

# AVALIAÇÃO DE CARGAS DIFUSAS E SIMULAÇÃO DE AUTODEPURAÇÃO NO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA, ITIRAPINA (SP)

Rodrigo Braga MORUZZI <sup>1</sup>; Fabiano Tomazini da CONCEIÇÃO <sup>1</sup>; Diego de Souza SARDINHA <sup>2</sup>;  
Felipe Pereira HONDA <sup>1</sup>; Guillermo Rafael Beltran NAVARRO <sup>1</sup>

(1) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro, SP. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: rmoruzzi@rc.unesp.br; ftomazini@rc.unesp.br; felipephonda@gmail.com; grbnavarro@yahoo.com.br

(2) Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, ICTE/UFTM. Avenida Doutor Randolpho Borges Júnior, 1250 – Univerdecidade. CEP 38064-200. Uberaba, MG. Endereço eletrônico: diegosardinha@icte.uftm.edu.br

Introdução  
Aspectos Gerais da Bacia do Córrego da Água Branca  
Materiais e Métodos  
Cargas Difusas  
Autodepuração  
Resultados e Discussões  
Avaliação de Cargas Difusas  
Simulação de Autodepuração  
Considerações Finais  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Segundo a Resolução CONAMA nº 357, o Córrego da Água Branca é enquadrado na Classe 2 e ao longo de seu curso as características deveriam ser compatíveis com esta Classe. A avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração na bacia do Córrego da Água Branca permitiram avaliar alterações na qualidade das águas fluviais. A maior contribuição de cargas difusas na bacia do Córrego da Água Branca está relacionada ao uso agrícola. A utilização do modelo QUAL2K para simulação da concentração de oxigênio dissolvido conseguiu identificar as várias zonas de autodepuração e indicou a necessidade de remoção de DBO de 75%.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática; Bacia hidrográfica; Qualidade das águas fluviais; Gerenciamento Ambiental.

**ABSTRACT** – R.B. Moruzzi, F.T. DA Conceição, D. DE S. Sardinha, F.P. Honda, G.R.B. Navarro - Evaluation of diffuse loads and simulation of auto-purification in the Água Branca Creek, Itirapina (SP). According to CONAMA Resolution No. 357, the Água Branca Creek is framed in Class 2 and along its course the characteristics should be consistent with this class. Evaluation of diffuse loads and simulation of auto-purification in the Água Branca Creek allowed evaluating the alterations in the quality of the freshwater. The major contribution of diffuse loads in the basin of the White Water Creek is related to agriculture. The QUAL2K modeling identified the auto-purification zones at Água Branca Creek and indicated the necessity BDO removal of 75%.

**Keywords:** mathematical modeling, Watershed, Quality of freshwaters, environmental management.

## INTRODUÇÃO

A mudança provocada no sistema aquático por meio de ações antrópicas domésticas, industriais e/ou agrícolas interfere diretamente na trofia do sistema. A aglomeração urbana e áreas de lavoura extensiva ocupam desordenadamente as margens de vários rios, onde uma grande parte da mata ciliar é retirada, elevando à pressão antrópica e, conseqüentemente, provocando uma perda progressiva na qualidade da água superficial, a qual, conseqüentemente, torna-se indisponível para as necessidades humanas (Espíndola et al., 2000; Souza & Tundisi, 2003; Conceição & Bonotto, 2003, 2004; Conceição et al., 2007; Sardinha et al., 2008a; Sardinha et al., 2010; Conceição et al., 2010). A disponibilidade de água significa que ela deva

estar presente não apenas na quantidade adequada, mas também que a sua qualidade seja satisfatória para suprir as necessidades da biosfera (Rebouças, 2006).

A qualidade da água resulta da interação entre os fenômenos naturais e antrópicos. Suas características e disponibilidade, quando em estado natural, dependem principalmente do clima e das características físicas e biológicas da bacia hidrográfica. A interação contínua e constante com o meio físico forma um equilíbrio dinâmico para o ciclo hidrológico, definindo também as características hidráulicas do sistema. As atividades humanas, quando alteram os fatores de equilíbrio, influenciam na disponibilidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. O uso e ocupação do solo pode

ocasionar a degradação da qualidade hídrica. As atividades industriais, agroindustriais e urbanas, em geral, contribuem fortemente para degradação ambiental, o que poderia ser parcialmente evitado se existisse sistemas adequados de controle e monitoramento da poluição.

As cargas pontuais de nutrientes estão associadas a qualquer meio perceptível, confinado ou desviado de transporte de poluentes – especialmente de águas residuárias domésticas e industriais – para as águas superficiais. Diferente destas, as cargas difusas são aquelas resultantes das drenagens superficiais que escoam para os rios, lagos ou reservatórios, em especial a partir de áreas naturais e/ou antrópicas (Mansor et al., 2006). Nas fontes pontuais, os poluentes atingem os sistemas hídricos de forma concentrada no espaço, enquanto que nas fontes difusas, estes adentram os sistemas hídricos distribuídos ao longo de sua extensão (Von Sperling, 2007).

A poluição difusa de origem agrícola tem um forte impacto sobre o comportamento trófico dos cursos d'água, em relação à poluição difusa de origem natural, devido ao uso em grande escala de fertilizantes fosfatados, bem como de produtos de grande solubilidade que parcialmente escoam das terras agrícolas e migram rumo a calha dos rios. No lançamento pontual de esgotos em um sistema aquático, há a entrada de compostos químicos e biológicos de maneira diferente daqueles originalmente presentes nos recursos hídricos. No entanto, dependendo da quantidade de águas residuais, bem como a concentração de poluentes presentes nestas, o seu lançamento pode ser considerado lesivo ao meio ambiente.

