

ESTUDO DAS METODOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE REAERAÇÃO SUPERFICIAL

Study of available methodologies for experimental determination of the reaeration rate coefficient in streams.

Thiago Augusto Formentini¹
Maria do Carmo Cauduro Gastaldini²



Endereço de contato: Av. Roraima, nº 1000. Bairro Camobi – Santa Maria – Rio Grande do Sul – 97105-900 – Brasil. Tel.: +55(55)3220-9421 – Fax: +55(55)3220-8423. E-mail: formentini@gmail.com

Abstract

The article presents a review of the main methods of experimental determination of reaeration rate coefficient K_2 in natural streams, providing the theoretical basis of each method as well as a discussion on the feasibility, advantages and disadvantages of them. The methodologies discussed are: the tracer method (radioactive and inert), the sound pressure method, the delta method, the soluble probe method, and a discussion about the equations for prediction of the reaeration rate coefficient. The inert tracers technique, particularly propane and rhodamine WT, is considered the most well established and reliable, and for their mechanisms widely discussed and verified, it serves as a basis for evaluating the reoxygenation coefficient in streams where it is not known. The other proposals require comparison with data obtained from experiments with tracers, since they are relatively new and its mechanisms have no direct correlation with the mechanism of reoxygenation. The great interest about the new proposals for determination of K_2 is to simplify the experimental procedure and reducing costs.

KeyWords: K_2 , reaeration rate, tracers.

¹ Universidade Federal de Santa Maria - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Químico Industrial, mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. E-mail: formentini@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

ESTUDO DAS METODOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE REAERAÇÃO SUPERFICIAL

Resumo

O artigo apresenta uma revisão bibliográfica das principais metodologias de determinação experimental do coeficiente de reaeração superficial K_2 em escoamentos naturais, apresentando a base teórica de cada método, assim como uma discussão sobre a viabilidade, vantagens e desvantagens dos mesmos. As metodologias abordadas são as seguintes: método dos traçadores (radioativos e inertes), método da pressão sonora, método delta, método da sonda solúvel, além de uma discussão a respeito das equações de previsão do coeficiente de reaeração superficial. A técnica dos traçadores inertes, especialmente propano e rodamina WT, é considerada a mais bem estabelecida e confiável, e por ter seus mecanismos amplamente discutidos e verificados, serve como base para a avaliação do coeficiente de reoxigenação em escoamentos onde o mesmo não é conhecido. As outras propostas necessitam de comparação com os dados obtidos através de experimentos com traçadores, já que são relativamente novas e seus mecanismos não possuem correlação direta com o mecanismo da reoxigenação. O grande interesse acerca das novas propostas de determinação de K_2 consiste na simplificação do procedimento experimental e na redução dos custos.

Palavras chave: Coeficiente de reaeração, K_2 , reaeração superficial, traçadores.

Introdução

A reposição de OD nos escoamentos de água naturais ocorre, principalmente, através da absorção física do oxigênio contido na atmosfera em função da movimentação turbulenta na superfície livre do escoamento. Este fenômeno é conhecido como reaeração ou reoxigenação.

O parâmetro que quantifica a velocidade com que o oxigênio atmosférico se dissolve na água é denominado de coeficiente de reaeração ou coeficiente de reoxigenação (K_2), ou seja, é a taxa para absorção física do oxigênio da atmosfera pelo escoamento.

O principal uso do coeficiente de reaeração é na quantificação do processo de reaeração atmosférica para utilização em modelos de qualidade da água baseados no oxigênio dissolvido. Se o valor de K_2 utilizado em um modelo de qualidade for menor que o real, o grau de tratamento da água indicado pelo modelo será maior que o necessário, podendo implicar em custos maiores e inclusive impossibilitando determinado projeto. De maneira inversa, ao utilizar um valor de K_2 maior que o real, a indicação do modelo para o tratamento será menor que a demandada pelo corpo d'água, o que pode ocasionar sérios problemas ambientais. De todas as formas, salienta-se a importância do conhecimento real das características de reaeração de um manancial para o auxílio em sua gestão e na tomada de decisão.

Determinação experimental do coeficiente de reaeração com o uso de traçadores

A técnica dos traçadores para a determinação experimental do coeficiente de reaeração superficial – K_2 – baseia-se no princípio da relação constante entre a taxa de absorção de oxigênio atmosférico pela água e a taxa de dessorção de um gás traçador injetado na mesma amostra de interesse, independentemente das condições de agitação e temperatura (Rathbun, 1978). Desta forma:

$$K_2 = K_T / R \quad (\text{equação 1})$$

onde: K_2 é o coeficiente de absorção de oxigênio (coeficiente de reaeração), K_T é o coeficiente de dessorção do traçador gasoso, e R a razão obtida entre os coeficientes.

O procedimento para obtenção do coeficiente K_2 consiste na injeção simultânea de um traçador gasoso juntamente com um traçador conservativo de referência, que permite o ajuste da concentração do gás em qualquer ponto de coleta, descontando os efeitos de dispersão e diluição que podem ocorrer devido ao incremento de vazão ao longo do trecho em estudo. Amostras são obtidas em várias seções de coleta a jusante do ponto de injeção dos traçadores e a concentração do traçador gasoso, assim como a diluição e a dispersão podem ser determinados (Rathbun, 1978).

