

ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO TRATAMENTO DE ÁGUA (ICT): PROPOSTA DE CÁLCULO – ESTUDO DE CASO EM CAPTAÇÕES NO DISTRITO FEDERAL – Parte 2

Mauro Roberto Felizatto⁽¹⁾

¹Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia (1985). Mestre (2000) e Doutor (2017) em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela UnB. Engenheiro de Segurança do Trabalho (2019) pela Faculdade Laboro – DF. Aposentado como Engenheiro Master na CAESB, onde trabalhou durante 30 anos (1992 a 2022). Atualmente é Pesquisador Colaborador no ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - UnB/FUP (Campus Planaltina).

Ligia Silva Viveiros Gurgel⁽²⁾

²Engenheira Ambiental, Analista de Sistemas de Saneamento, Supervisora na Gerência de Recursos Hídricos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Eloneide Meneses França Arruda⁽³⁾

³Engenheira Civil, Analista de Sistemas de Saneamento, Gerente de Recursos Hídricos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Karina Bassan Rodrigues⁽⁴⁾

⁴Engenheira Química, Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito (CAESB)

Tarcila Neves Generoso⁽⁵⁾

⁵Engenheira Ambiental, Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito (CAESB)

Endereço⁽¹⁾: QE 32 Conjunto H Casa 41, Guará 2 – Brasília – DF – 71.065-051 – Brasil – Tel: +55 (61) 98161-9881 – e-mail: mauro.felizatto@unb.br.

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETAs) registram variações sazonais nas características da água que é captada de seus respectivos mananciais para abastecimento. Mesmo com estas alterações, toda ETA deve proporcionar qualidade da água tratada de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pela legislação. Este estudo analisa quatro tipos de processos de tratamento, utilizados na CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), para produção de água potável, destacando o Convencional Completo, Filtração Dupla, Filtração Direta e Membranas por Ultrafiltração e a correlação que estes processos possuem quanto à avaliação da qualidade da água para os mananciais que abastecem estas ETAs. Para isso foi utilizado um Indicador, o Índice de Conformidade ao Tratamento de Água (ICT), adaptado do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), empregado atualmente para informar as classificações dos corpos d'água reguladas no Distrito Federal. O ICT proposto é inspirado no índice de qualidade da água – *Water Quality Index (WQI)* e o seu resultado permite categorizações e comparações. Este estudo, efetuado pela segunda vez, utilizou as séries temporais de sete mananciais de abastecimento, obtidos a partir do Programa de Monitoramento de Captações da CAESB, do ano de 2018 a 2022. Foram avaliadas as concentrações afluentes às ETAs das seguintes variáveis: Cor Aparente, Turbidez, Ferro Total e *Escherichia Coli*. Os resultados indicaram a adequação do tratamento de água por meio dos processos Convencional Completo e Membrana por Ultrafiltração, onde o ICT levantado foi de 100 para os anos considerados. Além disso, identificou-se a sensibilidade da Filtração Dupla e Filtração Direta em relação a qualidade da água bruta analisada, com valores de ICT calculado de 83 a 94 e 71 a 100, respectivamente, embora sem comprometimento dos resultados da qualidade da água potável obtidos nos tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: ICT, índice, qualidade da água, tratamento de água, *WQI*.

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas e os diversos usos dos corpos hídricos causam impactos nos ecossistemas, acarretando deterioração na qualidade da água e danos nos sistemas aquáticos trazendo, consequentemente, prejuízos para a saúde humana, tanto por meio do consumo direto ou no contato primário com águas contaminadas. Portanto, a qualidade da

água dos mananciais está relacionada com o uso da bacia hidrográfica e com boa fiscalização das fontes poluidoras (LIBÂNIO, 2005).

As águas brutas provenientes de mananciais são utilizadas para o abastecimento público, e sendo assim, a qualidade dessas águas é determinante nos projetos das estações de tratamento de água (ETA), já que as suas características influenciam na eficiência dos processos unitários contidos no tratamento.

A função da ETA é melhorar a qualidade da água bruta, para atender aos padrões de qualidades impostos pela legislação vigente (FERREIRA FILHO, 2017). Desse modo, uma ETA fornece tratamento na ordem sanitária (remoção e inativação de organismos patogênicos e substâncias químicas que representam riscos à saúde) e na ordem estética e organoléptica (remoção de turbidez, cor, gosto e odor, dureza, etc). As ETAs sofrem constantemente com as variações das características dos mananciais e seus aspectos hidrológicos, podendo assim, apresentar alterações anuais, mensais, diárias e até mesmo horárias, comprometendo a qualidade da água tratada. Ainda que essas alterações na qualidade da água aconteçam, a ETA deve continuar oferecendo água potável para população, de acordo com os padrões de potabilidade (FERREIRA FILHO, 2017).

