

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE REAERAÇÃO (K_2) EM PEQUENO RIO DE ENCOSTA: ESTUDO DE CASO.

João Francisco C. Horn¹; Francisco R. Forgiarini²; Tiago P. dos Santos³; Liliane M. de Moraes⁴; Geraldo L. da Silveira⁵

Resumo - Este trabalho tem como objetivo quantificar, avaliar e comparar o coeficiente de reaeração (k_2) determinados para um arroio de encosta com valores deste coeficiente disponíveis na bibliografia. A determinação de k_2 foi realizada com a utilização das equações de Owens, et al (1964) e Parker, et al (1987) e do modelo de autodepuração de Streeter e Phelps. Como parâmetro de entrada foram determinadas os valores de oxigênio dissolvido em dois pontos de monitoramento, em um arroio de encosta, que apresenta 118,6 m/km de declividade média, localizado no município e Silveira Martins, RS. Os resultados encontrados com a utilização das equações de Owens, et al (1964) e Parker, et al (1987) não foram representativos para as características hidráulicas do córrego em estudo, apresentando valores superiores a concentração de saturação de oxigênio dissolvido na água. Já o modelo de autodepuração de Streeter e Phelps apresentou resultados semelhantes aos disponíveis na bibliografia para cursos d'água com características semelhantes ao córrego estudado.

Palavras-Chave – Reoxigenação, Rio de encosta.

DETERMINATION OF REAERATION COEFFICIENT (K_2) IN LITTLE RIVER SLOPE: A CASE STUDY

Abstract - This study aims to quantify, evaluate and compare the reaeration coefficient (k_2) determined for a stream slope values of this coefficient available in the literature. K_2 determination was performed using the equations Owens et al (1964) and Parker, et al (1987) and the model depuration Streeter and Phelps. As input parameter values were determined dissolved oxygen at two monitoring points in a stream of ecosta which features 118.6 m / km average slope, located in the municipality and Silveira Martins, RS. The results with the use of equations of Owens, et al (1964) and Parker et al (1987) were not representative of the hydraulic characteristics of the stream under study, with values greater than the saturation concentration of dissolved oxygen in the water. The model depuration Streeter and Phelps showed results similar to those available in the literature for streams with similar characteristics to the stream studied.

Keywords – Reoxygenation, River Slope

¹* Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS E-mail: jfhambiental@gmail.com

² Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental CT/UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS E-mail: francisco.forgiarini@ufsm.br

³ Acadêmico do curso de Gestão Ambiental UDESSM/UFSM. Campus Silveira Martins- RS. E-mail: cacosm@gmail.com

⁴ Acadêmico do curso de Gestão Ambiental UDESSM/UFSM. Campus Silveira Martins - RS. E-mail: liliane.eco@hotmail.com

⁵ Prof. Associado, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental CT/UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS E-mail: geraldo.ufsm@gmail.com

INTRODUÇÃO

O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros utilizados para a avaliação da qualidade da água. Devido a isto, o potencial de reaeração (ou reoxigenação) de um curso d'água tem influência no enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade, estipuladas pela resolução CONAMA 357 de 2005.

Os processos de desoxigenação e reaeração dos cursos d'água proporcionam o balanço da concentração de oxigênio dissolvido. Se a diferença entre estes dois processos apresentar valor positivo, em um trecho específico, pode-se afirmar que este curso d'água é autodepurável (ALMEIDA, 2006).

O processo de reaeração representa a reposição de oxigênio dissolvido nos escoamentos de águas naturais, principalmente por meio do processo de absorção física do oxigênio contido na atmosfera em função da movimentação turbulenta da superfície livre do escoamento (FORMENTINI, 2010). Este parâmetro quantifica a velocidade com que o oxigênio atmosférico se dissolve na água, ou seja, é a taxa de absorção física do oxigênio da atmosfera pelo escoamento.

O K_2 é de difícil obtenção em campo, já que depende das características geométricas do rio, da velocidade da água, presença ou não de corredeiras e quedas, além da capacidade do meio em difundir o oxigênio (MATOS et al., 2011). Na maioria dos trabalhos, o valor de K_2 é determinado utilizando-se equações empíricas ou por meio da calibração de modelos de autodepuração, como o proposto pelos pesquisadores Streeter e Phelps.

Estes pesquisadores estabeleceram as bases matemáticas da curva de oxigênio dissolvido de um curso d'água, tornando-se um modelo clássico em estudos na área da engenharia de recursos hídricos e ambientais, servindo de suporte para todos os outros modelos mais sofisticados que se sucederam (MATOS et al, 2011).

