



I-276 - É POSSÍVEL AVALIAR A PERFORMANCE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR MEIO DE INDICADORES?

Marcelo Libânio⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutor em Hidráulica e Saneamento (USP), Pós-doutorado pela Universidade de Alberta (Canadá), pesquisador do CNPq e da Fapemig, e Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

Endereço⁽¹⁾: Av. Contorno, 842/8º andar - Centro - Belo Horizonte - MG – 30.110-060 - Brasil - Telefone: (31) 3409.1004 - E-mail: mllibanio@chr.ufmg.br

RESUMO

O trabalho visa a introduzir no meio técnico o emprego de indicadores como ferramentas mais acuradas de avaliação de performance das estações de tratamento de água, transcendendo ao cumprimento das premissas da Portaria 518. Para tal, são descritas as metodologias que culminaram com o recente desenvolvimento do Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA) e do Índice de Qualidade de Água Bruta (IQAB), ambos aplicáveis a estações convencionais. Por fim, exemplifica-se a aplicação conjunta dos mencionados indicadores como forma de evidenciar a qualidade da operação das estações de tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Performance de Estações, Uso de Indicadores.

INTRODUÇÃO

Para a quase totalidade das concessionárias de abastecimento de água no País a avaliação da performance das estações de tratamento baliza-se pelo número de amostras diárias coletadas do efluente para as quais os parâmetros de qualidade apresentam-se abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria 518. Nesta avaliação, não são contempladas as características da água bruta – no que tange à maior ou à menor tratabilidade – e as características físicas da estação de tratamento em relação à magnitude vazão afluente ou, em outras palavras, o índice de sobrecarga da unidade. A dificuldade de aferir o desempenho das estações tem dificultado a necessária hierarquização das performances que certamente nortearia a atuação dos responsáveis pela administração dos sistemas de abastecimento, quer na operação quer na ampliação das unidades potabilizadoras.

A avaliação do desempenho global das estações de tratamento de água, e conseqüentemente da qualidade da operação, suscita algumas questões:

- i) Para estações empregando a mesma tecnologia de tratamento e adequando a água bruta ao padrão de potabilidade vigente, de que forma devem ser comparadas as eficiências caso a água bruta apresente distintas características?
- ii) O índice de sobrecarga – materializado em parâmetros hidráulicos, tais como tempo de floculação, velocidade de sedimentação e taxa de filtração – é ou não mais relevante em relação ao nível técnico da operação no que tange à perspectiva de produzir água de qualidade?
- iii) Estações, com a mesma tecnologia de tratamento, potabilizando e fornecendo águas de características semelhantes, podem ser comparadas quando apresentam distintos custos do tratamento em termos de equipamentos, pessoal e produtos químicos?
- iv) Na perspectiva de ampliação das unidades de tratamento, quais etapas devem ser priorizadas?
- v) Há distinção marcante na qualidade da operação entre unidades de tratamento operadas pela mesma concessionária (companhias estaduais de saneamento) localizadas em regiões de características socioeconômicas semelhantes?

Estas questões nortearam algumas iniciativas no sentido de fornecer aos administradores dos sistemas de abastecimento de água metodologia para realização de tais avaliações. Em 1984 o DEP (*Department of Environmental Protection*) da Pennsylvania (EUA), para assegurar a qualidade da água distribuída, iniciou a implantação do programa FPPE – *Filter Plant Performance Evaluation* – visando a determinar a eficiência da estação em remover partículas na mesma faixa de tamanho dos protozoários. O programa consistiu de uma



visita às unidades, durante as quais avaliavam-se as condições físicas gerais da estação e dos equipamentos, bem como as práticas operacionais e a qualidade do monitoramento. Após o término das avaliações a unidade era classificada como aceitável ou inaceitável. Para auxiliar na avaliação utilizaram-se análise microscópica do particulado e contagem de partículas. Em 1988 mais de 60% dos dados operacionais referentes à água filtrada das 290 estações amostradas apresentavam turbidez maior que 0,2 uT. Em 1996 este valor caiu para somente 4 %. Vale ressaltar que o padrão de potabilidade daquele Estado recomenda turbidez máxima de 0,3 uT¹.

