

AUTODEPURAÇÃO DO RIO PIRAPOZINHO/SP

Bruno Frias Fagá^{1} ; Márcia Aparecida da Silva Vieira²; Renata Ribeiro de Araújo³*

Resumo

A presente pesquisa propôs a análise da capacidade da autodepuração do rio Pirapozinho/SP, um corpo hídrico classe II, após o lançamento de efluente tratado por uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Esta avaliação foi baseada na modelagem matemática Streeter & Phelps (1925), aplicada segundo Von Sperling (2007). Para tanto, foram feitas coletas de campo em 6 seções na bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho (5 no rio principal e 1 no tributário), sendo que as variáveis amostradas foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, temperatura e velocidade das águas, para posterior cálculo da vazão. Deve-se destacar que, para o efluente tratado, somente as duas primeiras variáveis foram amostradas. Os primeiros resultados indicaram que o rio Pirapozinho recebe uma carga, proveniente da ETE, acima da sua capacidade suporte, visto que as curvas da modelagem, bem como as amostras nas seções de controle, mostraram que o corpo d'água não retornou às suas condições ecológicas iniciais, pois o oxigênio consumido para a estabilização da carga poluidora não foi recuperado. Também, observou-se a não conformidade dos valores das variáveis limnológicas amostradas no corpo receptor, considerado classe II, com a legislação estadual vigente (Decreto Estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977).

Palavras-chave: Autodepuração. Rio Pirapozinho. Modelagem Streeter & Phelps.

PIRAPOZINHO'S RIVER WATER SELF-DEPURATION

Abstract

This research proposes the analysis of the self-purification capacity of the river Pirapozinho / SP, a body fluid class II, after the release of treated effluent by a Sewage Treatment Plant (STP). This review was based on Streeter & Phelps (1925) mathematical modeling, applied according Von Sperling (2007). Therefore, field collections were made in 6 river sections (5 in the main river and 1 in tributary 1), and the variables were sampled dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, pH, temperature and velocity of the water, for subsequent calculation of the flow. It must be highlighted that for the treated effluent, only the first two variables were sampled. The results indicated that the river Pirapozinho receives a load from the STP above its carrying capacity, whereas the curves of modeling as well as the control sections of the samples showed that the water body has not returned to its initial ecological state because the oxygen consumption for the pollutant stabilization load was not recovered.

¹ Discente da Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Presidente Prudente (bfagant@globocom)

² Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia/Mestrado Profissional da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Presidente Prudente (marciaasilva@sabesp.com.br)

³ Docente do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Presidente Prudente (reribeiro@fct.unesp.br)

Also, there was non-compliance of the sampled values of the limnological variables in the receiving body, considered Class II, with the current state law (State Decree nº 10.755 of november 22, 1977).

Keywords: Self-depuration. Pirapozinho's River. Streeter & Phelps water quality modeling.

INTRODUÇÃO

“A autodepuração é um processo natural, no qual cargas poluidoras de origem orgânica, lançadas em um corpo d'água são neutralizadas (ANDRADE, 2010)”. Todo corpo d'água apresenta essa capacidade, contudo, por se tratar de um processo muito complexo, as características físicas, químicas e biológicas locais podem influenciá-lo de maneira bastante contundente, variando sua eficiência em diferentes corpos hídricos. De acordo com Mota (2003), alguns dos parâmetros que afetam a eficácia da autodepuração são: turbulência da água, pH, temperatura, luz solar, sedimentação, vazão e velocidade das águas.

De acordo com Braga *et al.* (2005), observando o comportamento do corpo hídrico após o lançamento de um esgoto com carga orgânica, podem ser verificadas quatro localidades distintas, chamadas de Zonas de Depuração: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas, além de uma região anterior ao lançamento de matéria orgânica, que é considerada uma área relativamente sadia do corpo hídrico, se não houver poluição anterior. Para analisar o processo autodepurativo de certos corpos d'água, alguns modelos matemáticos podem ser aplicados, de modo que se possam fazer previsões, diminuindo consideravelmente a necessidade de coletas de campo, sendo possível obter um perfil de depuração com relação ao espaço e tempo.

