

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)

Rejane Felix Pereira^{1*}; *Alexandra de Vasconcelos Feitosa*²; *Antônio Idivan Vieira Nunes*³; *Marco Aurélio Holanda de Castro*⁴ & *Walt Disney Paulino*⁵

Resumo – A qualidade das águas para abastecimento público é um dos tópicos mais cobrados pela sociedade desde a década de 70, fazendo com que especialistas da área criassem um índice que representasse um padrão de qualidade para determinar o nível de tratamento o qual a água bruta deverá ser submetida. Para determinação desse índice, os cientistas da *National Sanitation Foundation* (NSF) escolheram nove parâmetros que mais representavam a qualidade da água, atribuíram-lhes pesos e instituíram curvas que indicavam a qualidade de cada um e a partir deles se determina o Índice de Qualidade da Água (IQA) que classifica a qualidade em cinco faixas (excelente, boa, média, ruim e péssima). Com a finalidade de facilitar o cálculo desse índice, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IMG) desenvolveu, através do Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA), equações para cada parâmetro a partir das curvas instituídas pela NSF. Neste estudo foi analisada a sensibilidade de cada parâmetro na mudança de faixa de classificação do IQA determinado através das equações do SCQA. A análise mostrou que, dependendo da faixa de transição do IQA, determinados parâmetros influenciam mais que os outros nessa transição.

Palavras-Chave – Análise, Parâmetros, Qualidade.

SENSITIVITY ANALYSIS OF PARAMETERS OF WATER QUALITY INDEX (WQI)

Abstract – Quality of water for public supply is one of the hottest topics charged by society since the 70s, making experts in the field would create an index that represents a quality standard to determine the level of treatment which the raw water should be submitted. To determine this index, scientists from the National Sanitation Foundation (NSF) chose nine parameters that represented the water quality, assigned weights to them and instituted curves indicating the quality of each and from them determines if the Water Quality Index (WQI) that ranks the quality in five groups (excellent, good, medium, bad and very bad). With the objective to facilitate the calculation this index, the Mineiro Institute of Water Management (IMG) developed through the system of calculation water quality (SCQA) equations for each parameter based on the curves established by NSF. In this study we analyzed the sensitivity of each parameter in the band change classification WQI, determined by the equations of SCQA. The analysis showed that, depending on the transition band of the WQI, certain parameters have more influence than others in this transition.

Keywords – Analysis, Parameters, Quality.

¹ Engenheira Civil, Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Campos do Pici, CEP.: 60445-760. Bloco 713. Fortaleza - Ceará. e-mail: rejanefp@gmail.com.

* Autor Correspondente.

² Bacharel em Química, Doutoranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará Campos do Pici, CEP.: 60445-760. Bloco 713. Fortaleza - Ceará. e-mail: Alexandravf@bol.com.br

³ Engenheiro Químico, Doutor. Professor Associado, DEHA, UFC. Campos do Pici, CEP.: 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. e-mail: vieiranunes@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro Civil, PHD. Professor Titular, DEHA, UFC. Campos do Pici, CEP.: 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. e-mail: marco@ufc.br

⁵ Engenheiro Agrícola, Especialista em Gestão dos Recursos Hídricos. Gerente de Desenvolvimento Operacional da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. e-mail: wdisney@gmail.com.

1.0 INTRODUÇÃO

Com a crescente economia baseada na exploração dos recursos naturais esgotáveis, surgiram na década de 60 os primeiros movimentos ambientalistas motivados pela contaminação das águas. Esses movimentos se fortaleceram na década de 70 que foi marcada pelo crescimento das revoluções comportamentais, nessa época a sociedade passou a exigir soluções para os problemas ambientais que se apresentavam. Iniciaram-se, então, o monitoramento da qualidade das águas com o objetivo de determinar o melhor tratamento a ser dispensado conforme as necessidades de utilização pela sociedade.

Para caracterização da qualidade da água são analisados fenômenos físico-químicos e biológicos que são associados a diversos parâmetros, dificultando a avaliação de suas inter-relações. Definiu-se, portanto, sintetizar esses fenômenos, por meio de um único número e relacioná-lo a um estado de qualidade da água, tornando-os mais compreensível à sociedade em geral. Em contrapartida, durante o processo de síntese podem ocorrer perdas de informações sobre o comportamento de cada parâmetro analisado.