No Brasil, iniciativas similares são ainda incipientes, usualmente restritas à predição da turbidez da água decantada para uma dada estação de tratamento ou ao desenvolvimento de indicadores de qualidade da água distribuída empregado pela concessionária. Duas explicações podem ser tecidas. A primeira centra-se na premência da redução dos elevados índices de perdas para a quase totalidade dos sistemas de abastecimento do País, relegando a segundo plano a eficiência das estações de tratamento.

A segunda explicação é menos singela. A preservação da saúde da população abastecida provém da conjunção de padrões de potabilidade restritivos e da eficácia das ações de vigilância da qualidade de água. Esta constitui um rol de atividades que visam a identificar e avaliar os potenciais riscos à saúde advindos da água de consumo. Estas atividades podem englobar inspeções nas diversas etapas do sistema de abastecimento ou soluções alternativas, análise e auditoria dos dados operacionais, e avaliação das condições segundo as quais estes dados foram gerados. Em última instância, cabe à vigilância atestar a performance do responsável pela operação do sistema de abastecimento de água.

Neste contexto, a atual Portaria 518, refere-se ao controle e a vigilância da qualidade de água. O primeiro é realizado pela concessionária responsável pela operação do serviço de abastecimento de água – companhia estadual de saneamento, autarquia municipal, prefeitura ou empresa privada -, incluindo o controle operacional de todas as etapas do sistema de abastecimento, quais sejam, captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. A realização da vigilância cabe ao Ministério da Saúde, por meio das secretarias estaduais, no sentido de verificar se a água distribuída atende às premissas estabelecidas pelo padrão de potabilidade, além de avaliar os riscos à saúde da população abastecida. Desta forma, o fato de só mais recentemente a vigilância da qualidade da água distribuída estar a cargo de órgão externo à concessionária há de concorrer para o redirecionamento da operação das estações de tratamento como prioridade.

Embora seja intrinsecamente difícil estabelecer hierarquias absolutas em tratamento de água, o uso de indicadores que agreguem as características da água bruta e da estação fará com que emergja a qualidade da operação. Em outras palavras, o fato de determinada estação de tratamento de elevado IQETA e à qual afluí água bruta com elevado IQAB apresentar efluente de má qualidade, em termos da turbidez do filtrado, constitui forte indicativo de operação insatisfatória. Esta perspectiva torna-se ainda mais relevante para as companhias estaduais de saneamento², pois permitirá identificar com maior acurácia as unidades com baixo desempenho e melhor alocar os recursos para ampliação e/ou treinamento de pessoal. As estações de tratamento recém-implantadas ou submetidas a ampliações recentes podem dispor de uma estimativa de performance, em função da vazão afluente (IQETA) e das características da água bruta (IQAB).

OBJETIVO

O trabalho visa a discutir o emprego conjunto de dois indicadores recém-desenvolvidos – Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA)³ e Índice de Qualidade de Água Bruta (IQAB)⁴ – como

¹ CONSONERY, P. J.; GREENFIELD, D N. & LEE, J. J. - *Pennsylvania's filtration evaluation program*, JAWWA, v.89, n.8, p.67-77, August 1997.

²A título de ilustração, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) responde pela operação de 596 estações no Estado, a quase totalidade empregando tecnologia convencional de potabilização.

³LOPES, V. C. & LIBÂNIO, M. - *Proposição de um Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA)*, Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.4, p.324-334, Rio de Janeiro, dezembro 2005.

⁴SOUZA, M. E. T. - *Proposição de índice de qualidade de água bruta afluente a estações convencionais de tratamento de água*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, 113 p., junho 2008.



ferramentas de avaliação da performance de estações convencionais de tratamento de água para consumo humano.

