

IV-039 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO EM TRECHOS DO RIO VACACAÍ MIRIM**Thiago Augusto Formentini⁽¹⁾**

Químico Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM – RS). Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFSM – RS).

Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Engenheira Civil, Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM – RS).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Maria – Av. Roraima, nº 1000, sala 435, prédio 10 – Cidade Universitária – Bairro Camobi – Santa Maria - RS - CEP: 97105-900 - Brasil - Tel: +55 (55) 3220-9421 - Fax: +55 (55) 3220-8030 - e-mail: formentini@gmail.com

RESUMO

O coeficiente de desoxigenação foi determinado em três seções representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, no município de Santa Maria - RS, sendo uma com característica urbana, uma mista e uma rural. Três experimentos foram conduzidos, caracterizando diferentes vazões no rio Vacacaí Mirim. O coeficiente K_1 foi determinado por meio da construção da curva de decaimento de oxigênio *versus* tempo, num período total de 20 dias. Os valores de K_1 variaram de $0,15 \text{ dia}^{-1}$ a $0,27 \text{ dia}^{-1}$. Observou-se um aumento de K_1 com o aumento da vazão, nas seções de característica mista e rural, evidenciando a maior contribuição da carga orgânica de maneira difusa nessas áreas. Não foi possível observar uma variação de vazão significativa na seção de característica urbana, devido ao amortecimento do escoamento pelo reservatório situado a montante da seção. Nesta seção, possivelmente, um aumento na descarga líquida acarreta uma diminuição no valor do coeficiente de desoxigenação, já que é visível a contribuição pontual de esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Desoxigenação, Autodepuração, DBO, K_1 .

INTRODUÇÃO

A quantidade de oxigênio dissolvido em um corpo d'água caracteriza-se por ser um dos principais parâmetros indicadores da qualidade da água, sendo um fator determinante para a proliferação e manutenção da vida de seres aquáticos superiores, que se utilizam deste oxigênio no processo de respiração (Maia, 1996).

A poluição hídrica, contudo, está diretamente relacionada à capacidade natural do corpo receptor em se autodepurar, ou seja, a capacidade de oxidar os compostos biodegradáveis por meio da atividade respiratória dos microrganismos, que se alimentam dessa matéria orgânica, consumindo o oxigênio dissolvido (OD) da água (Costa, 2000).

De acordo com Stamer *et al.* (1982), avaliações confiáveis de DBO são a principal ferramenta para o projeto de estações de tratamento de água e para prever o impacto de um lançamento de esgotos em um corpo d'água. Tão importante quanto estimar o montante de OD consumido pela matéria orgânica em cinco dias, período padrão da DBO_5 , é conhecer a demanda total de consumo de oxigênio dessa amostra, a DBO_u , e principalmente a velocidade com que esse mecanismo se processa: o coeficiente de desoxigenação K_1 .

A DBO é tradicionalmente abordada como uma reação de 1ª ordem, na qual a velocidade de consumo da matéria orgânica carbonácea é proporcional a quantidade de matéria ainda restante na amostra. Assim, essa velocidade será maior num primeiro momento, onde a carga orgânica é alta, mas tende a decair progressivamente, à medida que a matéria orgânica é consumida. A relação pode ser expressa por:

$$dL/dt = -K_1 L \quad \text{equação (1)}$$

onde dL/dt é a velocidade de consumo de oxigênio dissolvido (ou DBO exercida) por unidade de tempo (mg/L.dia); K_1 é a constante de reação da DBO (dia^{-1}) e L a DBO última (apenas carbonácea) (mg/L).

Fazendo a integração, obtém-se:

$$L_t = L_0 e^{-K_1 t} \quad \text{equação (2)}$$

onde L_0 é a DBO final ou oxigênio total consumido na reação (mg/L) e L_t é a DBO remanescente no tempo t (mg/L).