A primeira técnica de determinação de K_2 com o uso de traçadores, proposta por Tsivoglou (1967), propunha a utilização de kriptônio radioativo e água tritiada como traçadores gasoso e conservativo, respectivamente.

Com o intuito de reduzir a utilização de material radioativo em corpos d'água naturais, principalmente nas situações onde o uso de radiotraçadores é restrito, Rathbun et al (1975) desenvolveram um método experimental de determinação de K_2 com uso de traçadores inertes. Esta técnica, denominada inicialmente como “técnica de traçadores modificada”, é uma derivação da técnica com traçadores radioativos. Consiste basicamente na injeção de um gás hidrocarboneto de leve peso molecular – propano – e a utilização de rodamina WT como traçador de referência.

Estimativa do coeficiente de reaeração através da pressão sonora

Nathaniel Morse et al (2007) propuseram um método comparativo, pouco oneroso e de rápida resposta para estimar o coeficiente K_2 , baseado na hipótese de que existe uma relação confiável entre a pressão sonora média (ruído) de um trecho de água em escoamento com o coeficiente de reaeração, uma vez que ambos são fortemente dependentes da turbulência. Também foi considerada a hipótese de um aumento na pressão sonora com o aumento da cota, novamente atribuída ao aumento da turbulência gerado pela elevação na cota e conseqüentemente na vazão.

Os autores encontraram uma relação linear significativa entre os dados obtidos de pressão sonora ponderada (de acordo com as características geomórficas do trecho) e o coeficiente de reaeração medido através da bem estabelecida técnica de dessorção do traçador gasoso propano. O valor do coeficiente de determinação ficou em 0,94, considerado satisfatório, já que o coeficiente de reaeração variou entre zero e 300 d^{-1} , para análises feitas em 3 anos distintos.

A concordância entre as medidas de pressão sonora e cota variou significativamente para diferentes trechos do mesmo rio, sugerindo a dependência de outros fatores geomórficos e características físicas. De um modo geral, o aumento na cota gerou aumento nos níveis de pressão sonora, devido ao aumento na turbulência.

Os primeiros resultados foram satisfatórios à medida que comprovaram a relação existente entre o coeficiente de reaeração e os níveis de pressão sonora. Até que seja estabelecida uma relação teórica confiável entre os processos específicos de turbulência e pressão sonora, experimentos com gases traçadores serão necessários para fins de calibração.

Se a relação entre os valores de pressão sonora ponderada e coeficiente de reaeração for conhecida para diferentes vazões, há a possibilidade da criação de curvas de taxa de reaeração, possibilitando a medição da reaeração em intervalos de tempos comparáveis à leitura de OD e temperatura, por exemplo.

Método da Sonda Solúvel

Originalmente descrito por Giorgetti e Giansanti (1983), o método da sonda solúvel baseia-se no mesmo princípio que o método indireto de determinação do coeficiente de reaeração superficial pela pressão sonora, ou seja, a correlação entre dois parâmetros que são funções diretas da movimentação turbulenta sofrida pela água em escoamento. Neste caso, o fator que se relaciona com a reaeração é a taxa de dissolução de uma pastilha fina de ácido benzóico.

Bicudo e James (1991) noticiaram que, ao contrário da simples relação que é obtida entre a taxa de fuga do gás propano e a taxa de penetração do gás oxigênio através da superfície líquida, para o método dos traçadores modificado, a relação entre o coeficiente de transferência de oxigênio e a velocidade de dissolução de um sólido em água não é constante nem independente das condições de turbulência e misturamento. Essa relação é fortemente controlada pela velocidade do escoamento e a turbulência dentro do sistema.

Apesar das limitações citadas, os autores destacam o baixo custo do procedimento e a possibilidade da realização de testes em escoamentos em regimes não unidirecionais. Em outro estudo, Costa (2000) concluiu que “os dois processos de transferência de massa (reaeração e dissolução do sólido) sofrem influências diferentes a partir do aumento da escala física e conseqüente mudança na estrutura da turbulência e na macro-estrutura do escoamento (turbilhões e estrutura correlatas)”.

Método Delta na determinação do coeficiente de reaeração

Trata-se de um método originalmente proposto por Chapra e Di Toro (1991), a partir de uma proposta de Di Toro (1981). Baseia-se na estimativa da taxa de reaeração, produção primária e taxa de respiração basicamente através de medições diurnas do oxigênio dissolvido, utilizando três características desta curva para obtenção dos resultados: o tempo de déficit mínimo de oxigênio (relativo ao meio-dia solar) é usado para estimar a taxa de reaeração; uma vez obtido o coeficiente de reaeração, a variação de déficit Δ é utilizada para prever a produção fotossintética; finalmente, o déficit médio pode ser utilizado em conjunto com as taxas de reaeração e produção para computar a respiração.

