

Indicador da Efetividade de Tratamentos de Águas

L. R. D'Agostini; A. C. Fantini & N. S. Salin

Universidade Federal de Santa Catarina/CCA/ENR
dagostin@mbox1.ufsc.br; afantini@cca.ufsc.br; neifsalin@hotmail.com

Recebido: 15/07/04 – revisado: 29/03/06 – aceito: 23/10/06

RESUMO

As noções de efetiva disponibilidade e de efetividade de tratamento de água são tomadas como expressão de produtos entre qualidades Q , quantidades V e regularidade R de fluxo de água. A qualidade Q e a quantidade V são caracterizadas a partir de procedimentos tradicionais. A expressão de regularidade na qualidade e na quantidade é obtida a partir da caracterização do grau de afastamento de regimes estacionários. Sistematizadas em concordância com a equação da continuidade, as mais diversas combinações entre qualidades Q , quantidade V e regularidade R resultam em objetivas expressões da efetividade de ações voltadas à sustentação do fluxo de possibilidades a partir da água disponível.

Palavras-chave: Tratamento de águas; efetividade; desempenho ambiental

INTRODUÇÃO

É comum na bibliografia a manifestação da intenção de permitir ao leitor uma noção da restrita proporção em que os humanos podem dispor de água doce. Por isso são recorrentes as informações sobre quantidades de águas salgada, doce, congelada, superficial e subterrânea (Maidment 1992; United Nation, 1997; Rebouças *et al.* 1999; Gleick, 2003). Todavia, assim como a efetividade da disponibilidade de recursos financeiros remete mais a um fluxo de caixa do que a um saldo bancário, a disponibilidade de água é um conceito que remete mais a um fluxo de possibilidades do que a uma quantidade. Quase nada se pode fazer com bastante água sem um mínimo de qualidade; pouco significa dispor de água boa em quantidade insuficiente; e são limitadas as possibilidades a partir de água boa que não se possa dispor em quantidade e com qualidade regulares.

A avaliação da efetividade em tratamentos de água tem sido principalmente referente à efetividade do tratamento em melhorar a sua qualidade (p. ex. Gary, 2003; Neal *et al.*, 2000) ou associar quantidades com qualidade (p. ex. Håkanson *et al.* 2000). Todo tratamento de águas é, em última instância, uma recomposição de um potencial encerrado num fluxo de possibilidades a partir de água disponível. E melhorar a qualidade da água certamente é um aspecto fundamental para a recomposição de um potencial de possibilidades. Mas como já

se apontou, essas possibilidades são produtos de relações entre quantidades V , qualidades Q e regularidade R de acesso e de características da água. A efetividade de um procedimento de tratamento de água remete, portanto, a um produto de relações entre quantidades V , qualidades Q e regularidades R .

Mesmo que a quantidade, a qualidade e a regularidade sejam entre si distintas e quase sempre tratadas separadamente, a noção de efetividade de procedimentos que as afetem é uma noção indissociável de um produto de relações entre elas. O objetivo neste texto é, assim, obter uma expressão da efetividade de sistemas de tratamento de águas, simultaneamente levando em conta quantidades, qualidades e regularidades nos fluxos e nas características da água.

ELEMENTOS DA PROPOSIÇÃO

Nas relações em que se quer sistematizar uma objetiva medida da efetividade de tratamentos de água, importa considerar, simultaneamente, sete aspectos e garantir uma condição, todos a saber:

- qualidade de água necessária/desejada (Q_N);
- qualidade de água que entra no sistema de tratamento (Q_E);

- qualidade de água que sai melhorada do sistema de tratamento (Q_S);
- quantidade de água que é necessário tratar (V_N);
- quantidade de água que entra no sistema de tratamento (V_E);
- quantidade de água que sai com qualidade Q_S do sistema de tratamento (V_S);
- regularidade de fluxos e de características da água (R);
- compatibilidade dimensional no produto de relações envolvendo qualidades, quantidades e graus de regularidade.