De acordo com Von Sperling (2007), a modelagem de Streeter & Phelps (1925), conforme equação 1, se trata de um modelo conceitualmente simples e com menor necessidade de dados de entrada.

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{k_d \cdot L_0}{k_2 - k_d} \cdot (e^{-k_d \cdot t} - e^{-k_2 \cdot t}) + (C_s - C_o) \cdot e^{-k_2 \cdot t} \right\} \quad (1)$$

Onde:

C_t : Concentração de oxigênio ao longo do tempo (mg L^{-1});

C_s : Concentração de saturação de oxigênio (mg L^{-1});

C_o : Concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg.L^{-1});

L_0 : Demanda bioquímica remanescente, no ponto de lançamento (mg L^{-1});

k_2 : Coeficiente de reoxigenação ou reaeração do rio (d^{-1});

k_d : Coeficiente de remoção de DBO efetiva do rio (d^{-1});

e : Número de Euler (-);

t : Tempo (dia).

Analisando a equação 1, pode-se perceber que é de extrema importância o entendimento das constantes k_2 e k_d , que compõe a modelagem em questão. Embora não mostrada na equação geral, k_1

(coeficiente de desoxigenação) é essencial para cálculos intermediários na modelagem em questão. Na literatura especializada (Von Sperling, 2007; Chapra, 1997), pode-se obter o valor dessas constantes tabeladas, que muitas vezes são apresentadas de maneira muito ampla. De acordo com Braga *et al.* (2005), k_1 é a constante de desoxigenação que depende do tipo de efluente que está sendo lançado no curso d'água que está sendo estudado.

Em relação ao coeficiente de remoção de DBO efetiva no rio (k_d), de acordo com Chapra (1997), a taxa de remoção de DBO no rio pode ser maior que aquela observada na garrafa de medida dessa variável, principalmente devido a sedimentação e a remoção de DBO pelo lodo de fundo, que pode conter uma apreciável quantidade de bactérias aderidas, contribuindo na decomposição da DBO, sendo que essa constante mensura tal efeito.

O coeficiente k_2 , constante de reoxigenação do corpo d'água, depende da turbulência do meio e afeta de maneira mais rigorosa a modelagem de Streeter-Phelps (1925). Muitos autores, tais como Von Sperling (2007), obtiveram valores médios de k_2 , que foram tabelados na literatura especializada, sendo que estes tendem a ser maiores, quanto mais veloz for o curso d'água, devido a maior facilidade de mistura ao longo da profundidade e à criação de maiores turbulências na superfície.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como principal objetivo realizar o estudo da autodepuração do rio Pirapozinho (SP), após a entrada de efluente tratado por uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), pela modelagem matemática de Streeter-Phelps (1925).

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS REALIZADOS

Foram realizadas amostragens de variáveis limnológicas em 5 seções do rio Pirapozinho e uma seção no rio tributário, conforme a Figura 1. As variáveis amostradas nos cursos d'água estão descritas no Quadro 1, não esquecendo que o efluente tratado lançado pela ETE também foi monitorado através do oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio.