Os principais índices de qualidade da água utilizados no Brasil são: Índice de Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP), Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Contaminação por Tóxicos, Índice de Balneabilidade (IB) e o Índice de Qualidade de Água para a Proteção da Vida Aquática (IVA)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) e adaptado pela CETESB para ser utilizado no Brasil com o objetivo de avaliar a qualidade da água bruta tendo em vista seu uso para o abastecimento humano após tratamento adequado. Esse índice classifica a qualidade de um determinado manancial de péssima a ótima, permitindo comparações entre diferentes cursos d'água, passando informações referentes à qualidade da água, inclusive em relação à tendência da evolução da qualidade com o passar do tempo.

O objetivo deste trabalho é verificar a sensibilidade de cada parâmetro na mudança de faixa de classificação do IQA determinado através das equações do SCQA (sistema de cálculo da qualidade da água) desenvolvidas pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas).

2.0 METODOLOGIA

2.1. Cálculo do IQA – NSF/CETESB

Com o objetivo de sistematizar através de um índice um conjunto de parâmetros químicos, físicos e biológicos presentes na água e que dão origem a um determinado fenômeno, foi desenvolvido em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* (NSF) o Índice de Qualidade das Águas (IQA).

Para estruturação desse Índice foram selecionados arbitrariamente 35 parâmetros para serem analisados por especialistas, que elegeram apenas nove como mais representativos da qualidade para compor o IQA, limitando a participação de cada parâmetro no índice através da atribuição de pesos (w_i).

Após a determinação dos parâmetros e dos seus respectivos pesos, os especialistas desenvolveram curvas que representam a variação da qualidade da água de acordo com o estado de cada parâmetro, mais conhecidas como curvas médias de cada parâmetro.

O IQA é calculado pelo produto ponderado dos valores dos índices obtidos nas curvas médias de cada parâmetro conforme equação 1.

$$IQA = \prod_{i=0}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde:

IQA - Índice de Qualidade da Água (varia de 0 a 100);

q_i - qualidade do parâmetro i -ésimo, obtido através da curva média de cada parâmetro;

w_i - é o peso atribuído ao i -ésimo parâmetro;

n - número de parâmetros ($n = 9$)

O número “ n ” sempre vai ser igual a nove, pois, na falta da medida de algum dos parâmetros que formam o IQA, seu cálculo será inviabilizado.

No cálculo original do IQA-NSF, considera-se o nitrogênio nitrato, porém, a CETESB realizou uma adaptação desse índice para o nitrogênio total e passou a utilizar o IQA desde 1975.

Os valores do IQA são classificados em faixas, que variam entre os estados brasileiros. Por este estudo se tratar de uma metodologia utilizada no estado de Minas Gerais os limites do IQA utilizado será os desse Estado. A tabela 1 apresenta as faixas de variação do IQA para o estado de Minas Gerais.

Tabela 1 – Faixas de Classificação conforme a variação do IQA

Classificação	Faixa de IQA
Ótima	91 - 100
Boa	71 - 90
Razoável	51 - 70
Ruim	26 - 50
Péssima	0 - 25

Fonte: ANA, 2013

2.2. Cálculo do IQA através das equações do SCQA (IMG)

Segundo Ferreira e Almeida (2005) as equações do SCQA são baseadas nas curvas obtidas pela *National Sanitation Foudantion* (NSF) e estudos correlatos desenvolvidos principalmente no Brasil, através de regressões polinomiais e com auxílio do programa Excel, determinou-se as equações a serem utilizadas para o cálculo do índice de qualidade para cada parâmetro, bem como suas curvas, comparando-as com curvas já existentes na literatura científica verificou-se que todos os resultados mostraram-se satisfatórios.

Neste artigo, as equações do SCQA para cada parâmetro foram inseridas no *Microsoft Excel* e com o auxílio da ferramenta *Solver* determinou-se o IQA através do maior valor do índice de cada parâmetro (q_s), essas são as condições iniciais desta pesquisa, conforme tabela 2.

Tabela 2- Pesos atribuídos a cada parâmetro e valores dos mesmos que geram maior índice (q_s) através das equações do SCQA.