A quantidade de oxigênio consumida durante um período do teste de DBO (Y) é:

$$Y = L_0 - L_t \quad \text{equação (3)}$$

Assim,

$$Y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad \text{equação (4)}$$

ou usando base 10:

$$Y = L_0 (1 - 10^{-K_1 t}) \quad \text{equação (5)}$$

A relação entre K_1 na base 10 e K_1 na base e é:

$$K_e = 2,303 K_{10} \quad \text{equação (6)}$$

A velocidade de reação da DBO varia de acordo com a quantidade e a natureza da matéria orgânica presente, a temperatura e o tipo de microorganismos presentes na água.

Segundo Von Sperling (2005), a temperatura tem uma grande influência no metabolismo microbiano, afetando, por conseguinte, as cinéticas de conversão da matéria orgânica. A relação empírica entre a temperatura e a velocidade de desoxigenação pode ser expressa da seguinte forma:

$$K_{1,T} = K_{1,20} \theta^{(T-20)} \quad \text{equação (7)}$$

sendo $K_{1,T}$ o valor de K_1 a uma temperatura qualquer (dia^{-1}); $K_{1,20}$ o valor de K_1 a 20°C (dia^{-1}); T a temperatura da água ($^\circ\text{C}$); e θ o coeficiente de temperatura. Um valor usual para θ , segundo Von Sperling (2005), é 1,047.

Ao aplicar-se esse valor a θ verifica-se que K_1 aumenta 4,7% a cada acréscimo de 1°C na temperatura. Esse fato, no entanto, não altera o valor de L_0 , apenas faz com que esse estado de oxidação total da matéria orgânica carbonácea presente seja atingido mais rapidamente.

O fenômeno da desoxigenação pode ser ilustrado levando em consideração a maneira com que os microorganismos presentes utilizam a matéria orgânica presente em uma amostra. Primeiramente, ocorre uma rápida reação de síntese (transformação de carboidratos de alto peso molecular em moléculas menores), onde a concentração de oxigênio dissolvido cai abruptamente, devido à alta concentração orgânica do meio, característica principal de esgotos ou efluentes brutos. Num segundo momento, verifica-se um metabolismo endógeno mais lento (figura 1). Em efluentes tratados, a maior parte da matéria orgânica foi removida e o mecanismo processa-se mais lentamente, resultando num consumo de oxigênio mais lento e conseqüentemente num menor valor de K_1 . De maneira oposta, quanto maior a velocidade de reação, devido às altas concentrações de matéria orgânica assimilável pelos microorganismos, maior o valor de K_1 (Gray, 2004).

É possível que amostras com diferentes valores de K_1 apresentem a mesma DBO_5 . Na figura 2 observa-se o efeito, na DBO_5 , de diferentes velocidades de reação para amostras que apresentam a mesma DBO_5 , ilustrando a importância do conhecimento do mecanismo da degradação da matéria orgânica para a tomada de decisão ou para a previsão do impacto gerado por uma carga poluidora em um escoamento natural.

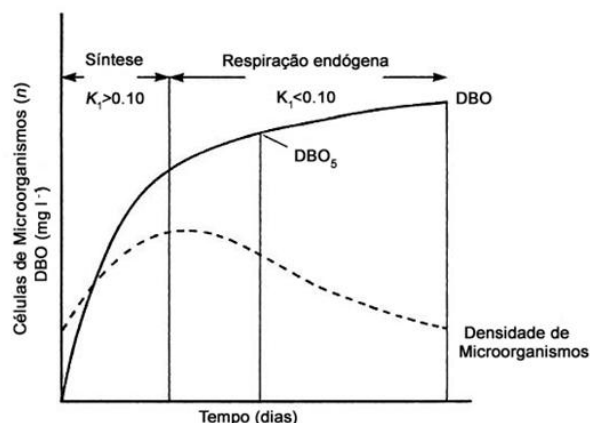


Figura 1: Mecanismo de decomposição microbológica que ocorre em um frasco de DBO (adaptado de Gray, 2004)

