



## X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

*“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”*

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Severino Sombra  
Vassouras – RJ – Brasil

### **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO NA AUTODEPURAÇÃO DE UM CORPO HÍDRICO**

**M. Carvalho\*<sup>1</sup>; P. Ricciardone<sup>2</sup>; D.M.Torres<sup>3</sup>; C.S.S.Pereira<sup>4</sup>, O.S.Pereira<sup>5</sup>**

<sup>(1)</sup> Aluno DEMAT/UFRRJ <sup>(2)</sup> Mestrando Engenharia Ambiental – PEA/UFRJ

<sup>(3)</sup> Mestrando Engenharia de Materiais – PUC/RIO

<sup>(4)</sup> Docente – CECETEN/USS <sup>(5)</sup> Docente - DEMAT/ICE/UFRRJ

Departamento de Matemática – Instituto de Ciências Exatas - UFRRJ

BR465, Km 7 - Seropédica, RJ – CEP 23890-000

e-mail: orlandopereira@ufrj.br

**RESUMO** - Diante da necessidade de estudos que avaliem o potencial de poluição e degradação de corpos hídricos impactados pelos processos de urbanização, o presente trabalho realizou o estudo da capacidade de autodepuração do Rio das Mortes situado no Município de Vassouras/RJ. Este rio é a principal drenagem da sede do município e recebe esgoto doméstico bruto sem tratamento de diversas casas ao longo de sua extensão, até seu encontro com o Rio Paraíba do Sul. As bases matemáticas para os modelos de simulação de qualidade da água foram estabelecidas pelos pesquisadores Streeter e Phelps, em 1925, originando um modelo conhecido como modelo de Streeter & Phelps, clássico dentro da Engenharia Ambiental. O modelo de Streeter e Phelps é constituído, de forma genérica, por duas equações diferenciais ordinárias: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica e outra, o fluxo de oxigênio proveniente da dinâmica da reaeração atmosférica. Essas equações são nomeadas de equações de desoxigenação e de reaeração, respectivamente. O estudo foi realizado no período de seca, período em que ocorre diminuição da diluição no corpo hídrico, objetivando-se avaliar a capacidade de autodepuração do rio nesta época. Objetivou-se avaliar a utilização do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ), obtido experimentalmente, para simular a capacidade de autodepuração do rio das Mortes nos perfis de OD ao longo do trecho estudado. Com a determinação do coeficiente de desoxigenação de modo experimental, as simulações apresentaram uma análise mais real do processo de autodepuração do rio estudado.

Palavras chave: Modelagem Matemática, DBO.

### **INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional desacelerado, as atividades industriais e outras atividades humanas exigem, cada vez mais, o uso da água. De acordo com Teles e Silveira (2006), o aumento por essa demanda ocasiona

a geração de resíduos líquidos que são muitas vezes lançados in natura nos corpos hídricos, alterando assim suas características naturais. A introdução de matéria orgânica em um curso de água resulta no consumo de oxigênio dissolvido. Isso se deve aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias

decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração.

O decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido tem diversas implicações do ponto de vista ambiental, constituindo-se em um dos principais problemas de poluição das águas (HESPANHOL, 2009). Segundo Von Sperling (2005) o fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. O conceito de autodepuração apresenta a mesma relatividade que o conceito de poluição. A água pode ser considerada depurada mesmo que não esteja totalmente purificada em termos higiênicos, apresentando, por exemplo, organismos patogênicos.

A modelagem de qualidade das águas é uma ferramenta que auxilia na compreensão dos fenômenos envolvidos no processo natural de assimilação de poluentes. O modelo de Streeter-Phelps (1925) é precursor entre os modelos numéricos de qualidade de água. Foi primeiramente aplicado em 1925, em um estudo sobre o Rio Ohio, com o objetivo de aumentar a eficiência das ações a serem tomadas no controle da poluição. Tal modelo é constituído por duas equações diferenciais ordinárias: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica e a outra o fluxo de oxigênio proveniente da dinâmica da reaeração atmosférica.

Essas equações são nomeadas equações de demanda bioquímica de oxigênio e equação de reaeração, respectivamente. A solução analítica da equação diferencial originalmente proposta pelo modelo de Streeter Phelps permite que as concentrações de oxigênio dissolvido ao longo do tempo sejam avaliadas a partir da Equação 1.

$$C(t) = C_s - \left[ \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \right] \quad (1)$$

em que:  $C_t$ = Concentração de oxigênio ao longo do tempo (mg/L);  $C_s$ = Concentração de saturação de oxigênio (mg/L);  $L_0$ = DBO

remanescente em  $t=0$  (mg/L);  $D_0$ = Déficit de oxigênio inicial (mg/L).