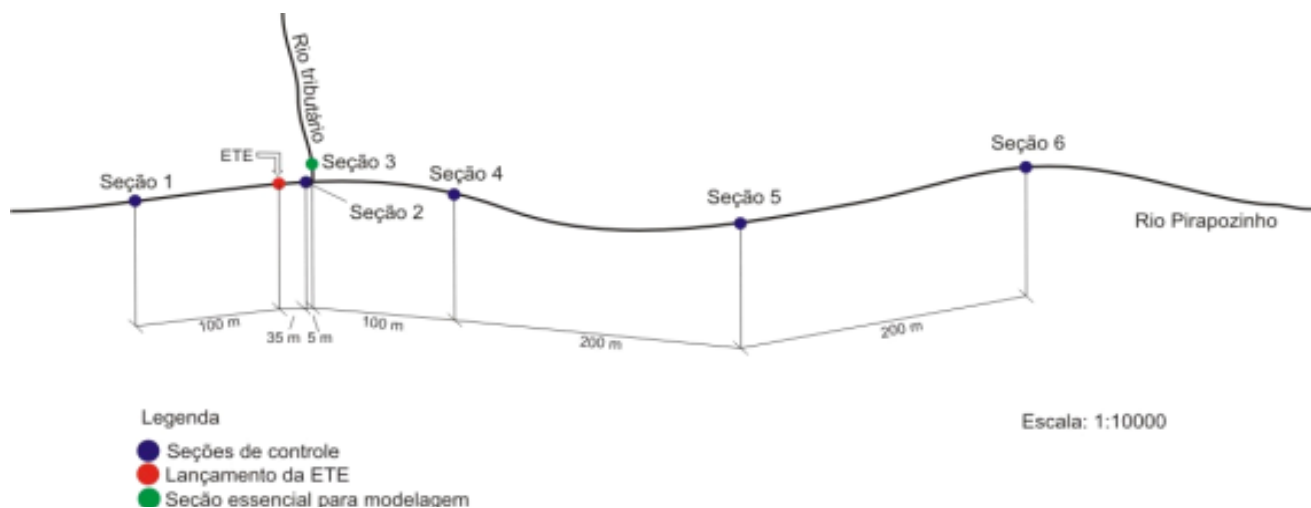


Figura 1 – Croqui da área de estudo com as seções

Quadro 1 – Variáveis amostradas no estudo e a metodologia.

Variável	Unidade	Metodologia
Temperatura	(°C)	Termômetro
DBO	(mg.L ⁻¹)	Standard of Methods (1998)
Vazão	(m ³ .s ⁻¹)	Explicado abaixo (*)
Profundidade	(m)	Régua Métrica
pH	-	Potenciômetro Digital Portátil
Oxigênio Dissolvido	(mg.L ⁻¹)	Oxímetro Digital Portátil

(*)Para o cálculo da vazão, foi inicialmente realizada a batimetria da seção do rio, onde se calculou a área da seção de acordo com a equação 2.

$$A = L * H \quad (2)$$

Em seguida, para a determinação da velocidade, mediu-se 1 metro com a trena, realizando o posicionamento de um material flutuante no ponto zero com posterior medição, com um cronômetro, do tempo gasto para que esse percorresse a distância proposta. A equação 3 descreve os procedimentos para o cálculo da velocidade. Para o cálculo da vazão, utilizou-se a equação 4.

$$V_m = l / T \quad (3)$$

$$Q = A. V_m \quad (4)$$

Onde:

A: área da seção (m²);

H: profundidade da seção (m);

L: Largura da seção (m);

V_m: velocidade da água (m/s);

T: tempo (s);

Q: vazão (m³/s)

A modelagem matemática para predição da autodepuração foi a equação de Streeter & Phelps (1925), de acordo com a metodologia proposta por Von Sperling (2007). As seções 2, 4, 5 e 6 do rio principal foram amostradas, de modo que se tornassem pontos de controle, possibilitando a verificação da veracidade dos dados obtidos pela modelagem matemática. Para a aplicação da modelagem proposta foi confeccionada uma planilha eletrônica utilizando o *software Microsoft Excel* versão 2010 do *Windows*, conforme metodologia proposta por Von Sperling (2007). Após o processamento da modelagem matemática foram plotados gráficos, utilizando o *software Origin Pro 8 do Windows*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nas tabelas 1, 2 e 3 são os resultados obtidos em campo, bem como aqueles que foram essenciais para a aplicação da modelagem de Streeter & Phelps (1925). A tabela 1 mostra os resultados obtidos nas seções de controle do curso d'água e na única a montante da ETE.