A prevenção e controle da poluição dos recursos hídricos pressupõem o conhecimento da dinâmica de contaminação e da capacidade de recuperação do meio aquático. Nesse sentido, os modelos matemáticos de qualidade da água surgiram a partir da visão preditiva do controle ambiental, utilizado como ferramenta para avaliar os efeitos das ações antrópicas e propor alternativas para preservar os recursos hídricos (Lima, 1997). Os processos biológicos, químicos e físicos

dentro do ecossistema podem ser representados nos modelos por meio de equações matemáticas, pois representam as relações entre os fatores naturais do ecossistema e as variáveis de estado a serem modeladas (Jorgensen et al., 2005). Os modelos matemáticos são amplamente utilizados no gerenciamento da qualidade da água (Straskraba & Tundisi, 2008). No entanto, a aplicação destes modelos para o gerenciamento dos recursos hídricos é totalmente dependente dos estudos quantitativos e qualitativos da água, assim como da caracterização espacial e temporal dos resíduos lançados nos corpos hídricos. Os dados obtidos em campo são essenciais para calibração do modelo, interferindo significativamente na qualidade do resultado (Gonçalves, 2009).

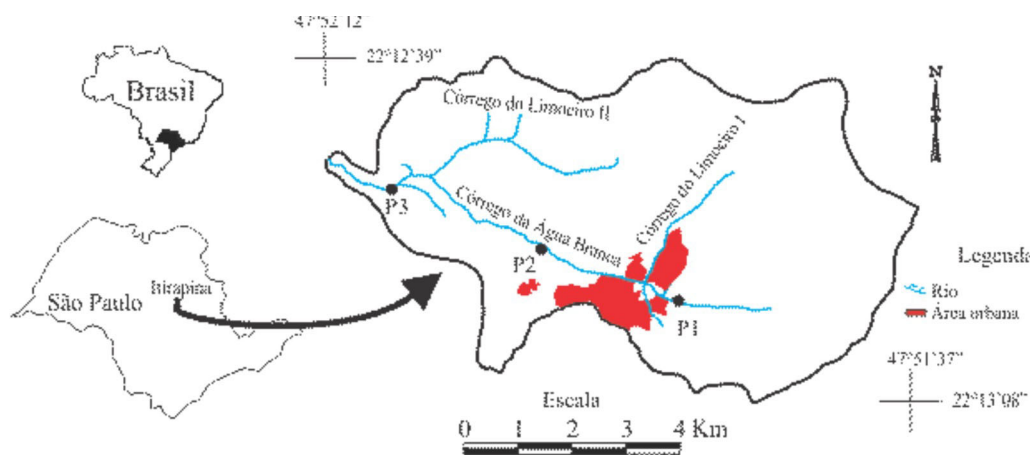
No gerenciamento da qualidade da água os modelos matemáticos podem ser utilizados para estimar os focos de poluição existente nas bacias hidrográficas, fornecer estimativas que permitam a tomada de decisões sobre diferentes opções de gerenciamento e apoiar decisões voltadas ao planejamento ambiental em curto, médio e longo prazo. Atualmente há vários estudos que avaliam a qualidade da água e utilizam diversos modelos matemáticos para a simulação de cargas difusas e autodepuração em bacias hidrográficas (Salas & Martino, 1991; Thomann & Müller, 1997; Eiger, 1997; Damato & Macuco, 2002; Jorgensen et al., 2005; Mansor et al., 2006; Sardinha et al., 2008b; Gonçalves, 2009).

A região de Itirapina (SP), objeto da investigação apresentada, possui urbanização associada a um planejamento precário, gerando impactos pontuais e difusos no rio que drena a área urbana do município, no caso o Córrego da Água Branca. Assim, este trabalho tem como objetivo a avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração do Córrego da Água Branca com base na caracterização do uso e ocupação do solo desta bacia hidrográfica. Para tal, foram utilizados os modelos MQUAL 1.5 e QUAL 2K, respectivamente, auxiliando no conhecimento deste ecossistema aquático e fornecendo subsídios para seu planejamento ambiental.

## ASPECTOS GERAIS DA BACIA DO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA

A bacia hidrográfica do Córrego da Água Branca está localizada na porção Centro-Nordeste do estado de São Paulo, no município de Itirapina (SP), entre as coordenadas: 47°52'12" e 47°51'37" de longitude Oeste e 22°12'39" e 22°13'08" de latitude Sul (Figura 1), apresentando uma área total de 39,85 km<sup>2</sup>. O Córrego da Água Branca, afluente do Ribeirão Itaqueri, tem seu baixo curso próximo à Represa Carlos Botelho

(Lobo Broa). Seus dois principais afluentes são os Córregos do Limoeiro I e o Córrego do Limoeiro II. Parte do seu médio curso drena toda a área urbana do município de Itirapina, porém suas nascentes (exceto o córrego do Limoeiro I) e alto curso estão localizados em área rural. O Córrego da Água Branca é o receptor de esgoto do município de Itirapina que possui uma população de 15.528 habitantes, com 14.004 habitantes