O coeficiente de desoxigenação  $K_1$  é um parâmetro de grande importância na modelagem do oxigênio dissolvido, depende do tipo da matéria orgânica, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras, além do nível de tratamento (NUNES, 2008).

Existem diversos métodos para a determinação do  $K_1$  por meio da estimativa da taxa de desoxigenação. Apontados por VON SPERLING (2007), o método mais utilizado no passado para estimar  $K_1$  foi o método dos mínimos quadrados.

Atualmente, a determinação de  $K_1$  é promovida pelo acesso a programas estatísticos computacionais. Os métodos mais utilizados são os de regressão não linear, em que a curva teórica é ajustada aos diversos pontos experimentais de DBO em função do tempo, onde se obtêm simultaneamente os valores dos parâmetros de  $K_1$  e  $L_0$  (VON SPERLING, 2007).

O interesse em estudar a autodepuração do Rio das Mortes é a contrapartida da Universidade Severino Sombra (USS) para com a cidade de Vassouras/RJ e com a comunidade em geral, devido ao fato da mesma estar situada no centro da cidade e em local que abrange o rio estudado. Diante do exposto o objetivo do trabalho foi avaliar a utilização do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) experimental na simulação da capacidade de autodepuração do Rio estudado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

O município de Vassouras/RJ se desenvolve entre vales drenados por cursos d'água de pequeno porte, todos afluentes do Rio das Mortes. Este rio é a principal drenagem da sede do município. O rio recebe esgoto doméstico bruto, sem tratamento, de diversas casas ao longo de sua extensão, até seu encontro com o Rio Paraíba do Sul. Foram escolhidas três áreas de coleta, como mostrado na Figura 1. As amostragens ocorreram no período de seca (Agosto/2013) com o objetivo de avaliar o comportamento do processo de autodepuração nessa época do ano.



**Figura 1 - Pontos de coleta**

De acordo com a Figura 1, o ponto 1 corresponde a área de maior recebimento de despejos localizado no centro da cidade. O ponto 2 está localizado no meio do percurso do rio e é caracterizado por fazendas ao seu redor. O ponto 3 caracteriza-se por ser o ponto de deságüe do Rio das Mortes no Rio Paraíba do Sul, principal rio da região. Do ponto 1 ao encontro com o Rio Paraíba do Sul, a extensão do Rio das Mortes é de aproximadamente 7 Km.

Em cada ponto de amostragem foram coletados 2 frascos de polietileno, com capacidade máxima de 2 litros de água. Foi utilizada caixa de isopor com gelo para condicionamento das amostras até a chegada ao laboratório.

#### **Determinação do Oxigênio Dissolvido e da Demanda Bioquímica de Oxigênio**

A pesquisa foi realizada no laboratório de Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, onde foram conduzidos os ensaios de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). Os frascos contendo as amostras foram incubados à temperatura de 20 °C, durante um período de 12 dias. A cada dois de incubação, foram

realizadas as análises de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As análises de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio foram determinadas através do Unikit de bancada fornecido pela empresa Alfakit com metodologia adaptada do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1988) e NBR 12614. A água utilizada no preparo das soluções e nos experimentos foi deionizada e todas as análises foram feitas em triplicata.

#### **Determinação do coeficiente de desoxigenação**

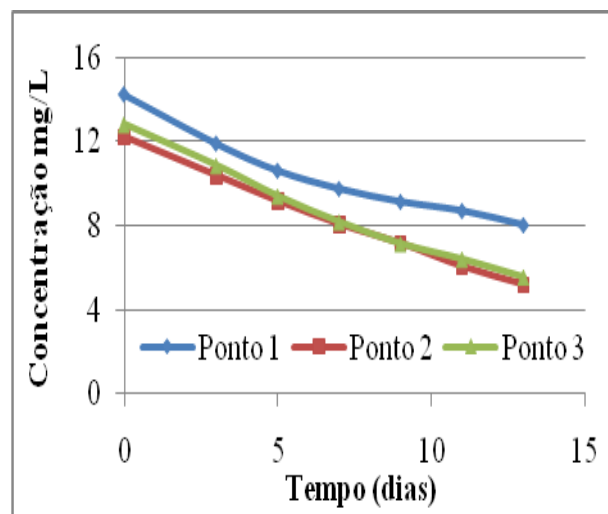
Para determinação do valor de  $K_1$  do Rio das Mortes, foram realizados ensaios, nos quais foram observados os valores de OD e DBO e posteriormente foram compilados pelo método de regressão não linear.

