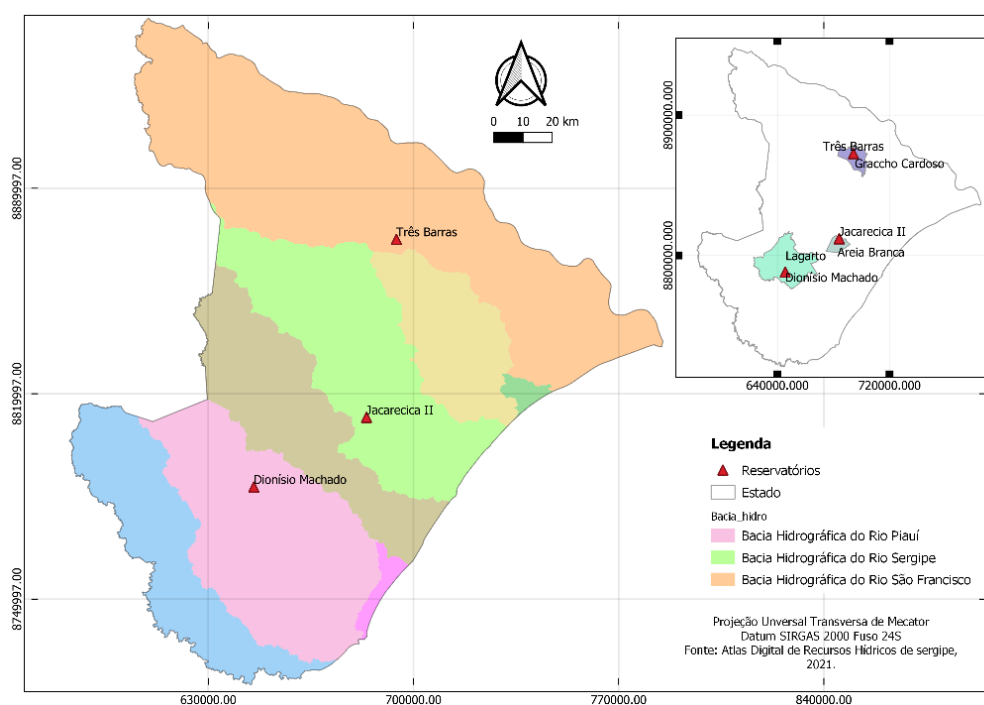


Figura 1: Localização dos reservatórios em Sergipe.

As características químicas das águas dos reservatórios são controladas pelo processo de intemperismo em Jacarecica II, enquanto Três Barras têm como principal mecanismo de controle a evaporação. Já o Dionísio Machado encontra-se atualmente numa fase intermediária, entre o controle pelo intemperismo e evaporação [14].

2.2 Dados hidroquímicos

Para os três reservatórios foram usados os dados hidroquímicos do Programa de Monitoramento das Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe, referentes aos seguintes parâmetros: pH, sólidos totais dissolvidos, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato e bicarbonato. Estes dados referem-se a uma amostra de cada reservatório, coletadas em fevereiro de 2019 [15].

2.3 Cálculo do Índice de Qualidade da Água

2.3.1 IQAi usando a composição iônica

O IQAi tem sido usado para avaliar a qualidade da água para consumo humano, usando os parâmetros, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- e HCO_3^- [6]. Para cada parâmetro foi atribuído um peso (w_i) (Tabela 1) de acordo com a sua importância relativa para a qualidade da água para consumo humano [6]. O IQAi é calculado em três etapas:

1. Cálculo do peso relativo (W_i) de cada parâmetro usando a equação
 $W_i = w_i / \sum w_i$, onde W_i é o peso relativo; w_i peso de cada parâmetro e n o número de parâmetros;
2. Cálculo da classificação (q_i) de cada parâmetro de acordo com a equação
 $q_i = C_i/S_i \times 100$, onde C_i é a concentração em mg L^{-1} de cada parâmetro e S_i é o limite máximo permitido para consumo humano (Tabela 1), estabelecido pela Organização Mundial da Saúde para água de consumo humano [6];
3. E finalmente o cálculo do IQAi usando a equação $\text{IQAi} = \sum W_i \times q_i$.

O IQAi classifica a água em cinco classes como indicado na Tabela 2.

Tabela 1 - Atribuição dos pesos para cada parâmetro da qualidade da água.