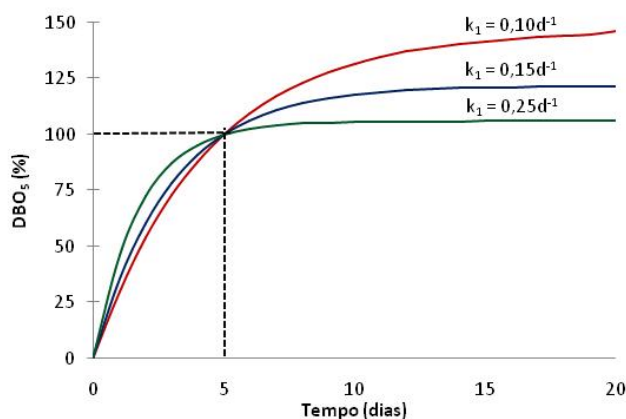


Figura 2: O efeito de diferentes velocidades de reação para o cálculo da DBO₅ de amostras com a mesma DBO₅ (adaptado de Gray, 2004)

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim (figura 3) está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Possui área total de 1120 Km², abrangendo cinco municípios: Santa Maria, Restinga Seca, Itaara, São João do Polesine e Silveira Martins.

Essa bacia está situada entre as coordenadas geográficas 53°06'21" a 53°50'44" de longitude Oeste e 29°31'33" a 29°54'35" de latitude Sul. Faz parte da bacia G60 – Vacacaí – Vacacaí Mirim, Região Hidrográfica do Guaíba, do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, instituído nos termos da lei 10350/1994 e do decreto número 37034/1996, que regulamentam o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul (Oppa, 2007).

Oppa (2007) descreve as características referentes ao uso e ocupação do solo, ao reservatório localizado à montante da bacia, e os problemas gerados pela crescente urbanização na bacia hidrográfica. À montante da bacia, está localizado o reservatório da bacia do rio Vacacaí Mirim, com área inundada de 0,74 km², volume de 3,8 x 10⁶ m³, com bacia contribuinte de aproximadamente 29 km². Esse reservatório é responsável por 40% do abastecimento público da cidade de Santa Maria. A área do reservatório é caracterizada pela mata nativa, agricultura de cultivos anuais e permanentes, pecuária (em menor escala) e balneários. Há uma pequena, porém crescente, área em fase de urbanização. Abaixo do reservatório, a bacia é característica de área urbana em sua margem direita e de área rural, com campo nativo e agricultura irrigada em sua margem esquerda. Na parte baixa da bacia, há predominância do cultivo de arroz irrigado por inundação, com elevadas taxas de consumo de água.

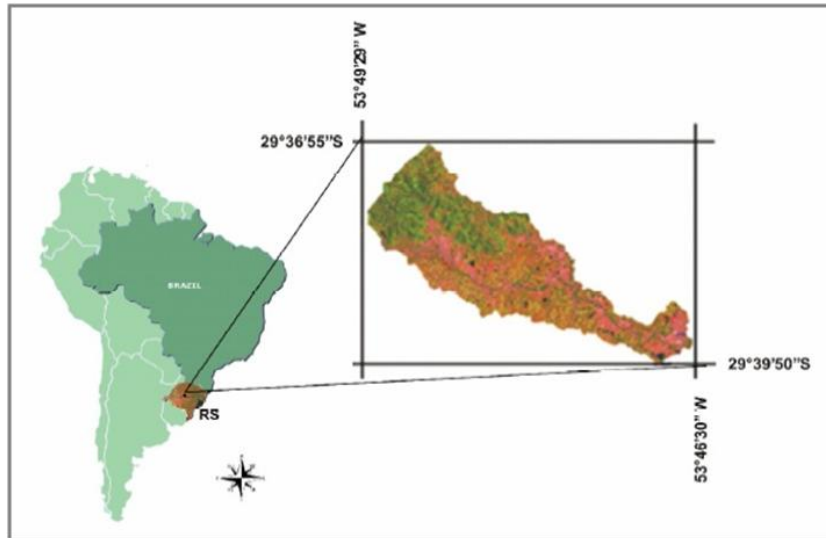


Figura 3: Localização da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim

A bacia do rio Vacacaí Mirim sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola, ocasionando sérios problemas de qualidade e quantidade da água. A maior parte da população presente na bacia ocupa a área urbana. A parcial disponibilidade de rede coletora e tratamento de esgoto na região aumentam a poluição das águas. A falta de conscientização da população e de fiscalização por parte das prefeituras faz com que a população descarte o esgoto, sem tratamento prévio, em córregos e no rio, resultando em problemas qualitativos. Outro fator, que afeta qualitativamente as águas e que deve ser citado, é a poluição difusa oriunda do meio rural. Substâncias presentes em agrotóxicos e fertilizantes e que estão em excesso nas plantações de arroz vão parar no rio devido ao escoamento superficial. As lavouras de arroz na bacia do Rio Vacacaí Mirim ocupam grande parte das várzeas ao longo do rio principal e seus afluentes.