Tabela 1 - Dados coletados diretamente no campo e/ou obtidos em laboratório

Seção	Área seção (m ³)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	Vazão (m ³ /s)	Velocidade (m/s)
1	0,0468	5,01	26,8	51	0,0158	0,337
2	0,0648	2,40	28,6	303	0,0476	0,734
3	0,1120	4,44	25,8	84	0,0645	0,576
4	0,2400	3,85	27,6	196	0,226	0,943
5	0,4260	3,05	28,1	192	0,248	0,583
6	-----	2,21	28,3	186	-----	-----

A tabela 2 apresenta os dados referentes ao efluente tratado pela ETE e disposto no curso d'água.

Tabela 2 - Dados do efluente tratado pela ETE

Dados do Esgoto lançado	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	Vazão (m ³ /L)
Valores	0,19	29,4	115	45,0

As constantes utilizadas na modelagem de Streeter & Phelps estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes utilizados na modelagem Streeter & Phelps (1925)⁴

Coeficientes de calibração do modelo	Valores adotados (-)
k ₁	0,22
k ₂	0,20
k _d	1,55

A figura 2 mostra a relação entre distância e oxigênio dissolvido (OD), enquanto na figura 3 torna-se possível visualizar a DBO relacionada a distância. Todas se referem ao Rio Pirapozinho antes do encontro com seu tributário.

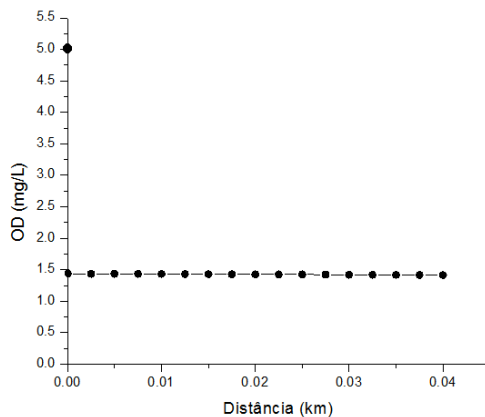


Figura 2 - OD em função da distância (Rio Principal)

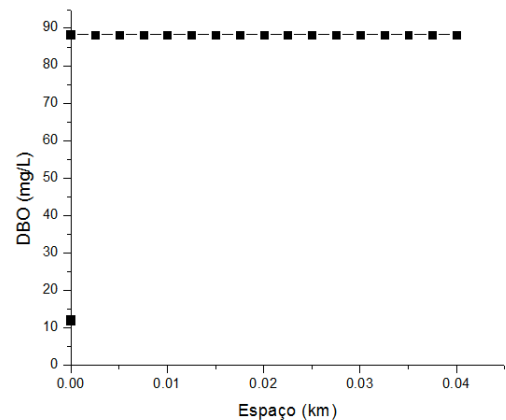


Figura 3 - DBO em função da distância (Rio Principal)

⁴ Valores utilizados Segundo Von Sperling (2007)

A figura 2 evidencia a concentração de oxigênio nas águas do corpo hídrico antes, durante e após o recebimento do efluente tratado pela ETE. Na zona de águas limpas, de acordo com Braga *et al.* (2007), pode-se observar uma localidade onde existe uma pequena carga de natureza orgânica, que consome oxigênio para a estabilização. Tal situação pode ser facilmente observada nas figuras citadas, em que o corpo d'água, antes do recebimento do efluente, apresenta elevado oxigênio dissolvido e uma baixa DBO. A tabela 1 também retrata tal situação se observados os dados referentes a seção 1.

No entanto, após a entrada da carga orgânica, proveniente da ETE, ocorre uma queda brusca do oxigênio dissolvido, como mostra a figura 2, em função da entrada do efluente tratado, com OD quase nulo, como mostra a tabela 2, devido ao próprio processo de tratamento a que foi exposto, explanado por Mota (2003). Após a entrada do efluente tratado, não se pode esquecer, observando os dados da tabela 1, referentes a seção 2, e a figura 3, que ocorre um aumento bastante significativo da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na localidade. A partir daí, a neutralização da matéria orgânica remanescente começa a ocorrer no próprio curso d'água, havendo consumo do oxigênio, conforme mostra a figura 2. No entanto essa degradação ocorre de maneira lenta, explicando a quase que a permanência da curva paralela ao eixo horizontal.