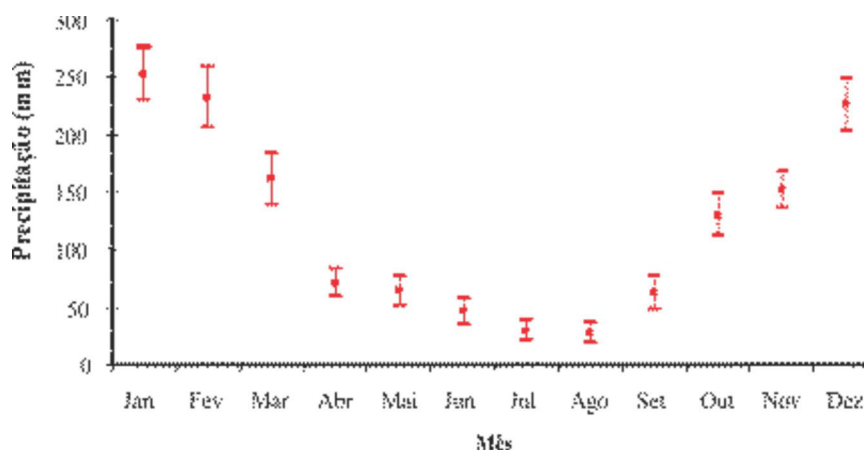
**FIGURA 1.** Localização da bacia do Córrego da Água Branca, com destaque para os locais de amostragem de água superficial e a área urbana do município de Itirapina.

na área urbana e 1.524 habitantes na área rural (IBGE, 2010). Além disso, há duas penitenciárias que abrigam 2.384 pessoas.

O clima da região da bacia do Córrego da Água Branca é do tipo Cwa, segundo o sistema de Köppen, ou seja, mesotérmico de verão úmido e de inverno seco. A precipitação média anual entre os anos de 1937 e 2004 foi de 1464 mm (DAEE, 2011). A Figura 2 ilustra a precipitação média mensal entre os anos de 1937 e 2004, com intervalo de confiança de 95% para a média mensal calculada para os 67 anos de dados históricos, no Posto Pluviométrico D4-036, denominado Graúna, localizado na bacia do Córrego da Água Branca. Não há dados pluviométricos mais recentes para este posto e, nem mesmo, para os postos vizinhos localizados nos municípios de Brotas e São Carlos. O período chuvoso estende-se de outubro a março, enquanto que o período seco de abril a setembro. Os meses mais chuvosos

são janeiro, fevereiro e dezembro, sendo as precipitações médias mensais de 252, 232 e 225 mm, respectivamente, e os meses mais secos recebem 28 (julho) e 26 (agosto) mm de chuva. A temperatura média anual é de 22,0°C, com os meses mais quentes sendo janeiro (24,0°C) e fevereiro (25,0°C). Já os meses mais frios são junho e julho, com temperatura média de 18,0°C (DAEE, 2011).

A geologia local corresponde ao Grupo São Bento, ou seja, arenitos das formações Botucatu e Pirambóia e basaltos da Formação da Serra Geral (IPT, 2006). A Formação Pirambóia apresenta arenitos com granulação média a fina, matriz silto-argilosa e estratificação cruzada planar de pequeno a médio porte (Soares & Landim, 1974). A Formação Botucatu é composta por arenitos de granulação fina a média, bom arredondamento dos grãos e estratificação cruzada planar (IPT, 2006). Já a Formação Serra Geral é formada



**FIGURA 2.** Precipitação média mensal entre os anos de 1937 a 2004, com intervalo de confiança de 95% para a média mensal, no posto pluviométrico D4-036, denominado Graúna, localizado na bacia do Córrego da Água Branca (DAEE, 2011).

por derrames basálticos e lentes de arenitos silicificados intercalados (Schneider et al., 1974). Sedimentos recentes preenchem os terrenos baixos localizados nas drenagens do Córrego da Água Branca.

O Córrego da Água Branca escoa encaixado em um extenso falhamento, que separa os sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu, e apresenta um vale marcadamente dissimétrico (Pinheiro & Cunha, 2008). Geomorfologicamente, a área da bacia do Córrego Água Branca faz parte da unidade morfoescultural denominada Planalto Centro Ocidental, onde predominam formas de relevo denudacionais, constituindo-se em colinas amplas e baixas com topos convexos, aplanados ou tabulares (Ross & Moroz, 1997). Latossolos vermelhos, Latossolos vermelho-amarelos, Neossolos quartzarênicos e Gleissolos são os principais grupos de solos encontrados na bacia do Córrego da Água Branca.

A vegetação na bacia do Córrego da Água Branca caracteriza-se pelas matas mesófilas, de formação caracteristicamente descontínua, que ocorre em condições variadas de clima e solo, tendo caráter semi-caducifólio, em decorrência de invernos frios e verões quentes e úmidos. Trata-se de florestas estratificadas, com grande número de espécies caducifólias, destacando-se as espécies vegetais de peroba-rosa, cedro, jequitibás, jatobás, ipê-roxo e ipê-amarelo, jacarandá-paulista, angicos e canela. Nas áreas mais bem drenadas próximas à calha do Córrego da Água Branca, predominavam as matas ciliares, restritas a uma estreita faixa descontínua às margens do curso deste córrego. A economia do município é voltada para as atividades rurais, tais como avícola, pecuária e agrária, as quais podem ser destacadas as granjas, gado de corte, cana-de-açúcar, laranja, pinos e eucaliptos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### CARGAS DIFUSAS

Medidas indiretas de cargas difusas de fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos em suspensão e coliformes totais podem ser obtidas através de cálculos que se baseiam nas cargas obtidas com coeficientes de exportação (*CE*). Os coeficientes de exportação são obtidos através de observações sob condições hidrológicas médias em bacia hidrográfica, no ciclo anual, o quanto uma determinada área com atividade exportará de fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos em suspensão e coliformes totais para os rios, lagos e represas desta bacia hidrográfica (SVMA e IIEGA, 2009). Dillon & Kirchner (1975) foram os primeiros autores a relacionar os coeficientes de exportação com a geologia do terreno e o uso e ocupação do solo. Posteriormente, vários outros trabalhos em diversas regiões do mundo com diferentes usos e ocupação do solo foram realizados para a determinação do coeficiente de exportação, porém, o uso destes coeficientes de exportação deve ser feitos com cautela e não podem ser aplicados em escala global (Ryding & Rast, 1989).