Estimativas para o K_2 podem ser efetuadas utilizando-se dados obtidos em trechos de rios, nesse caso, utilizando-se as equações de Streeter e Phelps. Dessa forma, segundo Matos et al., (2011), evita-se a utilização de equações ajustadas para condições ambientais diferentes das brasileiras e a influência de variáveis não controladas, quando da calibração de modelos mais complexos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de reaeração para um arroio de encosta localizado no município de Silveira Martins, RS. Além disso, busca-se avaliar os valores de K_2 encontrados e comparar com os valores de K_2 disponíveis na bibliografia.

MATERIAL E MÉTODOS

A área do presente estudo pertence a microbacia hidrográfica do chamada Arroio do Veado, pertencente a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim. Esta microbacia possui uma área total de 5,29 Km² e localiza-se no município de Silveira Martin, localizado na chamada escarpa do Planalto, na região centro do Estado do Rio Grande do Sul. O trecho do curso principal desta microbacia possui 1630 metros de comprimento e apresenta nas suas extremidades altitudes de 216 e 407 metros, apresentando uma declividade média de 118,6 m/km. Na figura 1 apresenta-se a delimitação da microbacia em estudo e imagens dos pontos de monitoramento onde foram realizadas as coletas para análise de qualidade d'água. A tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento e suas respectivas altitudes em relação ao nível do mar.

Tabela 1 - Coordenadas Geográficas e altitude dos pontos de monitoramento.

	Coordenadas geográficas		Altitude
	X	Y	(m)
Ponto 1	53°35'24.12" O	29°38'52.93" S	407
Ponto 2	53°35'50.02" O	29°39'27.28" S	216

Durante o período de Junho de 2012 a Abril de 2013 foram realizadas cinco campanhas de qualidade de água, onde analisou-se os seguintes parâmetros: Oxigênio dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, temperatura, turbidez, pH, condutividade e Coliformes Totais e Termotolerantes. Nos pontos de monitoramento existem Calhas Parshall e sensores de pressão para determinação dos níveis da água e assim possibilitando a quantificação da vazão do córrego.

Para a estimativa do coeficiente de reaeração (K_2) foram utilizados três modelos. Primeiramente utilizaram-se duas equações de previsão do coeficiente de reaeração determinadas por: Owens et al (1964) e Parker e Gay (1987), apresentadas na tabela 2. Após, utilizou-se as equações do modelo de autodepuração de Streeter e Phelps. Este modelo é constituído por duas equações diferenciais ordinárias onde: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica e outra, o fluxo de oxigênio proveniente da dinâmica da reaeração atmosférica. Matematicamente a cinética do déficit de oxigênio dissolvido é representada como (BEZERRA et al., 2008):

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (1)$$

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L + K_2 D \quad (2)$$

A concentração de oxigênio dissolvido no tempo é dado por:

$$C(t) = C_s - D(t) \quad (3)$$

Sendo: L a DBO última (mg/L); D o déficit de oxigênio (mg/L); t o tempo (dia); K_1 e K_2 , os coeficientes de desoxigenação e reaeração (dia^{-1}); C(t) a concentração de OD no tempo (mg/L); C_s a concentração de saturação de OD (mg/L) e D(t) o déficit de oxigênio no tempo.

Considerando $t = x / v$, onde x é a posição em relação ao ponto de descarga do efluente (m) e v a velocidade média do fluxo da água (m/s), as soluções das equações 1 e 2, introduzidas na equação 3, resultam em:

$$C(x) = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \cdot \left(e^{\frac{-K_1}{v}x} - e^{\frac{-K_2}{v}x} \right) + (C_s - C_0) \cdot e^{\frac{K_2}{v}x} \right] \quad (4)$$

Sendo: L_0 a DBO última inicial (mg/L) e C_0 a concentração inicial de OD do rio (mg/L).

A partir dos valores de oxigênio dissolvido obtidos nos dois postos de monitoramento, foi possível determinar o valor de K_2 para cada evento, única variável desconhecida na equação 4.



Figura 1- Imagem da microbacia em estudo e dos pontos de monitoramento

Tabela 2 - Equações de previsão de K_2 .

Pesquisador	Equação	Faixa de Aplicação
Owens et al. (1964)	$5,0 U^{0,67} \cdot H^{-1,85}$	$0,1m < H < 0,6m$ $0,05 \text{ m/s} < U < 1,5 \text{ m/s}$
Parker e Gay (1987)	$312,85 H^{-0,176} \cdot U^{0,355} \cdot I^{0,438}$	$0,1m < H < 2,0m$ $0,05m/s < U < 0,7 \text{ m/s}$

U = Velocidade média no trecho (m/s), H = Profundidade média (m), I = Declividade média (m/km)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de reaeração (K_2) e as características do córrego em cada evento estudado estão apresentados na tabela 3.