#### **Modelagem Matemática**

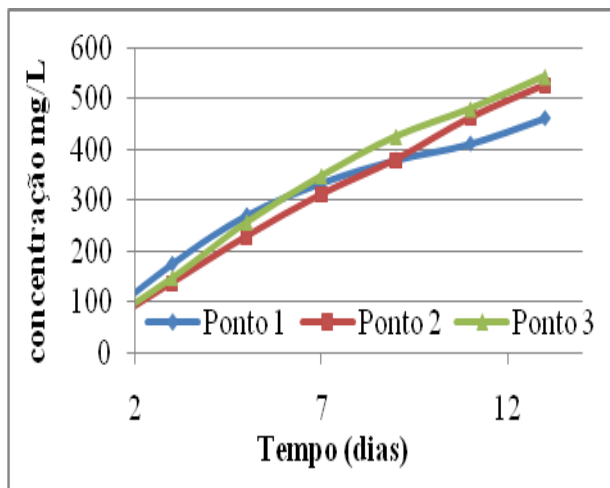
Os principais parâmetros qualitativos mensurados neste trabalho foram OD e DBO do rio. Os demais parâmetros de entrada no modelo como vazão do rio e vazão do esgoto foram adotados do trabalho de Ricciardone et al., (2010).

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As Figuras 2 e 3 apresentam os valores de OD e DBO ao longo do tempo analisados.



**Figura 2 - Curva de OD (mg/L)**



**Figura 3 - Curva de DBO (mg/L)**

Os valores experimentais de DBO foram então utilizados como dados de entrada para o método da regressão não linear com a utilização do programa Solver (Excel) para estimação do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) junto com  $L_0$ . Para a regressão foi utilizada a seguinte solução para a EDO (Equação 2).

$$Y = L_0(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2)$$

A Tabela 1 apresenta os valores de  $K_1$  obtidos.

**Tabela 1 – Coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ )**

Amostragem	$K_1$
Ponto 1	0,13
Ponto 2	0,14
Ponto 3	0,16

No presente trabalho, foram utilizados 6 conjuntos de dados para estimação dos valores de  $K_1$  e  $K_2$  em cada ponto. Os valores do coeficiente de desoxigenação  $K_1$  apresentados neste trabalho, diferem do valor empírico tabelado, na qual foi utilizado no trabalho de RICCIARDONE et al., (2011) onde simulou a capacidade de autodepuração do mesmo rio com  $K_1 = 0,30$ .

A estimação do coeficiente de reaeração ( $K_2$ ) está relacionada às variáveis hidráulicas do curso d'água. Segundo von Sperling (1998), ela podem ser encontradas diversas fórmulas empíricas na literatura relacionando  $K_2$  com a profundidade e velocidade do curso

d'água, assim como a constante  $D_0$ . Este método é o que foi usado neste trabalho.

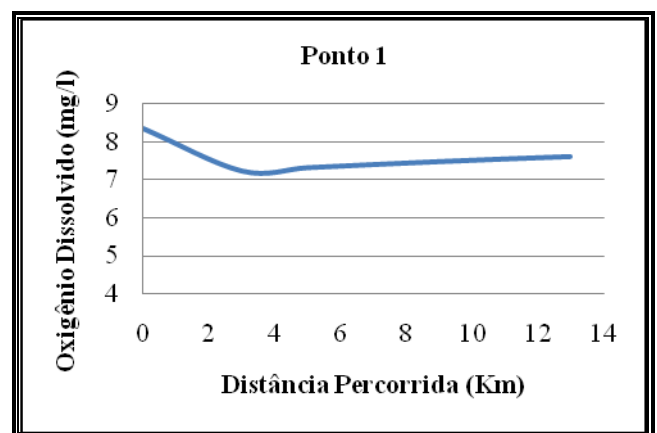
A tabela 2 apresenta os valores encontrados para  $K_2$ .