A obtenção da qualidade Q da água não será discutida aqui. Procedimentos como aqueles descritos em Porto (1991) ou em Rizzi (2001) para obtenção de índices de qualidade de água já são bem conhecidos. Como nesses procedimentos a qualidade Q resulta com valores que vão de 0 (zero) a 100, essa qualidade sempre poderá ser dividida por 100 e expressa como um índice contido no intervalo $[0, 1]$. A quantidade V , por sua vez, será sempre expressa como vazão (L^3/T) e em unidades apropriadas. O fator regularidade R será caracterizado mais adiante. Admita-se, ainda, e por ora, que se possa assegurar compatibilidade dimensional à matematização de relações entre Q , V e R , de tal forma que se possa fazer

$$\text{Efetividade de um tratamento} = f(Q \times V \times R). \quad (1)$$

SISTEMATIZAÇÃO DAS RELAÇÕES

O resultado objetivo do tratamento de água é uma mudança de qualidade que se verifica em determinada quantidade de água, ou seja,

$$\text{Resultado objetivo} = (Q_S - Q_E) V_S \quad (2)$$

em que Q_E é a qualidade da água que entrou no sistema de tratamento e V_S é a quantidade de água que saiu com qualidade Q_S .

Um resultado verificado é, por definição, uma fração do resultado máximo possível. O máximo de resultado idealmente possível num processo de tratamento de água corresponde a toda a quantidade V_E , que entra no sistema de tratamento com

qualidade Q_E , poder sair com a qualidade máxima necessária Q_N , ou seja,

$$\text{Resultado potencial} = (Q_N - Q_E) V_E. \quad (3)$$

Mas, do que se observa por experiência e está imposto pelo Segundo Princípio da Termodinâmica, não se pode verificar um potencial integralmente convertido em resultado útil. Em outras palavras, o potencial $(Q_N - Q_E) V_E$ não pode ser todo convertido em resultado objetivo $(Q_S - Q_E) V_S$, em face de um custo entrópico implícito em todo processo real, ou seja

$$\text{Custo entrópico implícito} = (V_E - V_S) Q_L \quad (4)$$

em que Q_L é a qualidade no fluido residual (lodo, por exemplo; diferença entre a quantidade V_E que entrou e a quantidade V_S que saiu do sistema). Combinando as Equações (2), (3) e (4) na Equação da Continuidade,

$$(Q_S - Q_E) V_S = (Q_N - Q_E) V_E - Q_L (V_E - V_S) \quad (5)$$

Tanto o resultado objetivo $(Q_S - Q_E) V_S$ quanto o custo entrópico implícito $Q_L (V_E - V_S)$ são frações do mesmo potencial $(Q_N - Q_E) V_E$. Então,

$$\frac{(Q_S - Q_E) V_S}{(Q_N - Q_E) V_E} = \frac{(Q_N - Q_E)}{(Q_N - Q_E)} - \frac{(V_E - V_S) Q_L}{(Q_N - Q_E) V_E}$$

ou

$$\frac{(Q_S - Q_E) V_S}{(Q_N - Q_E) V_E} = 1 - \frac{(V_E - V_S) Q_L}{(Q_N - Q_E) V_E}. \quad (6)$$

Os termos à direita do sinal de igualdade – a unidade menos uma fração – definem a fração do resultado potencial (Equação 2) convertida em resultado objetivo (Equação 1), permitindo rescrever (6) como um resultado relativo, ou seja,

$$\frac{(Q_S - Q_E) V_S}{(Q_N - Q_E) V_E} = F \quad (7)$$

em que a fração F é um coeficiente de eficiência na conversão de um potencial em um resultado. Importa notar que independentemente das dimensões em que a qualidade Q e a quantidade V sejam expressas, está assegurada a compatibilidade dimensional na Equação (7).

Falta ainda considerar a quantidade de água que é necessário tratar (V_N) e o grau de regularidade (R) da quantidade e da qualidade de água tratada. Considerar a quantidade de água que é necessário tratar (V_N) contextualiza a eficiência apontada em (7). Pouco poderia significar uma elevada proporção da água que entra no sistema de tratamento (V_E) resultar com a qualidade necessária (Q_N), se essa quantidade V_E é muito inferior à quantidade que demanda ser tratada (V_N). Então, para que essas relações resultem consideradas na expressão de um resultado contextualizado às quantidades de água envolvidas no processo,

$$(\text{Resultado})_V = \frac{(Q_S - Q_E)V_S}{(Q_N - Q_E)V_E} \times \frac{V_E}{V_N}$$

ou

$$(\text{Resultado})_V = \frac{(Q_S - Q_E)V_S}{(Q_N - Q_E)V_N} \quad (8)$$

em que $(\text{Resultado})_V$ é resultado de melhoria da qualidade ponderado às quantidades de água a tratar e efetivamente tratada.