Para simplificar a abordagem, McBride e Chapra (2005) fizeram uma proposta a qual chamaram de “método delta aproximado”, evitando a necessidade de solução numérica dos gráficos propostos originalmente por Chapra e Di Toro. A solução encontrada é:

$$k_a = 7.5 \left(\frac{5.3\eta - \Phi}{\eta\Phi} \right)^{0.85} \quad \text{(equação 2)}$$

Onde

$$\eta = \left(\frac{f}{14} \right)^{0.75} \quad \text{(equação 3)}$$

η = fator de correção do fotoperíodo (adimensional)

f = duração do fotoperíodo (h)

$\Phi = t^* - f/2$ = tempo entre o mínimo déficit de oxigênio e o meio-dia solar (h)

O método delta aproximado possui a notoriedade de ser um método de simples aplicação, especialmente por necessitar de apenas uma seção para realização das medições. Apesar da facilidade de obtenção e tratamento dos dados, não apresenta característica de medição em tempo real, já que o perfil diário de OD deve ser analisado.

Equações de previsão do coeficiente de reaeração K_2 .

Existem na literatura técnica inúmeras equações de previsão do coeficiente de reaeração K_2 , baseadas em dados hidrodinâmicos, principalmente velocidade e profundidade do escoamento. O problema consiste na grande discrepância entre os valores obtidos entre as diversas equações propostas. Isto se deve principalmente ao fato de que estas equações foram propostas para faixas bastante reduzidas de valores para os parâmetros hidrodinâmicos.

Um dos objetivos da determinação experimental de K_2 é a comparação entre os valores obtidos experimentalmente e os valores advindos das diversas equações de previsão disponíveis. Uma vez identificadas as equações que melhor se adaptam ao trecho em estudo, tem-se maior confiabilidade na adoção de valores para diferentes condições de escoamento no rio.

Conclusões

O método dos traçadores mostra-se o mais confiável na determinação experimental do coeficiente de reaeração superficial. Trata-se de uma medida direta, na qual o fenômeno envolvido na realização dos experimentos é o mesmo que rege o próprio mecanismo de reoxigenação superficial, ou seja, a transferência gasosa através de uma superfície líquida.

As metodologias de determinação de K_2 por pressão sonora e sonda solúvel, apesar de simples, pouco onerosas, e de caráter praticamente instantâneo, necessitam de um parâmetro de comparação e calibração. Esse parâmetro, invariavelmente, passa por uma avaliação prévia através do próprio método dos traçadores. Entretanto, são metodologias ainda em desenvolvimento que podem tornar-se bastante úteis para estudos de modelação qualitativa.

As equações de previsão de K_2 , assim como o método delta, consistem em modelos que, como tal, igualmente dependem de uma verificação experimental de sua proposição. Possuem características que não as conferem universalidade. Apesar da elevada discrepância entre os valores obtidos pelas equações propostas na literatura técnica, esta pode ser uma valiosa ferramenta para a estimativa de K_2 quando não se necessita uma exatidão elevada e as avaliações de campo são impraticáveis.

O principal estímulo e importância do estudo e pesquisa de novas metodologias para a avaliação da reoxigenação em rios estão justamente no ponto fraco da metodologia dos traçadores: o aparato experimental sofisticado e a necessidade de uma numerosa equipe de trabalho, implicando em um custo elevado.

Referências Bibliográficas

- Bicudo, J. R. e James, A. (1989): Measurement of reaeration in streams: comparison of techniques. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. **115**, No. 5, pp. 992-1010.
- Chapra, S. C. e Di Toro, D. M. (1991): Delta Method for Estimating Primary Production, Respiration and Reaeration in Streams. *Journal of Environmental Engineering*. **117**(5), 640–655.
- Gleizer, S. (1992): Determinação Experimental do Coeficiente de Reaeração em Rios, com o Uso de Traçador Inerte Gasoso. Dissertação de Mestrado. UFRJ.
- Grant, R. S. e Skavronck, S. (1980): Comparison of tracer methods and predictive equations for determination of stream reaeration on three small streams in Wisconsin. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations* 80-19, 41 p.
- Hampson, P. S. e Coffin, J. E. (1987): Measurements of Reaeration Coefficients for Selected Florida Streams. *U. S. Geological Survey Water Resources Investigation Report* 87-4020.
- Hren, J. (1984): Determination of Reaeration Coefficients for Ohio Streams. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report* 84-4139.
- McBride, G. B. e Chapra, S. C. (2005): Rapid Calculation of Oxygen in Streams: Approximate Delta Method. *Journal of Environmental Engineering (ASCE)*.
- Morse, N. *et al.* (2007): Using sound pressure to estimate reaeration in streams. *Journal of The North American Benthological Society*, **26**(1):28–37.
- Rathbun, R.E. e Grant, R.S. (1978): Comparison of the radioactive and modified technique for measurement of stream reaeration coefficients: *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations* 78-68, 57 p.
- Tsivoglou, E.C. *et al.* (1968): Field studies, Part II of Tracer measurement of stream reaeration: *Journal Water Pollution Control Federation*, v. **40**, no. 2, p. 285-305.