Parâmetro	Peso (w_i)	Peso Relativo W_i	Valor máximo permitido (S_i)
pH	3	0,097	8,5
STD mg L^{-1}	5	0,161	1.000
Ca^{2+} mg L^{-1}	3	0,097	150,0
Mg^{2+} mg L^{-1}	3	0,097	100,0
Na^+ mg L^{-1}	4	0,129	200,0
K^+ mg L^{-1}	2	0,065	12,00
SO_4^{2-} mg L^{-1}	4	0,129	250,0
Cl^- mg L^{-1}	4	0,129	250,0
HCO_3^- mg L^{-1}	3	0,097	500,0
Somatório	31	1,000	

2.3.2 IQA (NSF) da National Sanitation Foundation

O cálculo do IQA (NSF) [5] é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros (pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrogênio, sólidos totais, coliformes termotolerantes, e demanda bioquímica de oxigênio), aplicando a Equação:

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

Onde o IQA (Índice de Qualidade da Água) é um número entre 0 e 100; q_i o valor indicativo da qualidade da água para cada um parâmetro em função da concentração, obtido das curvas de qualidade para cada parâmetro e w_i o valor atribuído a cada parâmetro de acordo com sua importância relativa para qualidade da água, é um número entre 0 e 1. O IQA (NSF) também classifica a água em cinco classes como indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da água de acordo com os valores do IQAi [16] e do IQA(NSF) [1].

Intervalo do IQAi	Tipo da água	Intervalo do IQA(NSF)	Tipo da água
< 50	Água excelente	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$	Água ótima
50 – 100	Água boa	$52 \leq \text{IQA} < 80$	Água boa
100 – 200	Água pobre	$37 \leq \text{IQA} < 52$	Água aceitável
200 - 300	Água muito pobre	$20 \leq \text{IQA} < 37$	Água ruim
> 300	Água inadequada	$0 \leq \text{IQA} < 20$	Água Péssima

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a composição iônica (C_i) das amostras, coletadas em fevereiro de 2019, de água dos reservatórios Jacarecica II, Dionísio e Três Barras, utilizada no cálculo do IQAi. Observa-se que as amostras apresentam concentrações distintas de sólidos totais dissolvidos (STD), variando de 221 mg L⁻¹ no Jacarecica II a 8.768 mg L⁻¹ no Três Barras, permitindo avaliar a resposta do índice frente a diferentes níveis de mineralização. A tabela também apresenta os valores calculados de q_i ($q_i = C_i / S_i \times 100$) e de $W_i \times q_i$, considerando os limites máximos permitidos (S_i) e os pesos relativos (W_i) descritos na Tabela 1 [6].

Tabela 3 - Composição iônica das amostras dos reservatórios (C_i) e cálculo do q_i e $w_i \times q_i$.

Parâmetro	Jacarecica II			Dionísio			Três Barras		
	C_i	Q_i	$W_i q_i$	C_i	q_i	$W_i q_i$	C_i	q_i	$W_i q_i$
pH	7,8	91,53	8,86	8,7	102,6	9,93	8,3	97,18	9,40
STD mg L ⁻¹	221	22,10	3,56	1574	157,4	25,39	8768	876,8	141,4
Ca ²⁺ mg L ⁻¹	8,67	5,78	0,56	82,90	55,27	5,35	394,3	262,9	25,44
Mg ²⁺ mg L ⁻¹	11,70	11,70	1,13	139,4	139,4	13,49	751,0	751,0	72,68
Na ⁺ mg L ⁻¹	42,22	21,11	2,72	296,3	148,2	19,12	1684	842,0	108,7
K ⁺ mg L ⁻¹	5,15	42,92	2,77	8,89	74,08	4,78	47,38	394,8	25,47
SO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	6,42	2,57	0,33	264,2	105,7	13,63	984,6	393,8	50,82
Cl ⁻ mg L ⁻¹	59,96	23,98	3,09	749,5	299,8	38,68	4797	1919	247,6
HCO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	74,50	14,90	1,44	83,50	16,70	1,62	190,5	38,10	3,69
IQAi = $\sum_i^n W_i \times q_i$		24,5				132		685	
Classificação		Excelente				Pobre		Inadequada	

Segundo o IQAi, apenas Jacarecica II apresentou condições adequadas para consumo humano, enquanto a água do Dionísio pode ser utilizada, mas os STD já estão ligeiramente acima do valor limite. Enquanto a água de Três Barras foi classificada como imprópria para consumo humana devido à elevada salinidade. Esse resultado demonstra a capacidade do IQAi de refletir diretamente os impactos da composição mineral sobre a potabilidade, aspecto fundamental para regiões semiáridas [6, 7, 11].