Assim, a simulação de cargas difusas de fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos em suspensão e coliformes totais, através de coeficientes de exportação relacionados ao uso e ocupação do solo, é uma ferramenta útil para avaliar de maneira geral as condições aproximadas de carga anual por fontes difusas. Para esta determinação na bacia do Córrego da Água Branca, utilizou-se o Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo e Qualidade de Água (MQUAL 1.5), sendo ele desenvol-

vido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e adotado como instrumento técnico da Lei Estadual nº 12.233/2006, a qual se refere à Bacia do Guarapiranga (São Paulo, 2003). A Tabela 1 apresenta os diferentes coeficientes de exportação determinados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (São Paulo, 2003) e utilizados pelo Modelo MQUAL 1.5 para cada uma das categorias de uso e ocupação do solo, ou seja, atividade agrícola, reflorestamento/mata/capoeirão, capoeira/campo, pastagem e área urbana.

O Modelo MQUAL 1.5 associa o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas com a qualidade dos rios e reservatórios no estado de São Paulo, proporcionando subsídios para a análise de qualidade de água e, conseqüentemente, fornecendo importantes informações para a gestão do uso e ocupação em bacias hidrográficas (SVMA e IIEGA, 2009). Este modelo é constituído de três módulos inter-relacionados: (1) módulo de geração de cargas, (2) módulo de simulação dos principais tributários e (3) módulo de simulação do reservatório. Cada um dos módulos representa os fenômenos de geração e autodepuração das cargas poluidoras em três ambientes considerados, ou seja, a superfícies do terreno, onde estão às fontes de cargas poluidoras, os rios principais e seus afluentes e, por fim, o reservatório. Neste trabalho foi utilizado apenas o primeiro módulo, o qual indica a carga difusa diária através dos coeficientes de exportação apresentados na Tabela 1 e da área total de cada classe proposta de uso e ocupação de solo na bacia do Córrego da Água Branca (Equação 1).

$$CD = A.CE \quad (1)$$

**TABELA 1.** Coeficientes de exportação (CE) para fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais dissolvidos e coliformes totais [kg/(km<sup>2</sup>.dia)] para cada tipo de área de uso e ocupação de solo para o Modelo MQUAL 1.5 (SMA, 2003).

Uso e Ocupação do Solo	Fósforo Total	Nitrogênio Total	DBO	Sólidos em Suspensão	Coliformes Totais
Atividade Agrícola	0,346	2,95	7,32	230	1x10 <sup>11</sup>
Reflorestamento	0,039	0,60	1,20	20	1x10 <sup>8</sup>
Pastagem	0,050	0,90	2,25	40	1x10 <sup>9</sup>
Mata/Capoeirão/Mata galeria	0,039	0,60	1,20	20	1x10 <sup>8</sup>
Capoeira/Campo	0,028	0,50	1,06	30	1x10 <sup>8</sup>
Solo Exposto	0,034	1,27	5,54	50	1x10 <sup>9</sup>
Áreas Urbanas	0,034	1,27	5,54	50	1x10 <sup>9</sup>

onde:

$CD$  = carga difusa (kg/dia);

$A$  = área total de cada classe proposta de uso e ocupação do solo (km<sup>2</sup>);

$CE$  = coeficiente de exportação [(kg/(km<sup>2</sup>.dia))].

Para a caracterização da área relativa ao uso e ocupação do solo na bacia do Córrego da Água Branca, primeiramente, houve a elaboração de um inventário baseado em pesquisas bibliográficas e pesquisas em arquivos de órgãos ambientais, técnicos e científicos (ANA, IBGE, DAEE, UNESP). Após esta etapa, foi elaborado o mapa de uso e ocupação do solo desta bacia, utilizando-se a imagem de Satélite ALOS, com resolução de 10 m e o Software Arcview/Arcgis 9.3, com as extensões Spatial Analyst e ArcHydro Tools 9.0. As áreas das classes temáticas foram divididas de acordo com o modelo MQUAL 1.5, ou seja: atividade agrícola; reflorestamento/mata/capoeirão; capoeira/campo; pastagem e área urbana. Após a realização deste mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado o trabalho de campo para reconhecimento e confirmação das classes propostas, com a tomada de coordenadas geográficas por meio de equipamento GPS (Global Positioning System).

## AUTODEPURAÇÃO

Para a simulação da autodepuração no Córrego da Água Branca utilizou-se o Modelo QUAL2K, versão 2.04, distribuído pela USEPA - United States Environmental Protection Agency (Chapra et al., 2006). O modelo simula a qualidade da água em escoamento unidirecional considerando mecanismos de transporte e degradação. O primeiro modelo clássico da variação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no tempo foi descrito por Streeter & Phelps em 1925, sendo este um parâmetro de fácil medição e que reflete o efeito da poluição em corpos de água, uma vez que é consumido na medida em que a matéria orgânica se decompõe. Este modelo foi desenvolvido para o Rio Ohio

(EUA) e ainda serve de base para a maioria dos modelos avançados disponíveis atualmente para a modelagem de oxigênio dissolvido, sendo o mais utilizado o Modelo QUAL2K (Braga et al., 2002; von Sperling, 2007). A Equação 2 descreve o déficit de oxigênio dissolvido em função do tempo.