Entretanto, o cenário se modifica quando o Rio Pirapozinho se encontra com um de seus tributários, com uma qualidade de água muito superior, como pode ser observado na Tabela 1, seção 3. A figura 4 mostra uma projeção do oxigênio dissolvido em função da distância, enquanto a figura 5 mostra a relação da distância com a DBO.

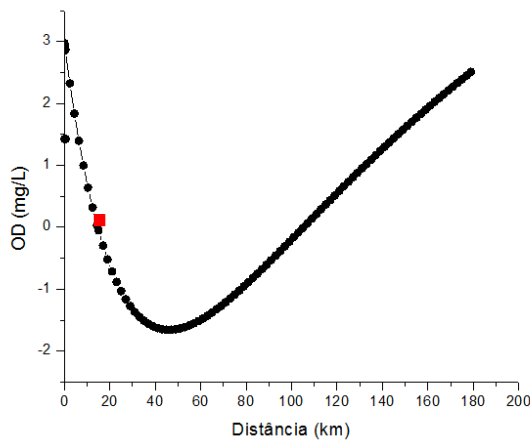


Figura 4 - OD em função da distância (tributário)

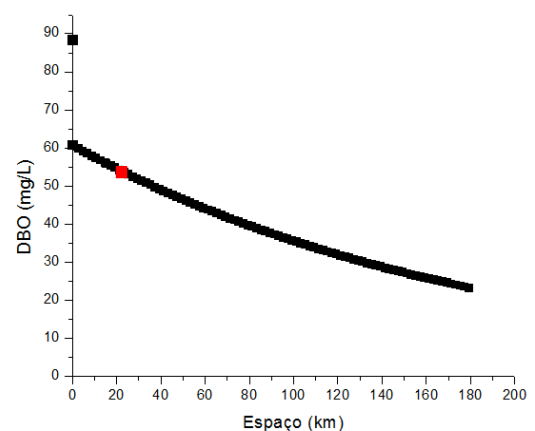


Figura 5 - DBO em função da distância (tributário)

Os resultados evidenciam que o rio Pirapozinho apresenta melhoria na qualidade da água na confluência com o tributário, já que o afluente apresenta uma qualidade de água bastante superior, o que pode ser observado pela tabela 1, dados referentes a seção 3, que se trata das características do corpo hídrico tributário, comparando-se a seção 2, que se localiza no rio principal e a seção 4. Observando a figura 4, que mostra a melhoria inicial das condições do OD no corpo hídrico, deve-se destacar o posterior consumo de oxigênio dissolvido. Isso ocorre, pois a DBO residual ainda é bastante considerável, como mostra a figura 5, e por isso a estabilização da matéria orgânica continua

ocorrendo, com o consumo de oxigênio, gerando novamente a piora da qualidade da água no curso hídrico principal, como evidencia a figura 4.

Deve-se observar que a figura 4 apresenta valores modelados de OD negativos, sendo tal situação prevista por Von Sperling (2007) e Chapra (2005). Segundo os autores, se após o cálculo ocorrer concentrações negativas de oxigênio dissolvido, tal fato, apesar de matematicamente possível, não tem significado físico. Nestas condições, atinge-se a anaerobiose ($OD = 0 \text{ mg/L}$), e o modelo de Streeter-Phelps passa a não ser mais válido. “O gráfico de perfil de OD deve parar neste ponto, não se plotando, obviamente, as concentrações negativas, nem as concentrações positivas que venham eventualmente a aparecer à jusante, como sequência da ascensão da curva negativa (VON SPERLING, 2007).”

Dessa forma, deve-se observar que as curvas descritas nas figuras 4 e 5 só estão válidas até o ponto imediatamente anterior a ocorrência da anaerobiose, nas proximidades do quilômetro 15, quando a referência é o encontro com o tributário. As marcações vermelhas observadas nas figuras citadas foram essenciais para assinalar até qual localidade a modelagem é válida. No entanto, o estudo foi realizado em um trecho limitado do curso d'água, e dessa forma, fora da área de coleta, pode haver um rio tributário que melhore a qualidade da água do curso d'água principal, evitando a anaerobiose indicada pelo modelo. De acordo com as curvas de depuração no curso d'água estudado, foi possível claramente observar a zona de águas limpas anterior ao lançamento de esgoto, zona de degradação e a zona de decomposição ativa, mas a recuperação ao estado inicial não foi evidenciada nos gráficos plotados e nem nos dados de campo, contabilizados na tabela 1.