A avaliação individual de um grande número de variáveis de qualidade monitoradas, em comparação com seus valores limites e/ou objetivos pode levar a uma análise laboriosa, dificultando a caracterização da situação (ALEGRE *et al.*, 2017). Dessa maneira, os indicadores ou índices comumente utilizados são informações quantificadas, de cunho científico e de fácil compreensão, usadas nos processos de decisão, úteis como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos.

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), é um dos mais usados mundialmente, quando se trata do enquadramento de corpos d'água, conforme preconizado em Brasil (2005). De maneira semelhante, o Índice de Conformidade ao Tratamento de Água (ICT) busca uma interação com as variáveis que aumentam a segurança da confiabilidade dos resultados, fornecendo proteção a saúde da população e um auxílio no monitoramento das bacias hidrográficas, orientado pelo indicador mundialmente conhecido como *CCME-WQI*, desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*, conforme esclarece Souza *et. al.* (2018).

O Índice de Conformidade ao Tratamento de Água é uma adaptação do modelo do índice de conformidade ao enquadramento – ICE, e agrega estatisticamente a abrangência, a frequência e a amplitude das inconformidades das variáveis observadas em comparação com valores limites para cada tipo de tratamento de água adotado nas captações, balizados pelos valores referenciados por Kawamura (2000).

O presente estudo de caso engloba quatro tipos de tratamento de água para fins de abastecimento humano – Convencional Completo, Filtração Dupla, Filtração Direta e Membranas de Ultrafiltração, visando contribuir na avaliação da qualidade da água dos mananciais perante seus respectivos processos de tratamento de água no Distrito Federal.

OBJETIVO

Apresentar o Índice de Conformidade ao Tratamento de Água – ICT e seu cálculo anual, sugerir esse índice como ferramenta de avaliação de qualidade da água dos mananciais de abastecimento de água perante quatro diferentes processos de tratamento: Convencional Completo, Filtração Dupla, Filtração Direta e Membranas de Ultrafiltração, durante cinco anos consecutivos, de 2018 a 2022.

MATERIAL E MÉTODO

De acordo com o modelo estabelecido por *CCME* (2017) o índice de conformidade deve ser calculado usando no mínimo quatro variáveis e no mínimo quatro dados monitorados em determinado período analisado. Para o estudo foram utilizadas quatro variáveis e o ICTs foram calculados para a escala anual, de 2018 a 2022.

Os dados analisados foram provenientes do Programa de Monitoramento de Captações da CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), para os mananciais: córregos Barrocão e Capão da Onça, tratados na ETA Brazlândia utilizando o processo de tratamento Convencional Completo, o lago Descoberto, tratado pela ETA Descoberto por Filtração Direta, os córregos Pipiripau, Brejinho e Fumal, tratados na ETA Pipiripau por meio da

Filtração Dupla e o lago Paranoá, tratado pela ETA Paranoá com o uso de Membranas de Ultrafiltração. Os dados do programa foram obtidos a partir de coletas bimestrais (6 dados anuais).

As variáveis escolhidas e analisadas foram: Turbidez, Cor Aparente, *Escherichia coli* e Ferro Total. Diferentemente do que é preconizado para o cálculo do ICE, os limites não estão associados aos valores determinados pela legislação do CONAMA nº 357/2005 e sim às características dos processos de tratamento. Sendo assim, os valores dos limites máximos considerados para cada um dos tipos de processos analisados estão demonstrados na Tabela 1, conforme sugerido por Kawamura (2000). Cabe ressaltar que devido à ausência de referência para o tratamento por Membrana de Ultrafiltração, os valores adotados foram os associados a Microfiltração.

Tabela 1: Qualidade da água sugerida por diferentes tipos de processos de tratamento de água.