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

onde:

$D$  = déficit de oxigênio dissolvido (mg/L);

$t$  = tempo (dia);

$K_1$  = coeficiente de desoxigenação (dia<sup>-1</sup>);

$L$  = concentração de DBO remanescente no rio (mg/L);

$K_2$  = coeficiente de reaeração (dia<sup>-1</sup>).

A solução analítica da Equação 2 é:

$$C(t) = C_s - \left[ \frac{K_1.L_0}{K_2 - K_1} \cdot (e^{-K_1.t} - e^{-K_2.t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-K_2.t} \right] \quad (3)$$

com:

$$C_0 = \frac{Q_r.OD_r + Q_e.OD_e}{Q_r + Q_e} \quad (4)$$

$$L_0 = \left( \frac{Q_r.DBO_r + Q_e.DBO_e}{Q_r + Q_e} \right) \cdot \frac{1}{1 - e^{-5.K_1}} \quad (5)$$

onde:

$C$  = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);

$C_s$  = concentração de saturação do oxigênio dissolvido (mg/L);

$C_0$  = concentração inicial de oxigênio logo após a mistura (mg/L);

$L_0$  = demanda última de oxigênio logo após a mistura (mg/L);

$Q_r$  = vazão do Córrego da Água Branca (m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$  = vazão dos efluentes domésticos (m<sup>3</sup>/s);

$ODr$  = concentração de oxigênio dissolvido no Córrego da Água Branca (mg/L);

$ODe$  = concentração de oxigênio dissolvido nos efluentes domésticos (mg/L);

$DBOr$  = concentração de  $DBO_5$  no Córrego da Água Branca (mg/L);

$DBOe$  = concentração de  $DBO_5$  no efluente doméstico (mg/L).

A fim de aplicar este modelo, foi necessário dividir o Córrego da Água Branca em seções com características hidráulicas semelhantes, definidos pela profundidade, declividade e área da seção transversal. As seções foram então divididas em elementos de igual comprimento, conceituados como reatores de mistura completa em série. Assim, neste trabalho adotaram-se três trechos em função da localização das fontes poluidoras e dos pontos de monitoramento, sendo eles assim divididos: trecho 1 = 1,7 km - da nascente ao ponto P1; trecho 2 = 2,9 km - do ponto P1 ao ponto P2 e trecho 3 = 3,3 km - do ponto P2 ao ponto P3 (Figura 1). O modelo exige ainda: características geográficas (longitude e latitude, fuso horário, declividade e altitude), parâmetros meteorológicos (temperatura e velocidade do vento) e elementos morfológicos (largura, profundidade e área da seção do canal).

Considerou-se a população atual de 14.004 habitantes na área urbana da cidade de Itirapina e a vazão de esgoto doméstico bruto gerado na zona urbana de 2.100 m<sup>3</sup>/dia. A Divisão de Água e Esgoto (DAE) do município de Itirapina, afirma que o município possui uma estação de tratamento de esgoto que trata aproximadamente 70% do esgoto produzido neste município, ou seja, 1.470 m<sup>3</sup>/dia. Porém, esta estação

opera por mais de 25 anos e muito acima de seu limite de funcionamento, o que já acarretou muitas para o município devido sua baixa eficiência (Honda, 2009). Além disso, não há tratamento dos efluentes gerados nas penitenciárias, as quais são responsáveis pela geração de 358 m<sup>3</sup> de esgoto bruto por dia.

Para a realização de estudo, amostras de águas superficiais nos pontos P1, P2 e P3 foram coletadas em outubro de 2009, sendo essa data estipulada a partir da análise de precipitação média mensal, abrangendo a fase intermediária entre o período chuvoso e o período seco (Figura 2). A medição de oxigênio dissolvido (OD - mg/L) foi realizada *in situ* através da sonda multiparâmetros com erro de leitura menor que 2%, modelo Manta, Marca Eureka, sendo ela realizada em três diferentes pontos ao longo do canal, levando-se em conta a velocidade da água e a profundidade de cada ponto de amostragem. A vazão de superfície em todos os pontos de amostragem foi medida utilizando-se uma trena, um objeto flutuador e um cronômetro, sendo as variáveis colocadas posteriormente na Equação 6:

$$Q = \frac{A.D.C}{T} \quad (6)$$

onde:

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$A$  = área da seção transversal do rio (m<sup>2</sup>);

$D$  = distância usada para medir a velocidade do rio (m);

$C$  = coeficiente de correção de velocidade (0,8 para rios com fundo rochoso e 0,9 para rios com fundo lodoso);

$T$  = tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para atravessar a distância  $D$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### AValiação DE CARGAS DIFUSAS

O mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego da Água Branca está ilustrado na Figura 3. De acordo com a Tabela 2, do total de 39,85 km<sup>2</sup>, as atividades de uso e ocupação do solo na bacia do Córrego da Água Branca com maiores áreas são em ordem decrescente: reflorestamento (9,28 km<sup>2</sup>); atividade agrícola (7,08 km<sup>2</sup>); mata/capoeirão/mata galeria (6,86 km<sup>2</sup>) e solo exposto (6,46 km<sup>2</sup>). As atividades como pastagem (4,76 km<sup>2</sup>), capoeira/campo (3,01 km<sup>2</sup>) e áreas urbanas (2,08 km<sup>2</sup>) são as que possuem as menores áreas, sendo que a rede de drenagem (0,32 km<sup>2</sup>) ocupa a menor porcentagem de área na bacia do Córrego Água Branca (Tabela 2).