Comparando os valores K_2 encontrados, com os valores típicos de K_2 apresentados na Tabela 4, observa-se que todos os valores ficaram enquadrados em corredeiras e quedas d'água rasas, apresentando valores superiores a $1,61 \text{ dia}^{-1}$. Observa-se que os valores encontrados por meio dos modelos de previsão de K_2 foram extremamente altos, mostrando a possível não representatividade da utilização destes modelos para o córrego em estudo.

Além disso, observa-se que estes valores estão extremamente elevados quando comparados com os valores de K_2 encontrados por meio do modelo de Streeter e Phelps e os dados de OD observados. Este resultado aumenta a hipótese de que os modelos de previsão utilizadas não se ajustam às condições hidráulicas do local estudado. A tabela 5 apresenta valores de K_2 de cursos d'água semelhantes ao estudado disponíveis na bibliografia.

Tabela 3 - Valores de K_2 (dia^{-1}) encontrados:

Evento	Vazão (m^3/s)	Velocidade (m/s)	Profundidade (m)	K_2 (dia^{-1})		
				A	B	C
11/06/2012	0,0209	0,279	0,075	232,856	105,14	8,686
10/09/2012	0,109	0,532	0,205	51,385	101,93	5,352
12/12/2012	0,2382	0,722	0,33	34,491	137,88	3,525
06/02/2013	0,0233	0,291	0,08	258,07	128,13	6,465
30/04/2013	0,0453	0,377	0,12	138,04	124,49	3,309
Média	0,1746	0,44	0,162	142,97	119,51	5,467

A= Owens et al. (1964), B= Parker e Gay (1987), C = Streeter e Phelps.

Tabela 4 – Valores típicos de K_2 (base e, 20°C)

Corpo d'água	K_2 (dia^{-1})	
	Profundo	Raso
Pequenos lagos	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com baixa velocidade	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Fonte: Tchobanoglous e Schroeder (1985, apud CHIN, 2006); Fair et al; Arceivala (1973; 1981, apud VON SPERLING, 2005)

Analisando a tabela 3, observa-se que os valores encontrados com o modelo de Streeter e Phelps, apresentam valores semelhantes aos encontrados na bibliografia, demonstrando que os valores calculados possam ser considerados válidos. Observa-se também que apesar do córrego em estudo apresentar declividade média superior aos exemplos apresentados na tabela 5, os valores de K_2 encontrados pelo modelo de Streeter e Phelps foram menores que os valores encontrados pelos autores. Isto demonstra a influencia das características hidráulicas de cada córrego presente no processo de reaeração.

A Figura 2 apresenta os perfis de OD obtidos a partir do ajuste do modelo Streeter e Phelps para os eventos observados. O ganho de OD foi maior nos eventos ocorridos nos meses de junho e setembro de 2012. Isto pode ser justificado devido a serem os eventos onde as temperaturas estavam mais amenas, fazendo com que o ganho de oxigênio fosse superior que nos outros eventos.

Resultados semelhantes que demonstram a influência das diferentes temperaturas na concentração de oxigênio dissolvido na água, também foram encontrados por Naime e Fagundes (2005) e Nunes (2008).

Tabela 5 – Valores de K_2 determinados experimentalmente.

Pesquisador	Vazão (m ³ /s)	Declividade (m/km)	Velocidade (m/s)	Profundidade (m)	K_2 (dia ⁻¹)
Black Earth Creek	1,1	0,8	0,34	0,06-0,9	9,64
Bonner Brach (1)	0,05	2,81	0,05	0,2-0,3	8,14
Bonner Brach (2)	0,05	2,31	0,07	0,2-0,3	8,98
Halfway Creek (1)	0,19	1,58	0,29	0,1-0,2	13,1
Halfway Creek (2)	0,19	1,48	0,31	0,1-0,2	22,8
Raccoon Creek at Newark	1,55	2,11	0,48	0,23	15,05
Silver Creek at Doylestown	0,08	4,6	0,09	0,24	11,08
Sandusky River at Tiffin	1,64	2,81	0,21	0,12	7,7
Little Beaver Creek	0,61	1,72	0,24	0,31	9,32
Rocky River	0,92	1,33	0,21	0,15	11,65

Fonte: Rathbun e Grant (1978), Grant e Skavroneck (1980), Hren (1984), Gleizer (1992) e Barbosa Júnior (1997).