Parâmetros	Peso (w_i)	Quantidade	Maior Índice (q_s)
Oxigênio dissolvido – OD (%)	0,17	100,000	100,022
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	0,15	1,000	98,240
Potencial Hidrogeniônico - PH	0,12	7,440	93,085
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20} (mg/L)	0,10	0,000	100,957
Variação da Temperatura da Água (°C)	0,10	0,000	93,000
Nitratos (mg/L)	0,10	0,000	100,170
Fósforo total (mg/L)	0,10	0,000	100,243
Turbidez (U.F.T.)	0,08	0,000	101,912
Sólido total - ST (mg/L)	0,08	55,864	86,851

Com os dados da tabela 2, obtidos através das equações do SCQA, e a utilização da equação 1 calculou-se o IQA que resultou em 97,348. Depois, variou-se cada parâmetro individualmente, mantendo os outros constantes e verificou-se o comportamento do IQA em função do parâmetro variado.

3.0 RESULTADOS

Ao reduzir a porcentagem de Oxigênio Dissolvido a partir de 100% (valor no qual se obtém o maior índice- q_s), e mantendo os outros parâmetros constantes, observou-se que o IQA varia da faixa excelente para média. Permanecendo na faixa excelente quando a quantidade de oxigênio dissolvido varia de 100% a 61,27%, o qual passa para faixa boa permanecendo até que o valor do parâmetro variante seja igual a 23,18%, a partir do qual passa para faixa média. Ao varia o oxigênio dissolvido para valores entre 100% e 140% o IQA permanece na faixa excelente, passando para faixa boa e permanecendo nela para valores acima de 140%, conforme se verifica na figura 1.

Ao aumentar a quantidade de Coliformes Termotolerantes, e mantendo os valores dos outros parâmetros constantes, observou-se uma redução nos valores do IQA passando da faixa excelente para média. Permanecendo na faixa excelente quando a quantidade do parâmetro analisado varie de 1 a 19,21NPM/100ml, a partir do qual o IQA passa para faixa boa conservando-se nela até que os coliformes termotolerantes atinjam o valores acima de 5.170,61NPM/100ml, o qual passam para faixa média, não variando mais, pois, o menor valor do IQA determinado com a variação desse parâmetro, conforme condições iniciais desta pesquisa, é 57,68. A variação do IQA em função da quantidade de coliformes termotolerantes está representada na figura 2.

Com relação à variação do o Potencial Hidrogeniônico (PH), a figura 3 nos mostra que o IQA varia da faixa de excelente para média. Tanto para valores de PH menores que 7,44 como para valores maiores. O IQA permanece na faixa excelente quando o PH varia de 5,87 a 9,12, e cai para faixa boa, em meio ácido, quando o PH varia entre 3,23 e 5,87 e em meio básico, quando o PH varia entre 9,12 e 11,10. Já para valores de PH menores que 3,23 e maiores que 11,10 a qualidade da água é considerada média. A figura 3 mostra ainda que, quando o meio passa de ácido para básico o intervalo de variação de faixa de IQA é maior do que quando o meio passa de básico para ácido.

Ao variar a Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$), e mantendo todos os outros parâmetros constantes, observou-se que o IQA permanece na faixa excelente quando a $DBO_{5,20}$ varia de 0 a 7,11mg/L, o qual passa para faixa boa e somente passará para faixa média quando o valor da $DBO_{5,20}$ for maior que 30mg/L, conforme figura 4.

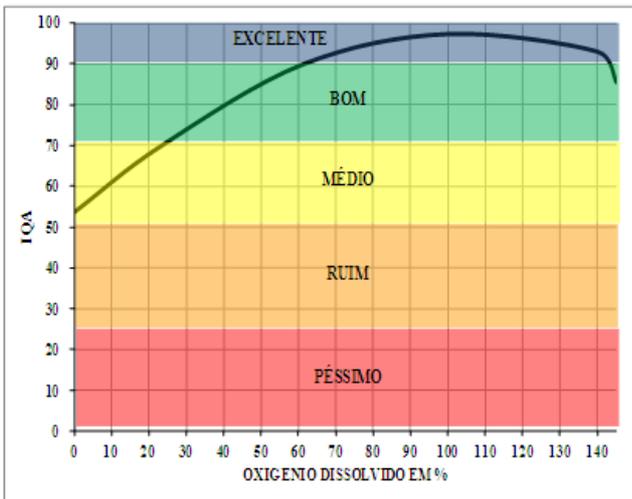


Figura 1 - Variação do IQA em função do Oxigênio Dissolvido.