Para a simulação de cargas difusas (Tabela 3), utilizaram-se as áreas das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Córrego da Água Branca e os

coeficientes de exportação para o fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos em suspensão e coliformes totais apresentados na Tabela 1. O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (ATP) e a estruturação da membrana plasmática (fosfolipídeos). O nitrogênio é encontrado em águas como resultado da oxidação de compostos nitrogenados. Os maiores aumentos na concentração de  $DBO$  num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A concentração de sólidos em suspensão nos ecossistemas aquáticos lóticos está fortemente relacionada a todas as impurezas encontradas no curso da água. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogê-

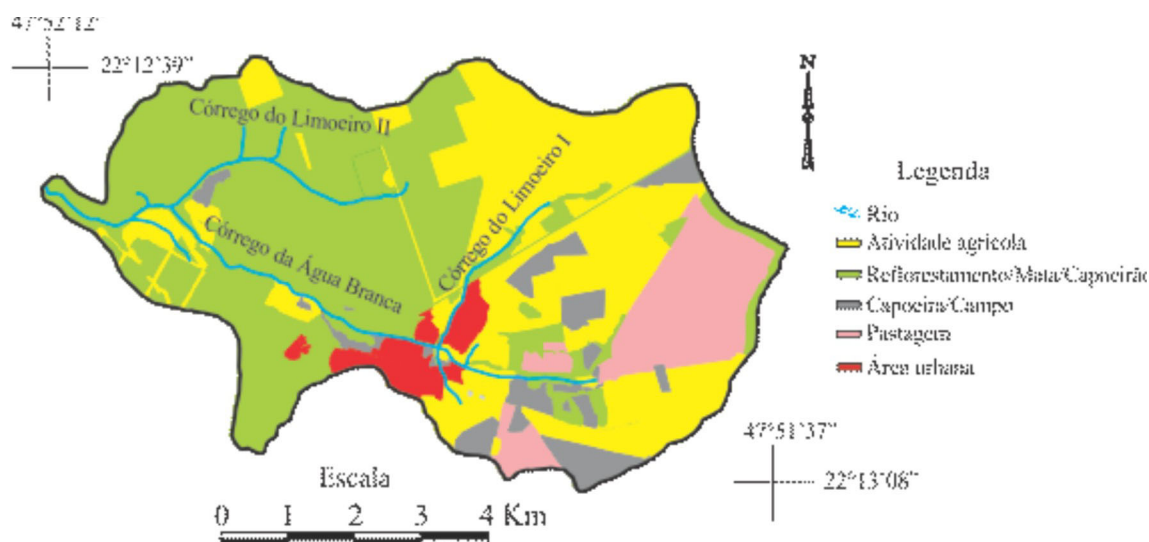


FIGURA 3. Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do Córrego da Água Branca.

TABELA 2. Áreas e porcentagens das classes do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Água Branca.

Uso da Terra	km <sup>2</sup>	%
Rede de Drenagem	0,32	0,79
Atividade Agrícola	7,08	17,75
Reflorestamento	9,28	23,30
Pastagem	4,76	11,95
Mata/Capoeirão/Mata galeria	6,86	17,23
Capoeira/Campo	3,01	7,56
Solo Exposto	6,46	16,21
Áreas Urbanas	2,07	5,21
<b>Total</b>	<b>39,85</b>	<b>100,00</b>

TABELA 3. Simulação de cargas difusas (kg/dia) geradas na bacia do Córrego da Água Branca.

Uso da Terra	Fósforo Total	Nitrogênio Total	DBO	Sólidos em Suspensão	Coliformes Totais
Rede de Drenagem	-	-	-	-	-
Atividade Agrícola	2,45	20,87	51,80	1.627,48	0,71x10 <sup>12</sup>
Reflorestamento	0,36	5,57	11,14	185,72	0,92x10 <sup>9</sup>
Pastagem	0,24	4,28	10,71	190,44	4,76x10 <sup>9</sup>
Mata/Capoeirão/Mata galeria	0,27	4,12	8,24	137,30	0,68x10 <sup>9</sup>
Capoeira/Campo	0,08	1,51	3,19	90,33	0,30x10 <sup>9</sup>
Solo Exposto	0,22	8,21	35,80	323,10	6,46x10 <sup>9</sup>
Áreas Urbanas	0,07	2,64	11,51	103,90	2,07x10 <sup>9</sup>
<b>Total</b>	<b>3,69</b>	<b>47,20</b>	<b>132,39</b>	<b>2.658,27</b>	<b>0,72x10<sup>12</sup></b>

nicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Os resultados são apresentados na Tabela 3 indicam que na bacia do Córrego da Água Branca há o aporte diário de 3,69 kg de fósforo total, 47,20 kg de nitrogênio total, 132,39 kg de DBO, 2.658,27 kg de sólidos em suspensão e  $0,72 \times 10^{12}$  kg de coliformes totais devido ao uso e ocupação do solo atual desta bacia hidrográfica. A maior contribuição de cargas difusas na bacia do Córrego da Água Branca está relacionada às atividades agrícolas, que apesar de não possuir a maior área dentro da bacia do Córrego da Água Branca (7,08 km<sup>2</sup>), exibem as maiores cargas de fósforo total, nitrogênio total, DBO, sólidos em suspensão e coliformes totais, ou seja, 2,45, 20,87, 51,80, 1.627,48 e  $0,71 \times 10^{12}$  kg/dia, respectivamente. A maneira de cultivo agrícola, sem adoção de práticas de conservação do solo e o uso de insumos agrícolas podem acarretar perdas na qualidade da água. A retirada da vegetação e a movimentação do solo para o cultivo agrícola, aliado a irrigação e uso de fertilizantes fosfatados (NPK), corretivos do solo (calcários e fosfogesso) e pesticidas podem acentuar os processos erosivos e carrear elementos nocivos ao ambiente aquático, respectivamente.