**Tabela 2 – Coeficiente de reaeração ( $K_2$ )**

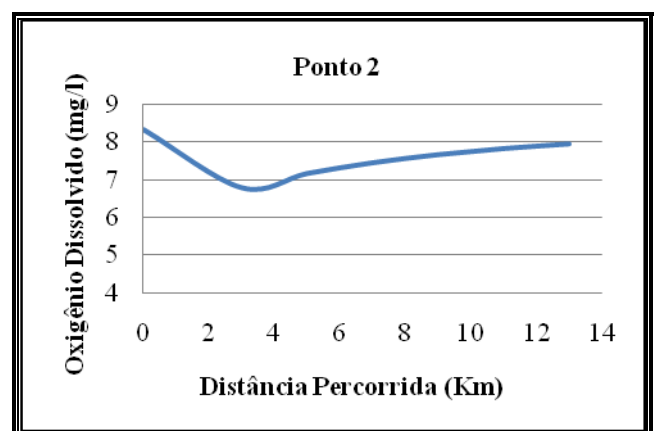
Amostragem	$K_2$
Ponto 1	52,75
Ponto 2	29,46
Ponto 3	35,31

### Simulação da Autodepuração com $K_1$ experimental

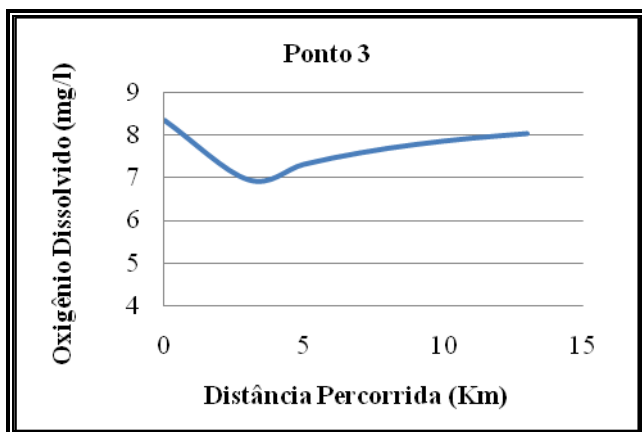
Com o objetivo de estudar o comportamento da capacidade de autodepuração do Rio das Mortes foram realizadas as simulações por meio do modelo de Streeter e Phelps. O perfil das curvas simuladas é apresentado na Figura 4, 5 e 6.



**Figura 4 – Curvas de depleção de oxigênio obtidas na simulação para o ponto 1.**



**Figura 5 – Curvas de depleção de oxigênio obtidas na simulação para o ponto 2.**



**Figura 6 – Curvas de depleção de oxigênio obtidas na simulação para o ponto 3.**

De acordo com a Figura 4, a concentração crítica de oxigênio é maior que a mínima permitida, estabelecida pela Resolução 430/2011 da CONAMA. Esses valores variam em função da classe em que o corpo d' água está classificado. O teor mínimo permissível de oxigênio dissolvido nos corpos de água doce, classificados como de classe 2, assim como o Rio das Mortes se inclui, é de 5mg/L.

Os resultados do presente trabalho foram mais satisfatórios em comparação aos resultados obtidos em RICCIARDONE et al., (2010), onde os autores utilizaram o valor tabelado de  $K_1$ .

## CONCLUSÃO

A determinação experimental do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) é de extrema importância para que o modelo seja utilizado com êxito. Com a determinação do coeficiente as simulações apresentaram uma análise mais real do processo de autodepuração do rio estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, T. V. - Índice de Qualidade da Biológico de Águas Residuárias: Introdução da Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos Volume 1, 2a Edição revisada, DESA-UFGM, Belo Horizonte, MG, 1996.
- DEZOTTI, M. (2008) Processo e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. Série Escola Piloto em Engenharia Química COPPE/UFRJ, v.5, editora e-papers. ISBN 978-85-7650-173-2.
- HESPANHOL, K. M. H. (2008). "Monitoramento e diagnóstico da qualidade da água do Ribeirão Morangueiro". Universidade Estadual de Maringá. Dissertação de Mestrado.
- NUNES, D.,G. Modelagem da autodepuração e qualidade da água do rio turvo sujo. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2008.
- RICCIARDONE, P., PEREIRA, O. S., PEREIRA, C. S. Avaliação da Capacidade de Autodepuração do Rio das Mortes no Município de Vassouras/RJ, Revista Eletrônica TECCEN, Vassouras, 2011.
- STREETER, H. W, PHELPS, E. B. - A study of the natural purification of the Ohio River.Public Health Bulletin 146, U.S. Washington: Public Health Service, 1925.
- VON Sperling, M. (2005). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM.
- VON SPERLING, M.. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 7, 2007, 588 p.