DESENVOLVIMENTO DO IQETA

O IQETA foi desenvolvido utilizando a metodologia Delphi, com um painel composto por 18 profissionais, 16 dos quais permaneceram até o término da pesquisa. A função precípua da Metodologia Delphi consiste em promover a deliberação acerca de questões polêmicas por meio de um processo sistemático e seqüencial de fornecimento de questionários acompanhados de *feedback* a um grupo pré-determinado de painelistas. Independente da forma utilizada, algumas características definem o método em questão:

- i) o anonimato, com a finalidade de reduzir fatores psicológicos como, por exemplo, a possível influência da opinião de participantes com maior grau de especialização sobre os demais ou a resistência de alguns em mudar de opinião durante o processo;
- ii) a interação, por meio das várias rodadas de questionários permitindo aos participantes revisarem suas decisões;
- iii) o *feedback* controlado entre duas rodadas de questionários para informar cada membro do grupo da opinião dos demais - geralmente é apresentado em forma de sumário numérico anexado aos argumentos apresentados pelos participantes;
- iv) a representação estatística dos resultados, obtida no final do processo quando o julgamento do grupo é expresso por meio, por exemplo, da mediana, e a dispersão da opinião dos painelistas pode ser apresentada como medida do consenso⁵.

A metodologia para a elaboração do IQETA fundamentou-se basicamente na mesma utilizada para o desenvolvimento do IQA⁶. Após a determinação dos 19 parâmetros constituintes do índice⁷, bem como dos pesos atribuídos a cada parâmetro e dos critérios de pontuação, o IQETA assumiu a forma do produtório representada pela Equação (1):

$$IQETA = \prod_{i=1}^N \left(\prod_{j=1}^n Q_j^{W_j} \right)_i \quad (1)$$

na qual:

W_j: peso conferido a cada parâmetro definido pelos especialistas integrantes do painel;

Q_j: nota atribuída à estação para cada parâmetro selecionado segundo o critério desenvolvido;

j: parâmetro incluído no índice;

i: grupo que irá constituir o índice – Mistura Rápida, Floculação, Filtração, Decantação, Desinfecção e Operação;

n, N: respectivamente, número de parâmetros incluídos em cada grupo e número total de grupos que constituirão o índice.

Na Tabela 1 apresentam-se os dezenove parâmetros integrantes do IQETA e seus respectivos pesos finais (cujo somatório, como no IQA, perfaz 1,0).

⁵ LINSTONE, H. A. (Ed); TUROFF, M. (Ed) - *The Delphi Method: techniques and applications*, Ed. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, USA, 620p., 1975.

⁶ BROWN, R. M. *et al.* - *A water quality index – do we dare?*, *Water & Sewage Works*, Chicago, v.117, n.10, p.339-343, October 1970.

⁷ Conforme a Tabela 1 denota, à exceção do *Grau de Instrução* e *Realização de ensaios de jar test*, os demais parâmetros hidráulicos relacionam as características físicas da estação à vazão afluente, tais como velocidade de sedimentação, taxa de filtração, entre outros.



TABELA 1: Parâmetros e respectivos pesos integrantes do IQETA

Parâmetro	Peso	Parâmetro	Peso
Gradiente de velocidade da mistura rápida (Gmr)	0,06	Velocidade longitudinal de escoamento (VI)	0,04
Tempo de agitação da mistura rápida (Tmr)	0,03	Vazão linear de coleta de água decantada (QI)	0,06
Realização de ensaios de Jar Test	0,07	Taxa de filtração (Tfil)	0,09
Gradiente de velocidade (0,08) e Tempo de floculação (0,06) (Gf – Tf)	0,14	Duração da carreira de filtração (Dc)	0,04
Gradiente de velocidade nas passagens entre câmaras (Gp)	0,04	Expansão do leito filtrante (Exp) e Velocidade ascensional de lavagem (Vasc)	0,04
Número de câmaras (Nc)	0,03	Lavagem Auxiliar com ar e/ou Lavagem Auxiliar com Água (Laux)	0,03
Velocidade média de escoamento no canal de água floculada (Vc)	0,03		
Gradiente de velocidade nas comportas de acesso ao decantador (Gcom)	0,04	Tempo de detenção no tanque de contato (Tc)	0,05
Gradiente de velocidade através dos orifícios da cortina de distribuição de água floculada (Gor)	0,05	Número de chicanas do tanque de contato (Nch)	0,02
Velocidade de sedimentação (Vs)	0,08	Grau de Instrução (GI) da equipe de operação	0,06