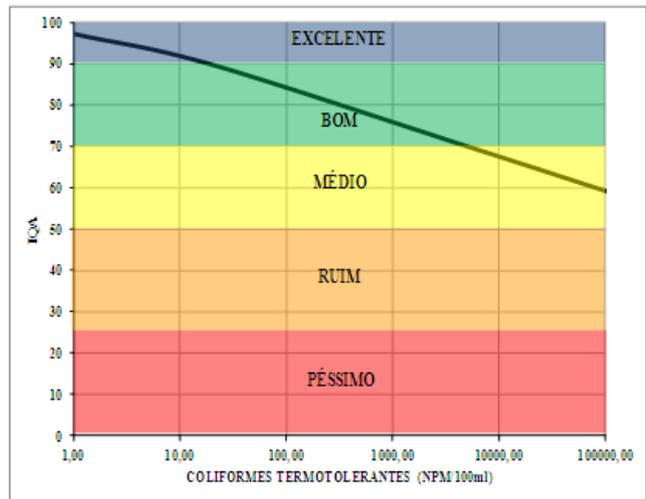


Figura 2 - Variação do IQA em função dos Coliformes Termotolerantes.

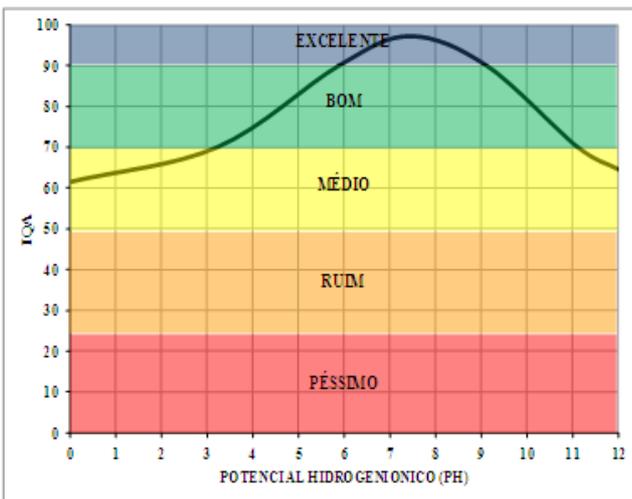


Figura 3 - Variação do IQA em função do Potencial Hidrogeniônico (PH).

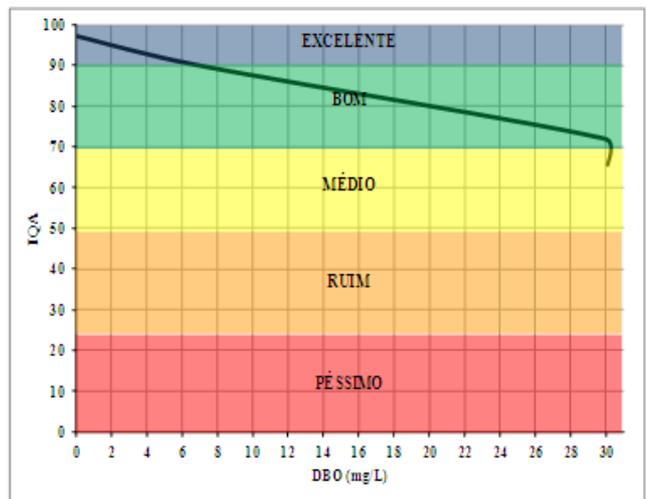


Figura 4 - Variação do IQA em função da Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Ao variar apenas a concentração de nitratos (NO_3), a qualidade da água varia de excelente a média. O IQA se apresenta excelente quando a concentração de NO_3 varia de 0 a 11,33mg/L, o qual passa para bom até a concentração de NO_3 aumentar para 69,74mg/L, limite em que a qualidade da água passa para faixa média permanecendo nela independente do valor da concentração de NO_3 acrescentado, conforme figura 5. Notou-se também que o IQA permanece na faixa excelente durante uma pequena variação da concentração inicial de NO_3 e que permanece na faixa boa em um intervalo de variação de NO_3 bem maior.

O mesmo ocorre ao variar apenas a concentração de fosfatos (PO_4), porém a qualidade da água varia apenas de excelente a boa. Conforme as condições iniciais desta pesquisa, o índice de qualidade da água permanece na faixa excelente quando a concentração de PO_4 varia de 0 a 0,801mg/L, valor no qual passa para faixa boa e nela permanece independente do valor de concentração de PO_4 acrescentado, conforme se verifica na figura 6.