Os valores dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA (NSF) estão dispostos na Tabela 4, e a Tabela 5, estes parâmetros são idênticos aos utilizados no cálculo do IQAi, apresenta os subíndices (q_i), valores finais de IQA e respectivas classificações.

Tabela 4 - Valores dos parâmetros usados no cálculo do IQA (NSF).

Parâmetros	Jacarecica II	Dionísio	Três Barras
Coliformes NMP/100mL	240	34	<1,8
pH	7,78	8,72	8,26
DBO ₅ mg L ⁻¹	3,6	11,5	17,5
N-NO ₃ ⁻ mgL ⁻¹	0,069	1,84	2,12
P total mg L ⁻¹	0,07	0,14	0,36
Temperatura °C	31,77	30,08	28,28
Turbidez UNT	2,81	13,01	3,51
STD mg L ⁻¹	221	1574	8768
OD mg L ⁻¹	6,97	9,66	6,51

Tabela 5 - Valores do subíndice de cada parâmetro (qi), IQA (NSF) e classificação.

Parâmetros	Jacarecica II	Dionísio	Três Barras
Coliformes NMP/100mL	31,9	51,5	91,6
pH	90,5	62,1	83,2
DBO ₅ mg L ⁻¹	64,1	71,2	14,4
N-NO ₃ ⁻ mgL ⁻¹	97,5	53,7	50,3
P total mg L ⁻¹	81,3	66,8	37,9
Temperatura °C	94,0	94,0	94,0
Turbidez UNT	93,0	71,8	91,3
STD mg L ⁻¹	70,9	32,0	32,0
OD mg L ⁻¹	96,1	83,5	86,0
IQA (NSF)	74	64	59
Classificação	Boa	Boa	Boa

Apesar das grandes diferenças de salinidade (Tabela 3), o IQA (NSF) classificou as três amostras como “boas” para consumo humano. Tal resultado decorre da limitação estrutural do índice, que atribui um valor constante para o subíndice de STD quando este ultrapassa 500 mg L⁻¹ ($q_i = 32$) [2, 5]. Essa característica impede que o índice diferencie situações de mineralização moderada e extrema, levando, por exemplo, à classificação de Três Barras com 8.768 mg L⁻¹ de STD como “boa”, o que é incompatível com a Portaria GM/MS nº 888/2021.

Estudos anteriores já apontaram que o IQA (NSF), desenvolvido para águas doces norteamericanas, não é adequado para ambientes de alta salinidade [1, 2]. Trabalhos no semiárido brasileiro [11, 12] e em regiões áridas internacionais [6, 7] reforçam a necessidade de índices adaptados ou complementares, como o IQAi, para que as classificações reflitam adequadamente a potabilidade.

O IQAi, por integrar parâmetros iônicos específicos (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) e pH, demonstrou maior sensibilidade à composição mineral, gerando classificações mais realistas para cenários de elevada salinidade. Essa abordagem está alinhada a recomendações internacionais que defendem o uso de índices ajustados às condições regionais [3, 5, 7]. Entretanto, por não considerar parâmetros microbiológicos e de poluição orgânica [13], recomenda-se seu uso de forma complementar a índices multiparamétricos.

Assim, os resultados deste estudo reforçam a necessidade de adaptações no IQA (NSF) ou da adoção de índices alternativos, como o IQAi, para regiões semiáridas, de modo a garantir avaliações mais precisas e apoiar decisões de gestão hídrica que preservem a segurança do consumo humano.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o IQA multiplicativo desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (IQA-NSF) apresenta limitações importantes para a avaliação de águas com sólidos totais dissolvidos (STD) superiores a 500 mg L⁻¹. Nesses casos, a atribuição de um valor constante ao subíndice de STD compromete a sensibilidade do índice, resultando em classificações que podem não refletir as reais condições de potabilidade, como evidenciado no reservatório Três Barras.

O índice calculado com base na composição iônica (IQAi) mostrou-se mais eficaz para distinguir diferentes níveis de salinidade, fornecendo classificações compatíveis com os limites estabelecidos para consumo humano. Essa abordagem é particularmente útil para ambientes semiáridos ou regiões onde a salinização é um fator determinante da qualidade da água.