A tabela 4 apresenta os resultados de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio mensurados em campo e os resultados preditos pela modelagem matemática.

Tabela 4 - Comparação do OD e DBO obtidos em campo e preditos

Seção	OD obtido em campo (mg/L)	OD calculado (mg/L)	DBO obtida em campo (mg/L)	DBO calculada (mg/L)
2	2,4	1,40	303	90
4	3,8	2,9	196	61
5	3,05	2,8	192	60
6	2,7	2,4	186	59

Pode-se observar que os valores de OD calculados pela modelagem não foram iguais aos observados em campo, de acordo com a tabela 4, sendo que o mesmo pode-se ser dito em relação a DBO observada e da predita. Esta diferença pode estar relacionada ao fato de que a modelagem de Streeter & Phelps (1925) é bastante simples, em que somente 2 constantes controlam a depleção de oxigênio (k_1 e k_d) e 1 a reoxigenação (k_2). Em relação a DBO apresentada, pode-se dizer que esse erro ocorreu, de acordo com a tabela 4, pois no dia anterior a coleta, foi alegada uma chuva, que pode ter trazido matéria orgânica para o rio, o que não está sendo considerado pela modelagem matemática, além de que as interferências observadas no OD afetam diretamente a DBO. Deve-se igualmente observar que, de acordo com Freire (2007), outros processos estão envolvidos nessa dinâmica, justificando o erro observado.

CONCLUSÃO

Pode-se perceber que o Rio Pirapozinho recebe uma carga de efluente tratado bastante grande para seu porte, o que faz com que sua qualidade da água seja bastante prejudicada. Antes do lançamento de efluente tratado, a qualidade da água do Rio Pirapozinho é boa, sendo que após o descarte do mesmo, esta sofre uma depleção de OD muito grande, devido ao aumento de DBO. Fica evidente, a partir daí, em função dos dados obtidos, o descréscimo de OD para a estabilização da matéria orgânica no ambiente. Além disso, percebe-se que o recebimento do seu tributário com qualidade da água muito superior, fez com que o primeiro tivesse uma melhoria nesse âmbito, no entanto, não eliminou toda a matéria orgânica presente, continuando o consumo de OD para neutralizá-la, levando novamente a degradação desse ambiente.

Deve-se igualmente citar que a modelagem matemática tem a principal função de auxiliar na observação desse processo autodepurativo, já que somente com as características do corpo hídrico à montante do lançamento da ETE e do efluente lançado é, na teoria, possível observar a curva de depuração do mesmo. No entanto, na prática, o que ocorre é que nem sempre os valores obtidos nas seções de controle do rio conferem com aquelas obtidas na modelagem matemática, pois nem sempre as constantes que a regem são suficientes para descrever o comportamento de um curso hídrico. Com a modelagem de Streeter & Phelps (1925), não é diferente já que k_1 , k_2 e k_D não são as únicas constantes que regem a depleção de oxigênio e a reaeração em um corpo hídrico. Com base nos resultados, o rio Pirapozinho não retornou às suas condições ecológicas iniciais. Pôde-se observar que o oxigênio consumido para a estabilização da carga poluidora não foi recuperado. Os resultados revelaram também que o corpo receptor encontra-se em não conformidade com a sua classificação, um corpo Classe II, de acordo com o Decreto Estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. N. **Autodepuração dos corpos d'água**. Vitória, 2010. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/45>>. Acesso em: 12 maio 2012
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2005
- CHAPRA, S. **Surface Water-Quality Modeling**. Long Grove: Waveland Press, 1997
- FREIRE, R. **Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá
- MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade de água de rios**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007