Após a definição dos parâmetros e respectivos pesos houve necessidade de estabelecer os critérios de pontuação para cada um deles. À exceção do parâmetro jar test, para o qual se adotou critério binário (0 ou 100, caso haja ou não realização de tais ensaios), estabeleceram-se critérios para os demais 18 parâmetros do IQETA.

Como exemplo, o critério de pontuação para o Grau de Instrução contemplou primordialmente o interesse da administração em valorizar o conhecimento e em incentivar o aprimoramento da equipe de operação da estação de tratamento. A pontuação para este parâmetro é apresentada na Tabela 2⁸. Um ponto a ser esclarecido reporta-se à definição dos membros da equipe de operação. Para efeito desta pontuação considerou-se membro da equipe de operação, não necessariamente somente os operadores, qualquer funcionário com conhecimento sobre o processo de tratamento de água com poderes para interferir neste, realizando modificações visando à melhoria da qualidade do efluente.

TABELA 2: Critério de pontuação para o parâmetro Grau de Instrução

Maior grau de instrução de qualquer dos membros responsáveis pela operação da estação	Pontos
Superior com especialização na em Engenharia Sanitária ou Hidráulica	100
Superior em cursos da área de ciências exatas	90
Técnico em cursos da área de ciências exatas	60
Superior em outras áreas ou 2º Grau completo	40
1º Grau completo	10
1º Grau incompleto	0

Por questões relacionadas ao desenvolvimento dos critérios de pontuação, alguns parâmetros foram unificados. Em semelhante contexto, por exemplo, definiu-se o peso do agrupamento dos parâmetros Exp e Vasc, porém neste caso estes não foram transformados em um único parâmetro. Para cada estação escolheu-se um dos dois para ser pontuado, uma vez que a inclusão de ambos estaria maximizando um mesmo aspecto relacionado à lavagem do meio filtrante.

Por fim, avaliou-se a fidedignidade do IQETA a partir dos dados diários operacionais de 10 estações de tratamento de água referentes à turbidez da água filtrada. Apesar da limitação do tamanho da amostra, as significativas correlações auferidas (R^2 máximo de 0,74) demonstraram que há uma tendência das estações

⁸ LOPES, V. C. – *Índice de Qualidade de Desempenho de Estações Convencionais de Tratamento de Água, Dissertação de Mestrado*, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, 107 p., fevereiro 2005.



produzindo efluente de melhor qualidade, em termos de turbidez, serem contempladas com maiores valores de IQETA, principalmente durante o período chuvoso

DESENVOLVIMENTO DO IQAB

Além das características físicas da unidade e da qualidade da operação, a eficiência da estação de tratamento relaciona-se inequivocamente com a qualidade da água bruta. A necessidade do IQAB fundamenta-se também na inaplicabilidade do IQA (Índice de Qualidade de Água) como indicador da tratabilidade das águas naturais. Este indicador foi elaborado na década 1970, também por meio da Metodologia Delphi, a partir da consulta a um painel inicialmente composto por 142 especialistas. O IQA compreende 9 parâmetros de qualidade, e respectivos pesos (%), a saber: oxigênio dissolvido (17), coliformes termotolerantes (15), pH (12), demanda bioquímica de oxigênio (10), nitratos (10), fosfatos (10), temperatura (10), sólidos totais (8) e turbidez (8). A forma inicial do somatório foi substituída pelo produtório em 1974 e aplicada, com algumas variações visando a atender especificidades regionais, na maioria dos órgãos ambientais do mundo.