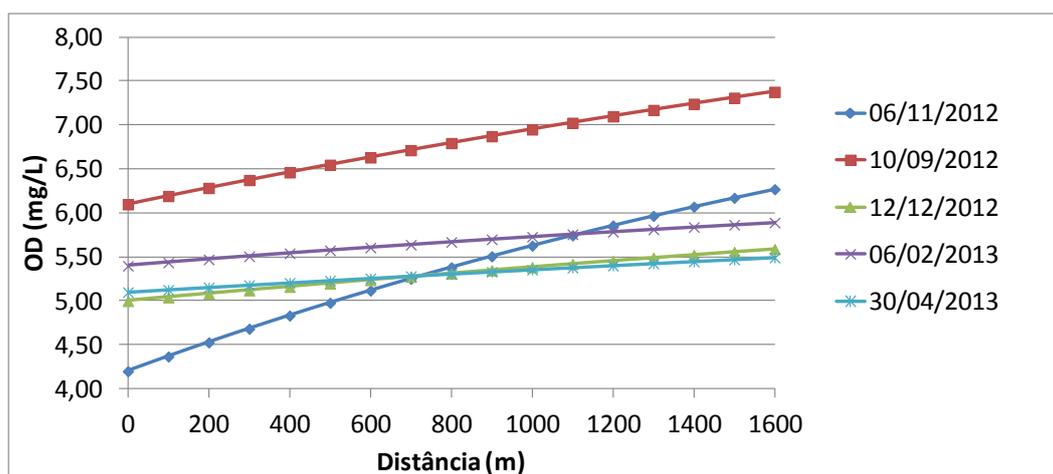


Figura 2 – Gráfico da concentração de Oxigênio Dissolvido ao longo do curso d'água.

CONCLUSÃO

Os valores de K_2 , encontrados a partir dos dados observados de OD no trecho de monitoramento e do ajuste do modelo de autodepuração de Streeter e Phelps, são compatíveis com valores encontrados em outros estudos. Já os valores determinados a partir dos modelos de previsão de K_2 foram extremamente elevados. Com estes valores a concentração calculada de OD extrapolou a concentração de saturação de oxigênio dissolvido na água, não se adequando aos dados observados.

O monitoramento será continuado com vista em determinar uma equação que descreva o processo de autodepuração que ocorre no local. Esta continuidade é importante devido a pequena quantidade de dados disponíveis e pelo trecho em estudo receber efluentes domésticos não tratados oriundos do município de Silveira Martins – RS, podendo prejudicar as atividades que dependem do uso da água a jusante do município.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, por bolsas de iniciação científica disponibilizadas pelos editais 27/2012 PROBIC/FAPERGS/UFSM (acadêmico Tiago Pereira dos Santos) e pelo edital PRPGP/UFSM 016/2012 FIPE JUNIOR (acadêmica Liliane Milani de Moraes).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro por meio do Edital Universal 14/2011 - Processo 480981/2011-6.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS pelo apoio financeiro por meio do Edital Auxílio Recém doutor 01/2011 – Processo 11/1787-8.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. V. D. Índice de qualidade da água e coeficientes de autodepuração de trechos do rio pomba. 2006. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

BARBOSA J. A. R. Uso de traçadores na determinação de parâmetros de qualidade em escoamentos naturais da água. 1997. 457p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1997.

BEZERRA, I. S. O.; MENDONCA, L. A. R.; FRISCHKORN, H. Autodepuração de cursos d'água: um programa de modelagem Streeter Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. Vol. 61, n.2, pp. 249-255, 2008 ISSN 0370-4467.

FORMENTINI, T. A.; GASTALDINI, M. C. C. Determinação experimental do coeficiente de reaeração superficial: estudo da arte. In *Anais do X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2010, Maceió.

GLEIZER, S. Determinação Experimental do Coeficiente de Reaeração em Rios com o Uso de Traçador Inerte Gasoso. 1992. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Maio de 1992.

GRANT, R. S.; SKAVRONECK, S. Comparison of tracer methods and predictive equations for determination of stream-re-aeration coefficients on three small streams in Wisconsin. United States Geological Survey. Water Resources Investigation Report 80-19. 1980.

MATOS, A. T.; ALMEIDA, T.V.; SILVA, D.D.; FARAGE, J.A.P. Coeficiente de reaeração em três trechos do rio pomba (mg), obtidos nos períodos chuvoso e seco. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, V.19 N.4, JULHO / AGOSTO 2011.

NAIME, R.; FAGUNDES, RS. Controle da qualidade da água de Arroio Portão-RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v.32, n.1, p. 27-35, 2005

NUNES, D. G.. Modelagem da autodepuração e qualidade da água do rio Turvo Sujo. 2008. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Junho de 2008.

RATHBUN, R.E., and GRANT, R.S. Comparison of the radioactive and modified technique for measurement of stream reaeration coefficients: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, 78-68, 57 p. 1978

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG. 2005. 452 p.