Para o estudo da cinética de desoxigenação no rio Vacacaí Mirim foram selecionadas três seções de características distintas: a primeira está situada imediatamente a jusante do reservatório, numa área em expansão urbana e sem a devida infra-estrutura para coleta e tratamento de esgoto (denominada seção D1); a segunda está numa região considerada mista, com moderada ocupação urbana e próxima a áreas de plantação de arroz (denominada D2); já a terceira seção representa uma área essencialmente rural, em meio às já citadas plantações de arroz que predominam na parte baixa da bacia (denominada D3).

METODOLOGIA

Amostras foram coletadas no centro do escoamento, recolhidas em garrafas de polipropileno com capacidade para 5 litros cada, e acomodadas em caixas térmicas com banho de gelo. Imediatamente após a coleta foram transportadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CT – UFSM.

O procedimento experimental para determinação do coeficiente de desoxigenação seguiu as recomendações de Stamer *et al.* (1982), com algumas alterações, de maneira a adaptar a metodologia à vidraria e aos equipamentos disponíveis em laboratório.

As seguintes observações tornam-se pertinentes:

- Baseado na análise dos dados obtidos por Oppa, Gastaldini e Missio (2007), optou-se por não realizar diluição das amostras, uma vez que a DBOu esperada, para todos os pontos, não seria maior que 40 mg/L e, portanto, poucas reinjeções no decorrer dos 20 dias seriam suficientes para prover o oxigênio requerido para os testes.
- Os tempos, relativos ao início do experimento, em que foram feitas as leituras seguiram o proposto por Stamer *et al.* (1982). No entanto, pequenas variações ocorreram entre as diferentes campanhas, de modo que se buscou adaptar as leituras sempre para dias úteis e no período diurno. Tais variações não

representam problema na construção da curva de decaimento de oxigênio, já que a mesma é plotada na forma de “dispersão”.

Todos os procedimentos descritos a seguir foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CT – UFSM:

- Tomou-se 1 litro de cada amostra em um frasco âmbar, de boca larga e esmerilhada. A amostra deve preencher até o bocal do frasco.
- Com o emprego de uma bomba de ar, uma mangueira e um difusor de pedra porosa (comumente utilizados em aquários), borbulhou-se oxigênio (atmosférico) por 15 minutos na amostra.
- Deixou-se repousar por mais 15 minutos, para eliminar a agitação e dissipar o excesso de bolhas de ar.
- Inseriu-se uma barra magnética e agitou-se brandamente a amostra para realizar a leitura.
- Realizou-se a leitura de oxigênio dissolvido com o auxílio de um oxímetro YSI – Yellow Springs Instrument Co., modelo 58 e outro oxímetro Solar Instrumentação, modelo SL 520 (figura 4). A calibração foi realizada de acordo com o descrito no manual, baseado na concentração de oxigênio no ar com 100% de umidade, levando em conta a altitude do local e a temperatura.
- Adicionou-se 0,54g de inibidor de nitrificação a base de 2-Cloro-6-(Triclorometil)Piridina.
- Tampou-se cuidadosamente os frascos, tomando-se o cuidado de não deixar bolhas de ar no interior do mesmo.
- Incubou-se a amostra no escuro, à temperatura de 20°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$).
- Realizaram-se novas medições de modo a aproximar-se de: $t = 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16,$ e 20 dias.
- De modo a repor as pequenas quantidades de amostra perdidas em cada leitura (retidas no corpo da sonda do oxímetro) e desta forma evitar a retenção de bolhas de ar ao tampar novamente os frascos, mantiveram-se incubadas amostras “replicatas”, sob as mesmas condições das amostras em análise.