A despeito do uso difundido nos quatro cantos do Planeta, o IQA apresenta duas nítidas sobreposições entre dois pares de parâmetros - *OD* e *DBO*, e *Sólidos totais* e *turbidez*. Adicionalmente, o IQA não se aplicaria com muita fidedignidade na avaliação da qualidade das águas em termos de tratabilidade. Uma vez que a maioria dos mananciais de abastecimento apresenta baixa *DBO*, significativa concentração de *OD* à saturação⁹ – parâmetros que respondem por 27 % do índice –, um índice que abrangesse outras características das águas naturais teria maior aplicabilidade. No mesmo contexto, parâmetros como a cor verdadeira e contagem de algas e/ou cianobactérias – ainda que subliminarmente contemplados no IQA – representam papel relevante no tratamento e seriam importantes balizadores para distinção da tratabilidade das águas naturais. Desta forma, o IQA, salvo alguns mananciais mais comprometidos, apresentaria resultados de mesma magnitude e pouco interferiria como instrumento de comparação das águas naturais em termos da maior ou menor dificuldade na potabilização.

Utilizando novamente a metodologia Delphi e contando com um painel ampliado para 24 profissionais¹⁰ – 82 % dos quais permanecendo até o final da pesquisa –, o IQAB foi desenvolvido como ferramenta de avaliação da maior ou menor tratabilidade de uma determinada água natural. Para tal fim, foi elaborada uma lista de 21 parâmetros de qualidade de água passíveis de, em magnitude variável, influir na tratabilidade das águas naturais para fins de consumo humano. A análise da maior ou menor tratabilidade das águas naturais centrava-se para águas classe 3¹¹, inodoras, sem gosto e com agrotóxicos e metais pesados virtualmente ausentes, afluentes a estações convencionais de tratamento.

O IQAB assumiu a forma do produtório (Equação 2) com o emprego da mediana como medida de tendência central dos pesos conferidos pelos painelistas.

$$IQAB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

na qual:

w_i = peso atribuído a cada parâmetro definido na pesquisa de opinião;

q_i = pontuação atribuída ao parâmetro observada nas curvas de qualidade;

i = cada parâmetro incluído no índice;

n = número de parâmetros.

Por fim, elaboraram-se curvas de pontuação para cada um dos oito parâmetros de qualidade de água incluídos no IQAB. Os parâmetros e respectivos pesos finais integrantes do IQAB estão apresentados na Figura 1.

⁹A maioria dos cursos d'água apresenta também baixa concentração de nitratos e fosfatos, pois tais parâmetros manifestam-se mais significativamente quando a captação realiza-se a partir de reservatórios de acumulação com algum grau de eutrofização.

¹⁰ O painel anterior utilizado para o IQETA foi ampliado para 24 integrantes dos estados de MG, SP, RJ, SC e RS. Todos os painelistas possuíam graduação em Engenharia Civil ou Ciências Biológicas e parcela significativa o título de doutor.

¹¹ Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução 357 de 25 de março de 2005.