O FATOR REGULARIDADE R

O fator R tanto deve referir-se à regularidade na quantidade quanto à regularidade nas características da água tratada. Para um sistema de tratamento de água para consumo humano, por exemplo, a regularidade no fluxo e na qualidade é importante pela necessidade de regularidade de suprimento de água com determinadas características e com o menor armazenamento possível. No caso de efluentes de despejo com características ainda indesejáveis, a regularidade na qualidade e nos fluxos é importante para favorecer o estabelecimento de condições de homeostase no meio receptor.

A noção de regularidade de um fluxo remete à noção de graus de afastamento de um regime estacionário de um processo. Quanto mais regular no tempo for o resultado objetivo de um sistema de tratamento de água, maior será sua efetividade em termos de sustentação de um fluxo de possibilidades. Para caracterizar o grau de regularidade da quanti-

dade a partir de um regime de vazão, é necessário identificar valores limites ou referenciais para a amplitude de flutuações dessa vazão. A amplitude da flutuação de vazão seria mínima (nula) quando a vazão de saída (V_S) do sistema de tratamento fosse constante ao longo do tempo. A amplitude seria máxima quando toda a quantidade de água envolvida no processo ao longo de um período fluísse em uma única unidade de tempo considerada.

Para determinada quantidade de água tratada ao longo de um dado período, as durações das flutuações de vazão V necessariamente tendem a serem maiores quanto menores forem as respectivas amplitudes de flutuação. Por isso a amplitude e a duração de uma flutuação de vazão de água tratada têm significados indissociáveis. Assim, vazões de saída V_{Si} ($i=1,2,\dots,n$) com duração D_i e diferentes de uma vazão média de saída V_{Sm} caracterizam um regime de vazão com desvios. A vazão média de saída V_{Sm} ao longo do período considerado é a razão entre todo o volume de água tratada e o número de unidades de tempo contidas nesse período. Um regime de vazão com desvios, por sua vez, pode ser comparado ao regime de máxima flutuação possível, permitindo expressar a regularidade de vazão em termos relativos e, portanto, para qualquer magnitude de vazões de água tratada. Essa flutuação máxima possível no regime de vazão resulta caracterizada quando todo o volume de água flui em uma única unidade de tempo no período de avaliação.

Desvio de regime é, por definição, expressão de um afastamento de um regime referencial. Um desvio de regime pode, então, e em analogia à estatística desvio padrão, ser caracterizado a partir da razão entre a raiz quadrada do somatório de quadrados de afastamentos de valores em relação a um valor referencial e o maior afastamento possível a partir daqueles mesmos valores. O desvio do regime do produto amplitude x duração de uma flutuação de vazão pode então ser dado como

$$\text{Desvio do regime} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{Si} \cdot D_i - V_{Sm} \cdot D_i)^2}}{\sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot D_i - V_{Sm}} \quad (9)$$

em que V_{Si} é a vazão de saída diferente de zero e verificada na sua i ésima medida, D_i é o espaço de tempo (duração) em que se verifica V_{Si} e V_{Sm} é a vazão média de saída no período.

Como já foi apontado, o desvio dado em (9) caracteriza um grau de irregularidade verificado. Assim, um grau de regularidade de vazões R_V pode ser dado como

$$R_V = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{Si} \cdot D_i - V_{Sm} \cdot D_i)^2}}{\sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot D_i - V_{Sm}} \quad (10)$$

Diferente do regime de vazão, no regime da qualidade Q a amplitude máxima de variação de qualidade sempre estará contida no intervalo $[0, 1]$, uma vez que num processo que se caracteriza como tratamento de água, sempre estarão nesse intervalo os valores extremos de qualidade. Então, por analogia ao termo R_V , a expressão de grau de regularidade de qualidade da água R_Q pode ser dado como

$$R_Q = 1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (Q_{Si} - Q_{Sm})^2}{k}}}{(1 - Q_{Em}) \frac{1}{2}} \quad (11)$$

em que Q_{Si} é a qualidade da água na saída verificada na i ésima medida, Q_{Sm} é a qualidade média no período e Q_{Em} é a qualidade média da água na entrada ao longo do período. A qualidade Q_{Em} deve ser ponderada pelo volume (vazão V_{Si} x duração D_i) que sai do sistema em cada um dos j ($j=1, 2, \dots, k$) intervalos de tempo e em relação aos quais a determinação da qualidade se refere.