Os dados obtidos foram tratados com o software Microsoft Excel 2007, gerando as curvas de decaimento de oxigênio versus tempo e DBO exercida versus tempo. Empregando a equação 4 e utilizando o método de ajuste não linear por mínimos quadrados, por meio da ferramenta Solver, determinou-se o valor do coeficiente de desoxigenação K_1 .



Figura 4: Leitura da concentração de oxigênio dissolvido e amostras no interior da incubadora

RESULTADOS

A primeira campanha de determinação do coeficiente de desoxigenação foi realizada no dia 11 de janeiro de 2010. O objetivo desta primeira análise foi testar a metodologia, tanto de coleta como de análise, que se pretendia utilizar. Observou-se o tempo de transporte das amostras entre os pontos de coleta e o laboratório, a duração do procedimento em laboratório, bem como o comportamento do oxigênio dissolvido nas amostras no decorrer dos 20 dias de observação. Esta campanha foi importante para a padronização, entre os membros da equipe responsáveis pelas medições, dos procedimentos descritos na metodologia de análise de laboratório, como, por exemplo, a calibração do oxímetro, a manipulação dos agitadores magnéticos, a abertura e fechamento dos frascos, etc. As curvas obtidas nesta campanha foram satisfatórias, no entanto não foram incluídas neste trabalho porque, no momento da coleta das amostras, não foram medidas as descargas líquidas das seções de amostragem.

Posteriormente, três campanhas completas de coleta de amostras e medição de vazão foram realizadas: nos dias 11 de março e 07 de abril, em período seco, após pelo menos uma semana sem ocorrência de precipitação; e no dia 27 de abril de 2010, logo após um período chuvoso.

Na tabela 1 e nas figuras de 5 a 13 são apresentados os resultados obtidos na determinação do coeficiente de desoxigenação K_1 , nas três seções analisadas e em três diferentes experimentos. Os dados são correlacionados com as vazões do momento da coleta, que via de regra representam a maior ou menor diluição da carga orgânica lançada no corpo d'água pontualmente ou de forma difusa, além da DBO_5 e a DBO_u observada.

Todos os valores de K_1 foram calculados e conseqüentemente apresentados na base e . Não foi necessária a correção de temperatura em nenhum dos casos, já que durante a realização dos experimentos as amostras permaneceram encubadas a 20°C, que é a temperatura de referência do coeficiente.

Os coeficientes de desoxigenação variaram entre 0,15 dia⁻¹ (seções D2 e D3, no dia 11 de março de 2010) e 0,27 dia⁻¹ (seção D2, no dia 27 de abril de 2010). Os valores de K_1 para a seção D1, de característica predominantemente urbana, apresentaram pouca variação, entre 0,22 dia⁻¹ e 0,24 dia⁻¹, sendo que a DBO_5 e DBO_u deste ponto foram consideravelmente mais elevadas que nos outros pontos estudados.

Tabela 1: Valores obtidos para K_1 (base e , 20°C) em cada seção de amostragem, com a respectiva DBO_5 , DBO_u e vazão do dia da coleta

Seção	Parâmetros	K_1 (dia ⁻¹)	Vazão (m ³ /s)	DBO_5 (mg/L)	DBO_u (mg/L)
11/3/2010					
	D1	0,24	0,017	10	14
	D2	0,15	0,217	1	3
	D3	0,15	1,87	1	1
7/4/2010					
	D1	0,22	0,013	20	31
	D2	0,17	0,02	3	5
	D3	0,18	0,60	2	3
27/4/2010					
	D1	0,23	0,018	16	22
	D2	0,27	0,35	3	4
	D3	0,21	3,33	2	4

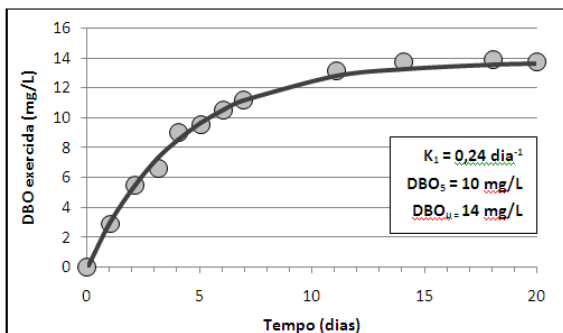


Figura 5: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 11/03/2010 – Seção D1