Variáveis Balizadoras	Tecnologia de Potabilização de Água			
	Convencional Completo	Filtração Dupla	Filtração Direta	Ultrafiltração**
Turbidez (uT)	< 3000	<50	<20	<100
Cor Aparente (uC)	< 1000	<50	<20	<15
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 mL)	<10 ⁶	<10 ³	<10 ³	<10 ⁴
Ferro (mg/L)	< 2	<0,5*	<0,5	<0,5

*valor adotado a partir dos limites determinados para Filtração Direta

**valores adotados a partir dos limites determinados para Microfiltração

O ICT proposto é uma adaptação de um modelo de índice de qualidade da água *CCME – WQI*, desenvolvido pelo Conselho de Ministros do Meio Ambiente Canadense (*CCME*, 2017). O ICT é uma agregação de três fatores F1, F2 e F3, conceitualmente denominados de: Abrangência ou Espaço, Frequência e Amplitude, respectivamente, calculados conforme as Equações de 1 a 7.

O valor de F1 (Abrangência/Espaço) trata-se do número de variáveis escolhidas e analisadas que estiveram acima ou abaixo dos limites estabelecidos na referência durante ao período avaliado e é calculado pela Equação 1.

$$F_1 = \frac{\text{Número de variáveis com ao menos uma falha}}{\text{Número total de variáveis}} * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

O valor de F2 (Frequência) refere-se ao número de vezes em que as variáveis escolhidas e analisadas estiveram em desconformidade ao valor limite, em relação ao número total de observações sendo calculado pela Equação 2.

$$F_2 = \frac{\text{Número de testes inconformes}}{\text{Número total de testes}} * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Já F3 (Amplitude) relaciona-se ao tamanho da inconformidade, ou seja, a diferença entre o valor limite (objetivo) e o valor escolhido e analisado. Para o seu cálculo são analisadas três variantes, calculadas para cada fator, como demonstrado nas equações 3, 4 e 5.

O valor objetivo sendo um limite máximo:

$$\text{Variação} = \left(\frac{\text{Valor do teste que falhou}}{\text{Objetivo}_i} \right) - 1 \quad \text{Equação (3)}$$

O valor objetivo sendo um limite mínimo:

$$\text{Variação} = \left(\frac{\text{Objetivo}_i}{\text{Valor do teste que falhou}} \right) - 1 \quad \text{Equação (4)}$$

Computação da soma normalizada das variações (snv):

$$snv = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Variações}_i}{\text{Número total de testes}} \right) * 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Encontrado os resultados, o fator F_3 é calculado normalizando-se snv para valores entre 1 e 100.

$$F_3 = \frac{snv}{(0,01 * snv) + 001} * 100 \quad \text{Equação (6)}$$

Ressalta-se que para o cálculo final do ICT, os limites de referência utilizados foram somente valores máximos, por isso o uso da Equação 3.

Finalmente, após o levantamento dos três fatores de três fatores F_1 , F_2 e F_3 (Abrangência ou Espaço, Frequência e Amplitude), procedeu-se o cálculo do ICT, conforme Equação 7.

$$ICT = \left(100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad \text{Equação (7)}$$

A título de interpretação do ICT, quanto mais próximos os resultados do valor 100 maior a conformidade da qualidade da água bruta perante o seu respectivo tipo de tratamento de tratamento de água.

Para as ETAs alimentadas por mais de um manancial, como no caso da ETA Brazlândia (Convencional Completa) e ETA Piripirau (Filtração Dupla), os resultados considerados para os ICTs foram obtidos a partir dos valores médios encontrados entre os mananciais.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados dos ICTs anuais calculados para as captações relacionadas aos quatro processos de tratamento considerados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Índice de Conformidade ao Tratamento de Água (ICT) calculado para os anos de 2018 a 2022 para os mananciais córregos Barroão e Capão da Onça (Convencional Completo), córregos Brejinho, Fumal e Pipiripau (Filtração Dupla) Lago do Descoberto (Filtração Direta) e Lago Paranoá (Ultrafiltração)

Ano	ICT – Índice de Conformidade ao Tratamento de Água			
	Convencional Completo	Filtração Dupla	Filtração Direta	Ultrafiltração
2018	100	89	86	100
2019	100	84	100	100
2021	100	83	71	100
2022	100	94	85	100

Fonte: próprios autores

O ano de 2020 foi marcado pelo início da pandemia do COVID-19, o que provocou uma redução das campanhas para coleta de água nos corpos hídricos e por consequência nos resultados para cada variável analisada. Essa redução provocou uma interferência nos resultados do ICT quando comparados aos demais anos, o que poderia não ser uma comparação justa e por esse motivo os resultados para o ano de 2020 foram desconsiderados.