A regularidade na qualidade Q pode ser prioritária em relação à regularidade na vazão, como as Equações (10) e (11) de alguma forma contemplam e se verá mais adiante. Contudo, pouco significaria um elevado grau de regularidade em um dos aspectos (quantidade ou qualidade) se em relação ao outro ocorrer uma irregularidade muito acentuada. Uma forma de assegurar adequada significância aos graus de irregularidade expressos como um afastamento de um valor unitário (Equações 10 e 11) é obter um grau de regularidade expresso como a média geométrica entre R_V e R_Q . Uma média geométrica de dois valores será tanto mais baixa quanto mais esses valores se afastam um do outro. Assim,

$$R = R_Q^{0,5} \cdot R_V^{0,5} \quad (12)$$

O INDICADOR DE EFETIVIDADE DO PROCESSO

A expressão da efetividade de um sistema de tratamento então será, como já estava apontado na Equação (1), resultado do produto entre termos referentes às relações entre qualidades Q , entre quantidades V e regularidade R , ou seja, combinando as Equações (8) e (12),

$$IETA = \frac{(Q_S - Q_E)}{(Q_N - Q_E)} \cdot \frac{V_S}{V_N} \cdot R \quad (13)$$

em que IETA é Indicador da Efetividade de Tratamentos de Águas.

RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

As relações propostas e sistematizadas evidentemente não se voltam à intenção de prever resultados a partir de condições conhecidas, mas sim à avaliação da qualidade de relações que afetam resultados que já se sabe caracterizar. Em outras palavras, não se trata de uma modelagem para a predição do que nem sempre seria diretamente mensurável; mas sim para a avaliação de desempenho humano a partir do que se pode e se sabe medir. Assim, não cabe validar o sistema de relações sistematizado a partir de sua simples aplicação e obtenção de resultados experimentais, e sim a partir da pertinência do resultado produzido pela sistematização a partir de quaisquer resultados possíveis.

O Quadro 1 mostra os valores do IETA para um conjunto de 22 combinações de qualidades Q , quantidades V , regularidade R_V e regularidade R_Q . Mesmo que o quadro somente permita considerar um número reduzido de cenários, os valores do IETA correspondentes permitem verificar objetividade, coerência e sensibilidade intencionadas nas relações propostas.

Quando a qualidade de saída Q_S é igual à qualidade necessária Q_N , e a quantidade que sai V_S é igual à quantidade necessária V_N (cenário 1 e 2 do Quadro 1), o valor do IETA é sempre igual a 1,00. Ou seja, quando a intenção na existência do sistema de tratamento se revela de todo atendida, a efetividade é máxima, independente da qualidade da água a tratar (Q_E). Isso também é verdadeiro para as condições apontadas no cenário 3, uma vez que qualidade Q_S igual a 0,8 é igual a qualidade necessária Q_N .

Todavia, sempre guardadas aquelas propriedades no operar do sistema de relações, não se verifica o mesmo valor do IETA para a mesma qualidade de saída Q_s (0,8) se a mesma não atinge a qualidade necessária Q_N (1,0) (cenário 4). Também por essas razões, o IETA é decrescente nos cenários 5 a 8.

Admitindo que no cenário 4 a qualidade de entrada Q_E fosse 0,5 e não mais 0,1, o valor do IETA então seria, pela Equação (8) – uma vez que a regularidade R é igual a 1 – apenas 0,6, e não mais 0,78. Também pelas mesmas razões, o IETA é decrescente nos cenários 5 a 8. Ocorre que o IETA associa o significado do resultado às condições disponíveis à sua produção. É por isso que o IETA é uma medida da efetividade em procedimentos intencionais, e não apenas medida de um resultado.

Os valores do IETA correspondentes aos cenários 9 a 12, ainda tratando especialmente da qualidade Q , mas agora focando a (ir)regularidade R_Q , também são fáceis de serem interpretados em sua mensagem: o valor do IETA diminui com a redução da qualidade Q_s média e com o aumento da amplitude na flutuação nos valores dessa qualidade. A qualidade Q_s média no cenário 16, por exemplo, é 0,75. Desconsiderando a irregularidade representada em valores 1,0 e 0,5 para Q_s , ou seja, se $R=1$, o valor do IETA seria, pela Equação 8, igual a 0,72. Todavia, considerada aquela irregularidade, o IETA é somente 0,21. Bem de acordo com o que se espera, o IETA aponta uma baixa efetividade em procedimentos que permitam significativa irregularidade nas características da água que sai do sistema, mesmo que os valores médios dessas características possam ser aceitáveis.