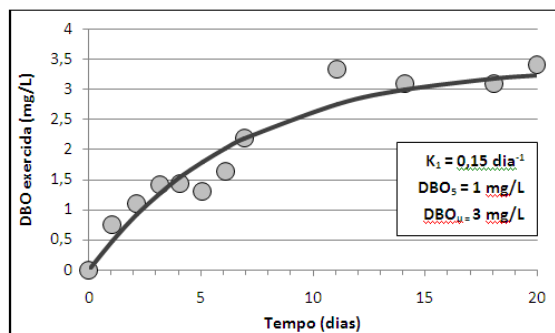


Figura 6: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 11/03/2010 – Seção D2

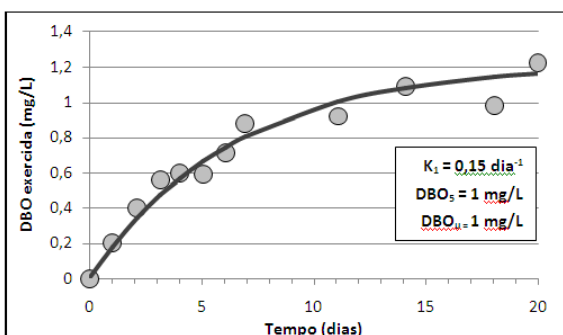


Figura 7: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 11/03/2010 – Seção D3

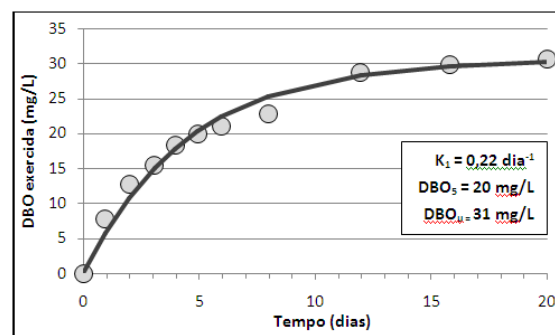


Figura 8: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 07/04/2010 – Seção D1

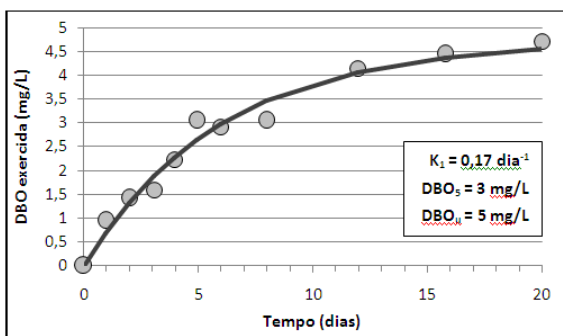


Figura 9: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 07/04/2010 – Seção D2

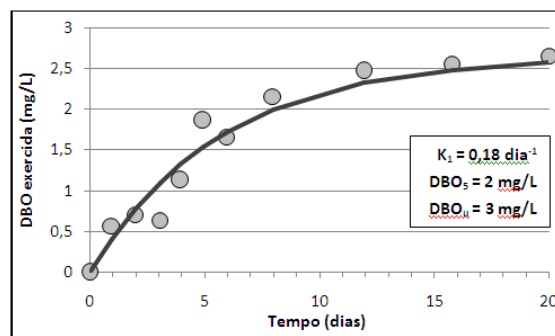


Figura 10: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 07/04/2010 – Seção D3

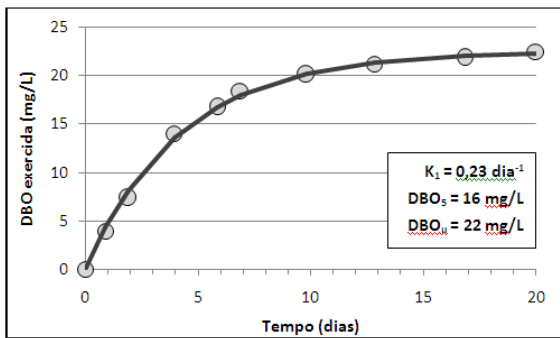


Figura 11: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 27/04/2010 – Seção D1