Para a aplicação dos tratamentos, os resultados da qualidade da água observados devem sempre estar abaixo dos limites, do contrário, os processos serão impactados com o aumento do consumo de produtos químicos e com a redução considerável dos tempos de carreira de filtração, onde essas unidades existirem. Isso ocorre tanto no tratamento Convencional Completo, na Filtração Dupla ou Filtração Direta. Entende-se que para melhor desempenho das ETAs, o valor do ICT deve estar próximo de 100 ou então verificar, com uso do ICT, o melhor resultado para cada processo analisado perante os valores conseguidos durante o tratamento para as operações unitárias e processo de cada ETA. Lembrando que o padrão de qualidade de água potável deve ser sempre atingido com meta.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da Tabela 2 mostraram que o ICT é muito sensível aos valores limites exigidos para os processos de tratamento de água. Considerando os limites expostos na Tabela 1, percebe-se que os balizadores mais restritivos são os tratamentos que utilizam a Filtração Direta e Filtração Dupla.

Os valores observados do ICT para o tratamento por Filtração Dupla variaram de 83 a 94 e da Filtração Direta 71 a 100, indicando que, muitas vezes, há necessidade de maiores esforços para o tratamento da água bruta devido as alterações nas suas características, o que significa maiores investimentos no processo para que o tratamento consiga atingir a qualidade necessária para a potabilidade, conforme exigência da lei.

Os ICTs levantados para o Convencional Completo demonstram o atendimento da qualidade da água bruta para este processo, visto que os valores limites máximos para este tratamento de água são menos restritivos, corroborando com Libânio (2005), que constata a supremacia deste tratamento e enfatiza-o como o mais utilizados no Brasil.

No caso do processo de tratamento por Membranas de Ultrafiltração observou-se, para todos os anos analisados, ICT igual a 100, demonstrando que o tipo de tratamento adotado esteve compatível com as características da água bruta captada no Lago Paranoá.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Neste segundo estudo de caso, evidenciou-se que: (i) houve correlação entre os processos empregados pela CAESB e os respectivos ICTs calculados; (ii) a indicação de conformidade do ICT com os valores máximos limites sugeridos por Kawamura (2000); (iii) a sensibilidade do processo de Filtração Direta mediante as alterações da qualidade da água bruta e com entendimento de que os valores limites máximos são restritivos, quando comparado a outros processos; (iv) apesar do processo de tratamento por Membranas possuir limites máximos restritivos, esta técnica avançada de tratamento confere bom desempenho frente as variações da qualidade da água do lago Paranoá e (v) o processo Convencional Completo apresenta robustez no tratamento de água para abastecimento público.

Recomenda-se: (i) replicar este trabalho para verificação da variação do ICT perante a sazonalidade (chuva e estiagem); (ii) para as captações que utilizem como mananciais reservatórios de acumulação (Lagos) sugere-se o acréscimo da variável hidrobiológica (contagem de Algas) para o cálculo do ICT, (iii) a análise de tendência temporal levando em conta a sazonalidade para identificar prováveis perturbações na bacia hidrográfica do manancial e fornecer indícios para tomada de decisão quanto a adoção ou não de intervenções para melhoria na qualidade da água do manancial utilizado com captação e (iv) contrapor o ICT de cada processo de tratamento de água com o respectivo indicador de conformidade a qualidade de água potável produzida por cada ETA, para assim estabelecer metas de ICT com relação a cada tipo de processo de tratamento analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera Jr., E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merke, W., Parena, R. Performance indicators for water supply services - Manual of Best Practice, IWA Publishing, London, 160 pp. 2017.
- Governo do Brasil. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 36pp, 2005.
- CCME. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index User's Manual 2017 update. In: Canadian environmental quality guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 2017.
- Ferreira Filho, S. S. Tratamento de Água – Conceção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento, Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro, 461pp. 2017.
- Kawamura S. *Integrated design and operation of water treatment facilities. Second Edition*, John Wiley & Sons, Canada, 691pp. 2000.
- Libânio, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água, Editora Átomo, Campinas. Brasil, 444pp. 2005.



Souza, D. S., Felizatto, M. R., Brites, C. R. C., Gurgel, L. S. V. Análise de tendência de ICE (WQI) modificado em corpos receptores – Estudo de caso no DF (Brasil). 18º ENASB/18º SILUBESA, Porto, 9pp. 2018.