De acordo com o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977), o Córrego da Água Branca está enquadrado como Classe 2, a qual é definida segundo a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), como águas doces destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; a proteção das comunidades aquáticas; a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274 de 2000 (Brasil, 2000); a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; a aquicultura e a atividade de pesca.

A bacia do Córrego da Água Branca não possui dados históricos de vazão. Porém, a vazão deste córrego pode ser determinada pela metodologia de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo, desenvolvida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), consistindo de um modelo paramétrico que permite a avaliação da disponibilidade hídrica em qualquer curso d'água do território paulista (DAEE, 2012). Utilizando-se a precipitação média entre os anos de 1937 e 2004 de 1464 mm e a área da bacia de 39,85 km<sup>2</sup>, obtêm-se uma vazão média diária para o Córrego da Água Branca de 0,38 m<sup>3</sup>/s, ou seja,  $1,19 \times 10^{10}$  L por ano. Os limites máximos exigidos pela Resolução CONAMA nº 357 para rios da Classe 2 é de 0,10 mg/L, 2,18 mg/L, 5 mg/L e 500 mg/L para

fósforo total, nitrogênio total, DBO e sólidos em suspensão, respectivamente. Multiplicando-se a descarga líquida pelos limites máximos exigidos para a Classe II, podem ser obtidos valores de descargas anuais iguais a 1,20, 26,1, 59,9 e 599,2 toneladas para fósforo total, nitrogênio total, DBO e sólidos em suspensão, respectivamente.

Utilizando-se as cargas difusas diárias avaliadas pelo Modelo MQUAL 1.5, pode-se obter a descarga anual de 1,35, 17,23, 48,32 e 970,3 toneladas para o fósforo total, nitrogênio total, DBO e sólidos em suspensão, respectivamente, transportada pelo Córrego da Água Branca. Com isso, somente o resultado obtido para o fósforo total sugere que o Córrego da Água Branca não se enquadra na Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357. O Córrego da Água Branca é o principal contribuinte para a Represa Carlos Botelho (Lobo Broa), através do Rio Itaqueri. Com isso, os altos valores de fósforo total derivados das cargas difusas, principalmente em áreas agrícolas, devem ser considerados como fatores desencadeadores do processo de eutrofização deste reservatório, fato já demonstrado por Tundisi et al. (2003), provocando o crescimento exagerado dos organismos aquáticos autotróficos, podendo causar dificuldade na navegação de barcos e consumo de grande quantidade de oxigênio. Além disso, alguns tipos de algas são tóxicas e também podem provocar sabor e mau cheiro na água de abastecimento.

Os resultados aqui apresentados são estimativas de cargas difusas anuais que permitiram avaliar as condições do Córrego da Água Branca, confirmando o proposto por Tundisi et al. (2003), ou seja, que o Córrego da Água Branca deve ser estudado devido a sua potencialidade de promover eutrofização da Represa Carlos Botelho (Lobo Broa). Assim, medidas de cargas realizadas diretamente no próprio Córrego da Água Branca por determinações químicas, levando em conta os diferentes períodos de ano e, conseqüentemente, variações nas vazões, deveriam ser frequentemente feitas para que possa ser obtida uma melhor acuracidade no cálculo das cargas totais (cargas difusas + cargas pontuais) transportadas pelo Córrego da Água Branca para este importante reservatório localizado no interior paulista, fornecendo importantes subsídios ao seu gerenciamento ambiental.

#### **SIMULAÇÃO DE AUTODEPURAÇÃO**

Na Tabela 4 constam os valores utilizados para a simulação de autodepuração do Córrego da Água Branca. Os pontos monitorados foram utilizados para a calibração do modelo por meio do ajuste dos coeficientes de desoxigenação  $K_1$  e reoxigenação  $K_2$ . O coeficiente de explicação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,99 com erro



**TABELA 4.** Valores utilizados para a modelagem de autodepuração no Córrego da Água Branca.

Trecho	Altitude (m)	Declividade (%)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Largura (m)	Profundidade (m)	OD <sup>1</sup> (mg/L)	OD <sup>2</sup> (mg/L)
Nascente até P1	790-764	1,5	0,06	1,00	0,15	6,60±0,13	6,60±0,13
P1 até P2	764-748	0,6	0,12	1,66	0,30	4,85±0,10	4,50±0,10
P2 até P3	748-734	0,4	0,18	2,30	0,38	2,83±0,05	2,86±0,05