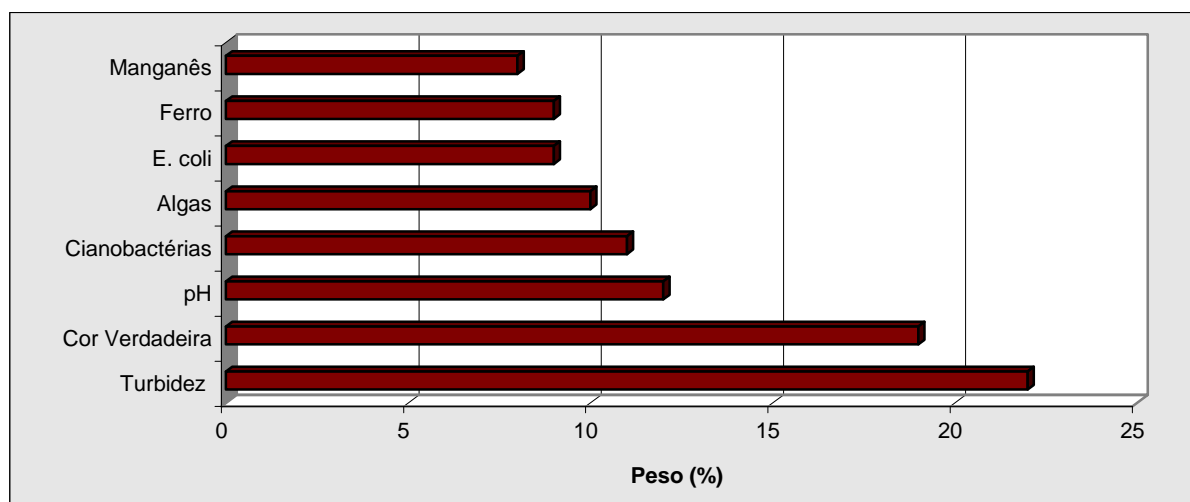


FIGURA 1: Mediana dos pesos finais dos integrantes do IQAB

APLICAÇÃO SIMULTÂNEA DO IQETA E DO IQAB

A aplicação simultânea dos dois indicadores ocorre a partir das características físicas da estação e da qualidade da água bruta afluente. A Figura 2¹² foi elaborada para exemplificar tal aplicação, contemplando 16 estações operadas por quatro concessionárias distintas.

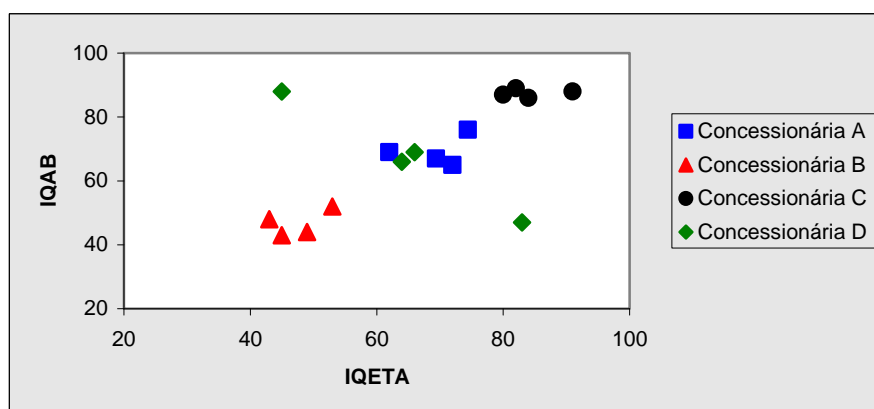


FIGURA 2: Exemplo de aplicação de ambos indicadores

Da análise da Figura 2 depreendem-se duas regiões para as quais a acuidade da operação da estação de tratamento mais claramente pode ser identificada em função da qualidade do efluente. A 1ª região refere-se ao intervalo 40-60 (Concessionária B) no qual estão inseridos os valores de IQETA e IQAB. Caso as quatro estações apresentem efluente de qualidade, há indícios claros do bom desempenho da equipe de operação. Em contrapartida, pode-se afirmar o oposto para as quatro estações cujos indicadores pertençam ao intervalo 80-100 (Concessionária C). Para as demais concessionárias, é possível com mais precisão estabelecer as prioridades quanto às ações de ampliação da unidade de tratamento - visando à elevação do IQETA - ou de proteção da bacia hidrográfica na qual o manancial se insere, idem em relação ao IQAB.

¹² Metade dos pontos do gráfico reporta-se a estações reais, cuja cessão dos dados pela concessionária vinculou-se à garantia de anonimato. Para estas, os valores de IQETA e IQAB foram calculados por meio dos dados operacionais referentes ao período chuvoso de 2008 (janeiro a março).