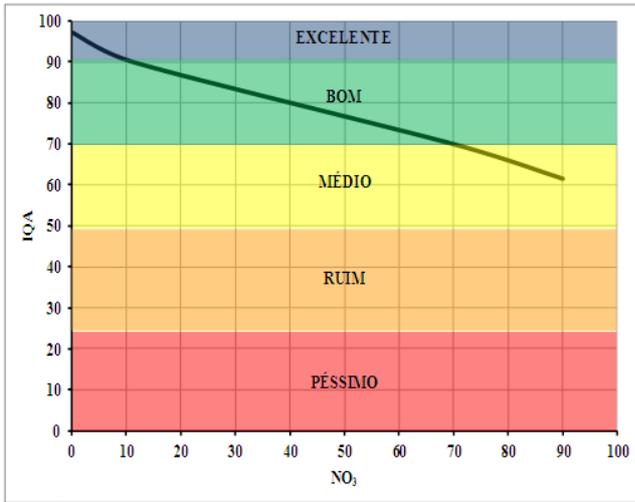


Figura 5 - Variação do IQA em função da concentração de NO_3 .

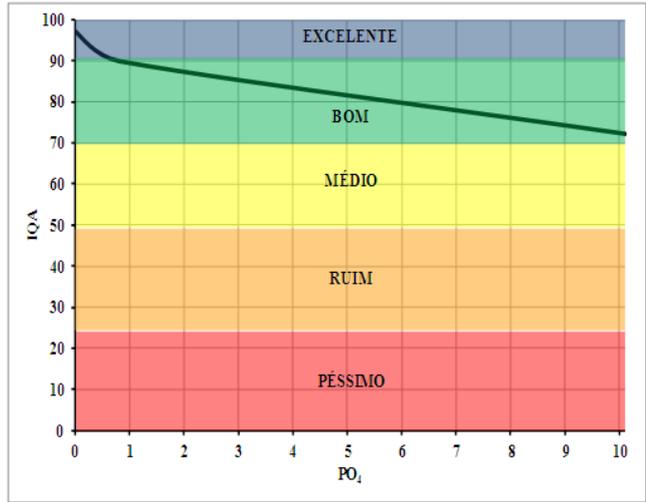


Figura 6 - Variação do IQA em função da concentração de PO_4 .

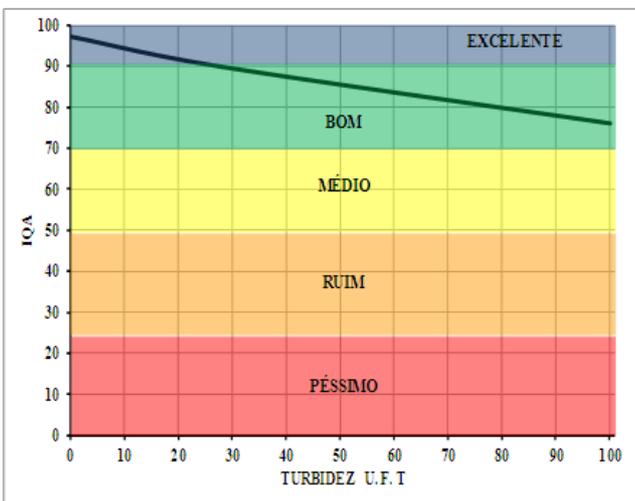


Figura 7 - Variação do IQA em função da Turbidez.

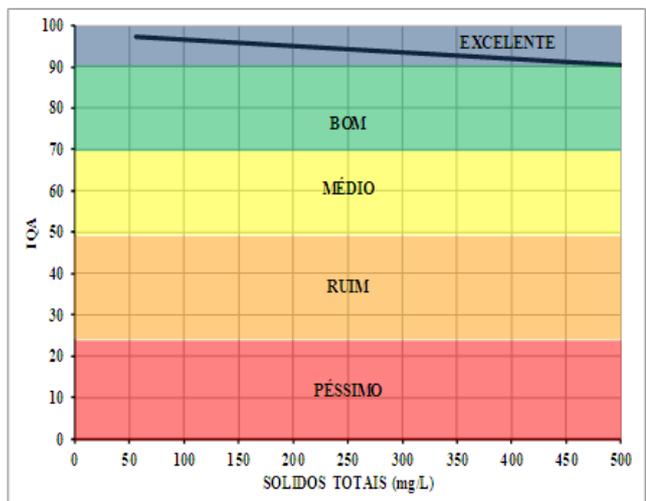


Figura 8 - Variação do IQA em função dos Sólidos Totais.