Os cenários 9 a 12 e 18 a 22 tratam especialmente de relações quantitativas, ou seja, de vazões V_s e V_N . Os valores do IETA no primeiro desses intervalos de cenários dispensa maiores comentários: varia linearmente com a relação V_s/V_N . Já em relação aos cenários 18 a 22, que evidenciam a irregularidade na vazão de saída V_s , há dois aspectos que merecem ser mencionados.

O primeiro desses aspectos é que a irregularidade na quantidade V_s resulta com menor significação do que a irregularidade na qualidade Q_s . Ocorre que as implicações na irregularidade na quantidade podem ser mais facilmente mitigadas com reservatórios. Já para a irregularidade na qualidade, mesmo o efeito de homogeneização do reservatório pode representar mais incubação do que solução.

O segundo aspecto é que o IETA pode ser superior a 1,0 em dado dia, mas não ao final de um período de vários dias. Tomando-se os valores de Q_E , Q_s , Q_N , V_s e V_N correspondentes apenas às primeiras

colunas do cenário 20 ($Q_E=0,1$, $Q_s=1,0$, $Q_N=1,0$, $V_s=120$ e $Q_N=100$), o IETA seria 1,2, por força de 120 ultrapassar em 20 a vazão necessária 100. Todavia, o efeito da irregularidade dos valores de V_s em torno de uma quantidade necessária V_N acaba por reduzir o valor do IETA para 0,96, mesmo que nos outros dias a vazão de saída V_s é igual a 80, ou seja, 20 abaixo de 100. O IETA não negligencia, assim, a possibilidade de que circunstancialmente seja conveniente tratar mais água em determinados momentos, mas também não deixa de considerar os custos implicados em induzir a necessidade de armazenar.

Finalmente, limitado aos seus propósitos de indicar níveis de desempenho em sistemas de tratamento de águas e efluentes, o IETA revela-se um instrumento auxiliar na gestão de recursos hídricos; contudo, somente na medida em que se puder aceitar que a demanda por avaliação pode ser mais concernente ao desempenho de humanos, a partir do que já se saberia fazer, do que da eficiência ou eficácia de processos já existentes ou ainda por desenvolver.

REFERÊNCIAS

- Gary, W. B. The use of organo-clays in water treatment. *Applied Clay Science* 24, 2003, p.11–20.
- Gleick, P. H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st Century. *Science* 302, 2003, p.1524-8.
- Håkanson, L.; Paparov, A. & Hambright, K.D. Modeling the impact of water level fluctuations on water quality (suspended particulate matter) in Lake Kinneret, Israel. *Ecological Modeling* 128, 2000, 101-25.
- Maidment, R. D. (Ed.) *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill. 1992. Cap. 1
- Neal, C.; House, W. A.; Leeks, G.J.L.; Whitton, B.A.; Williams, R.J. Conclusions to the special issue of Science of the Total Environment concerning 'The water quality of UK rivers entering the North Sea'. *Science of the Total Environment Concerning*, 251/252, 2000, p. 557-73.
- Porto, M.F.A. Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição. In: Porto, R. L. *et al. Hidrologia ambiental*. São Paulo: Edusp, 1991.
- Rebouças, A. da C.; Braga, B. & Tundisi, J. G. *Águas doces no Brasil*. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. Cap.1.
- Rizzi, N. E. Índices de qualidade de água. *Revista Técnica de Saneamento* 15, 2001, p.11-20.
- Unesco. *Water for people, water for life: the United Nations world water development report*. Paris: Unesco, 2003.

Indicator of the Water Treatment Effectiveness

ABSTRACT

Notions of effective availability of water and effectiveness of water treatment are taken as the expression of products among qualities Q , volumes V and regularity R of water flow. Quality Q and volume V are characterized by traditional procedures. The expression of regularity for quality and volumes proposed here is obtained by the distance between the actual and corresponding steady state regime. The different combinations among qualities Q , volumes V and regularity R are systematized following the equation of continuity and result in objective expressions of the effectiveness of actions aiming to sustain the flow of possibilities based on the available water.

Key-words: Water treatment; effectiveness; environmental performance