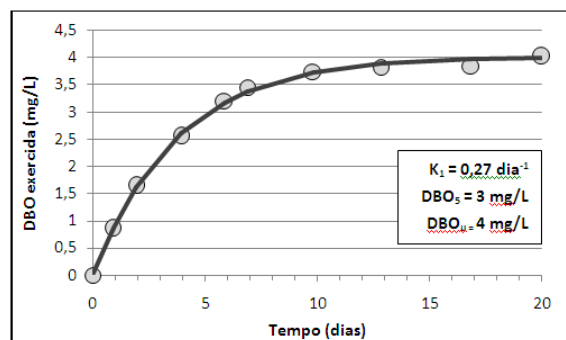


Figura 12: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 27/04/2010 – Seção D2

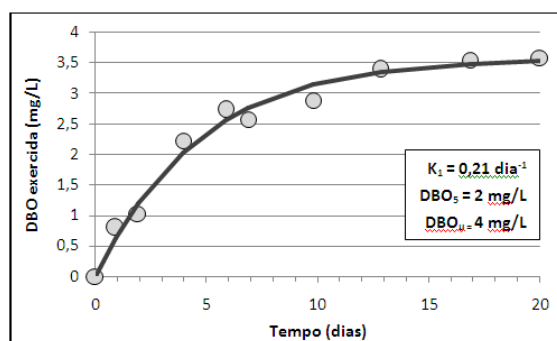


Figura 13: DBO exercida observada x tempo e ajuste não linear por mínimos quadrados: experimento 27/04/2010 – Seção D3

CONCLUSÕES

Observou-se no estudo da desoxigenação que os valores mais elevados de K_1 , nas seções D2 e D3, ocorreram nos eventos de vazão mais alta, após a ocorrência de chuvas, provavelmente devido a uma maior contribuição de poluição difusa, o que evidencia a característica rural destas áreas. Já na seção D1, que representa a área de maior concentração urbana da bacia do Rio Vacacaí Mirim, os dados não puderam ser observados com a variação da descarga líquida, uma vez que o reservatório situado a montante da seção amorteceu o escoamento nos eventos estudados. Os valores de K_1 , em geral, foram mais altos na seção D1 em relação às seções D2 e D3, e é provável que um aumento na vazão neste ponto provoque a diminuição do coeficiente de desoxigenação, devido à diluição do esgoto lançado pontualmente na região.

Pode-se concluir que, dentro da faixa de DBO_5 estudada (1 mg/L a 20 mg/L), a DBO não apresentou uma correlação direta com o coeficiente de desoxigenação, que permaneceu em uma faixa relativamente restrita, entre $0,15 \text{ dia}^{-1}$ e $0,27 \text{ dia}^{-1}$. Comparando os resultados obtidos com os sugeridos pelas tabelas 1, 2 e 3, observa-se que as seções estudadas podem ser enquadradas, quanto ao coeficiente K_1 , como corpos d'água poluídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, Orlene Silva da; Determinação Indireta do Coeficiente de Reaeração Através de Dissolução Unidimensional de Sondas de Ácido Oxálico. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.
2. GRAY, N. F. Biology of wastewater treatment. Imperial College Press, 2004. 1421p.
3. MAIA, Guilherme Del Nero; Análise dos Parâmetros Cinéticos no Fenômeno da Reoxigenação e Desoxigenação da Água. 1996. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 1996.

4. OPPA, L. F.; GASTALDINI, M. C. C.; MISSIO, D. Análise da sensibilidade em modelo de qualidade da água aplicado à bacia do Rio Vacacaí Mirim/RS. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo. p. 1-16.
5. STAMER, J. K.; BENNETT, J. P.; MCKENZIE, S. W. Determination of ultimate carbonaceous BOD and the specific rate constant (K_1). U.S. Geological Survey. Open-File Report 82-645. 1983.
6. VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG. 2005-B. 452 p.