A figura 7 mostra a variação do IQA em função da Turbidez (Tu), através dela, percebe-se que ao aumentar a turbidez, o IQA diminui, porém não ultrapassa a faixa boa. O IQA, conforme condições iniciais desta pesquisa, se apresenta na faixa excelente, passando para faixa boa apenas quando a turbidez passa para 27,85U.F.T. e permanece nesta independente da quantidade de Tu acrescentada.

Conforme condições iniciais desta pesquisa, o indicador de qualidade se apresenta na faixa excelente com concentração de Sólidos Totais (ST) igual a 55,86mg/L, e permanece nesta mesmo se o valor da concentração desse parâmetro for reduzido para 0mg/L ou aumentado para até 500mg/L. Para valores de concentração de ST maiores que 500mg/L o IQA resulta em 89,41, que é o limite da transição da faixa excelente para faixa boa, conforme se visualiza na figura 8.

No Brasil, os mananciais não recebem cargas térmicas elevadas e isso, faz com que a curva da temperatura desenvolvida pela NSF não esteja de acordo com as condições reais no País. Portanto, considera-se a variação da temperatura de equilíbrio próxima à zero, com o valor de índice do parâmetro (q_s) igual a 93.

4.0 CONCLUSÕES

O parâmetro que ocasionou maior variação do IQA foi o oxigênio dissolvido com um percentual de 44,67%, seguido pelos Coliformes Termotolerantes, 40,75%, Potencial Hidrogeiônico, 36,92%, Nitrato, 36,91%, Demanda Bioquímica de Oxigênio, 32,44%, Fosfato, 25,90%, Turbidez, 21,84% e por fim os sólidos totais que ocasionaram variação do IQA em 8,15%.

Não se esperava que a variação da concentração de nitratos (NO_3) ocasionasse o mesmo percentual de variação do IQA em função do PH, pois ambos (PH e NO_3) possuem pesos diferentes no cálculo do IQA.

Conforme condições iniciais desta análise, a concentração de fosfato é o parâmetro que mais influencia na mudança de faixa do índice de qualidade de água de excelente para boa, seguido pela concentração de nitrato.

Os parâmetros que influenciaram na mudança de faixa do IQA de boa para média são em ordem decrescente o PH (muita influência), oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, nitratos e $\text{DBO}_{5,20}$, esta última com influência mínima.

A concentração de fosfato e a turbidez não influenciaram na mudança de faixa do IQA de boa para média. Já os sólidos totais não mostraram nenhuma influência na mudança de faixa do IQA.

A variação da temperatura de equilíbrio, nesta análise, foi considerada constante e próxima à zero, com q_s igual a 93, pois os mananciais não tendem a receber cargas térmicas elevadas.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Indicadores de Qualidade. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>. Acesso em: 17/04/2013.

AQUINO, M. D.; GRADVOHL, S. T. S.; NETO, F. C.; NUNES, A. I. V.; SILVA, M.E.R. (2007). “Avaliação da Qualidade das Águas na Região Metropolitana de Fortaleza-Ce: estudo de caso dos açudes Gavião, Pacoti e Riachão” in *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, Nov. 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental no Estado de São Paulo. *IQA – Índice de Qualidade das Águas*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>. Acesso em: 17/04/2013.

FERREIRA, E.C.F.; ALMEIDA, M. C. de. (2005). Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (Scqa): Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA). *Programa Nacional de Meio Ambiente (PNMA II)*. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/qualidade-agua/selecaoIndiceIndicadoresFinal.pdf>. Acesso em: 04/04/2013.

SOUZA, M. E. T. A.; LIBÂNIO, M. (2009). “Proposta de índice de Qualidade para Água Bruta afluyente a estações convencionais de tratamento”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 4, pp. 471-478.

WILLS, M.; IRVINE, K. M. (1996). Application of the National Sanitation Foundation water quality index in the Cazenovia Creek, NY, pilot watershed management project. *Middle States Geographer* 95-104.