Recomenda-se, portanto, que o IQAi seja adotado como ferramenta complementar ao IQA-NSF, especialmente em mananciais com elevada mineralização. Essa estratégia pode aprimorar o monitoramento e subsidiar decisões de gestão hídrica mais seguras e alinhadas à realidade dos corpos d'água avaliados.

5. AGRADECIMENTOS

Esse trabalho utilizou os dados gerados no Projeto “Monitoramento de Mananciais Superficiais e Reservatórios do Estado de Sergipe”. Por isso apresentamos nossos agradecimentos a SEMAC – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas e ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Sergipe (ITPS).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gitau MW, Chen J, MA Z. Water quality indicates as tools for decision making and management. *Water Resour Manag.* 2016;30(8):2591-610. doi: 10.1007/s11269-016-1311-0.
2. Lump A, Sharma T, Bibeault J. A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Qual Expo Health.* 2011;3:11-24. doi: 10.1007/s12403-011-0040-0
3. Poonam T, Tanushree B, Sukalyan C. Water quality indices - important tools for water quality assessment: a review. *Int J Adv Chem.* 2013;1(1):15-28.
4. Chen Z, Zhu Z, Yin L, Wei S, Deng L. The changing water quality characteristics from urban drinking water sources in Guangdong, China. *Water Resour Manag.* 2015;29:987-1002. doi: 10.1007/s11269-014-0855-0
5. Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG. A water quality index- do we dare? *Water Sewage Works.* 1970;117:339-43.
6. Belkhir L, Mouni L, Tiri A, Narany TS, Nouiber R. Spatial analysis of groundwater quality using self-organizing maps. *Groundw for Sustain Dev.* 2018;7:121-32. doi: 10.1016/j.gsd.2018.04.001
7. Rupias OJB, Pereira SY, Abreu AES. Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment using the water quality index and heavy-metal pollution index in the alluvial plain of Atibaia river – Campinas/SP, Brazil. *Groundw Sustain Dev.* 2021;15:100661. doi: 10.1016/j.gsd.2021.100661
8. Mellal NEH, Bouchak M, Tahar W, Boumaaza M. Prediction of purified water quality in industrial hydrocarbon wastewater treatment using an artificial neural network and response surface methodology. *J Water Process Eng.* 2024; 58:104757. doi: 10.1016/j.jwpe.2023.104757
9. Hamma B, Alodah A, Bouaicha F, Bekkouche MF, Barkat A, Hussein EE. Hydrochemical assessment of groundwater using multivariate statistical methods and water quality indices (WQIs). *Appl Water Sci.* 2024;14(33):1-18. doi: 10.1007/s13201-023-02084-0
10. Johnston N, Rolfe J, Flint N. A systematic review of agricultural use water quality indices. *Environ Sustain Indic.* 2024;23:100417. doi: 10.1016/j.indic.2024.100417
11. Alves JPH. Hidrogeoquímica dos Reservatórios de Sergipe. Aracaju (SE): Criação Editora, 2023. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/17123>.
12. Monteiro ASC, Silva EL, Silva RRM, Alves JPH. Mecanismos que controlam as características das águas dos reservatórios do estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. *Sci Plena.* 2021 Jan;17:011701. doi: 10.14808/sci.plena.2021.011701

13. Lima RS, Alves JPH. Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí – Real, utilizando o índice de qualidade da água (IQA). *Sci Plena*. 2017 Oct;13(10):1-10. doi: 10.14808/sci.plena.2017.109918
14. Monteiro ASC, Silva EL, Alencar NRO, Cardoso CM, Silva IS, Nascimento RS, et al. Geochemical modeling of the evaporation process in salinized reservoirs in the semiarid of Northeastern Brazil. *Rev Bras Recur Hídricos*. 2022 Jul;27:1-15. doi: 10.1590/2318-0331.272220220018
15. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC). SERhidro MONITORA [Internet]. SERhidro; [s.d.] [acesso em 29 jun 2025]; Disponível em: <https://serhidro.semac.se.gov.br/apps/d7cbb09dd4924146ad92d9a3c4d52406/explore> .
16. Sahu P, Sikdar PK. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environ Geol*. 2008;55:823-35. doi: 10.1007/s00254-007-1034-x