<sup>1</sup>Oxigênio dissolvido medido    <sup>2</sup>Oxigênio dissolvido calculado pelo Modelo Qual2K

máximo de 2,4%, calculado a partir da relação entre o resíduo e o valor medido. Para esta simulação de autodepuração utilizaram-se os coeficientes de desoxigenação  $K_1 = 0,45 \text{ dia}^{-1}$  e reatificação  $K_2 = 1,45 \text{ dia}^{-1}$ , obtidos a partir do ajuste do modelo QUAL2K para os dados quantificados em campo. Para o ajuste do modelo foram consideradas as restrições dentro das faixas reportados na literatura (von Sperling, 2007). A concentração de saturação do oxigênio dissolvido  $C_s$  foi considerada como 8,0 mg/L, pois a bacia do Córrego da Água Branca localiza-se a aproximadamente 770 m de altitude e possui temperatura média anual de 22°C. A vazão ( $Q_r$ ) é de 0,18 m<sup>3</sup>/s, sendo que deste valor, a vazão dos efluentes ( $Q_e$ ) corresponde a 0,01 m<sup>3</sup>/s. A concentração de oxigênio dissolvido no efluente doméstico  $OD_e$  é de 0,0 mg/L e no Córrego da Água Branca antes da mistura ( $OD_r$ ) corresponde a 6,6 mg/L. Assim, utilizando esses dados para o cálculo da concentração de oxigênio dissolvido logo após a mistura do efluente doméstico com o Córrego é possível obter um valor de  $OD_0 = 5,24 \text{ mg/L}$ . A demanda última de oxigênio logo após a mistura corresponde a  $L_0 = 30,30 \text{ mg/L}$  e foi calculada utilizando os dados de concentração de  $DBO_r = 4,0 \text{ mg/L}$  no Córrego e  $DBO_e = 260 \text{ mg/L}$  no efluente doméstico.

Com isso, foi possível a realização de predições e da determinação de diferentes zonas de autodepuração que envolve o Córrego da Água Branca, ou seja, a zona de águas limpas, de degradação, de decomposição ativa e de recuperação, conforme definições de von Sperling (2007). O Córrego, a montante da cidade de Itirapina, onde se localiza o ponto P1, está inserido na zona de águas limpas e seu ecossistema encontra-se em estado de equilíbrio e com elevada qualidade da água. A região da nascente localiza-se em uma das poucas áreas de vegetação arbórea (floresta estacional semidecídua) à arbustiva (cerrado) da bacia hidrográfica do Córrego da Água Branca e conta com a presença de animais silvestres. Conforme suas águas escoam no sentido da área urbana da cidade, observa-se uma transição de vegetação nativa para rasteira e sem a presença de animais silvestres, devido à introdução de pastos e cana-de-açúcar, proporcionando um aumento da erosão laminar nesta área, fato confirmado

pela presença de muita areia em seu leito.

Parte dos efluentes da cidade de Itirapina é lançado *in natura* ao longo do Córrego da Água Branca, alterando a qualidade de água, começando aí à zona de degradação, onde o equilíbrio do ecossistema aquático é afetado pela alta concentração de matéria orgânica lançada pontualmente. Outra fonte de poluição neste trecho é a atividade agrícola, que através do uso de fertilizantes fosfatados, corretivos agrícolas e vinhaça em plantações de cana-de-açúcar e queimadas, ocasiona a liberação de grandes quantidades de macro-nutrientes para as águas do Córrego da Água Branca. Ao fim da área urbana de Itirapina, onde não há preservação da mata ciliar, notou-se a degradação total do Córrego, pois este se encontrava com odor muito forte (devido à produção de gás sulfídrico gerado pelo lodo de fundo) e aspecto turvo (devido aos sólidos presentes nos esgotos), com alto índice de larvas de insetos, além da presença de óleos e espumas, sem contar que o local ainda é utilizado para o descarte de animais mortos e depósito de lixo.

Após essa fase inicial de perturbação, o Córrego da Água Branca entra na zona de decomposição ativa, com concentração de oxigênio dissolvido de 2,86 mg/L no ponto P3, região onde a qualidade da água apresenta-se em seu estado mais deteriorado, devido à grande atividade microbiana responsável pela decomposição da matéria orgânica. Nesta região, observou-se que as águas ainda possuem forte odor e coloração cinza forte, com grande quantidade de matéria em suspensão, óleos, espumas e larvas de insetos e, aos poucos, há uma maior preservação da mata ciliar. O Córrego entraria na zona de recuperação a aproximadamente 15 km após o lançamento dos efluentes. Porém, isso não acontece, pois sua foz ainda se encontra na zona de decomposição ativa. Na zona de recuperação, deveria haver o desenvolvimento de algas e a matéria orgânica também se encontraria quase que totalmente estabilizada, elevando os valores da concentração de oxigênio dissolvido, devido à fotossíntese e reaeração atmosférica, em relação à zona anterior.

Em muitos casos, a distância necessária para a autodepuração é maior que a distância física do rio, como é o caso do Córrego da Água Branca, que neces-

sitaria de, pelo menos, mais 45 km após sua foz para que suas águas voltassem a possuir uma concentração de oxigênio dissolvido acima de 5 mg/L, valor recomendado pela Resolução CONAMA nº 357 para a Classe de seu Enquadramento (Classe 2). Para que possua sempre valores de oxigênio dissolvido acima de 5 mg/L, torna-se necessário que seja realizado algum

tipo de tratamento de efluente antes de seu lançamento no rio. Com isso, a modelagem utilizando o QUAL2K permitiu verificar a cidade de Itirapina, nas condições atuais, ainda precisa de uma remoção de BDO de no mínimo de 75%, o que possibilitaria que a concentração de oxigênio dissolvido nunca estivesse abaixo de 5 mg/L (Figura 4).

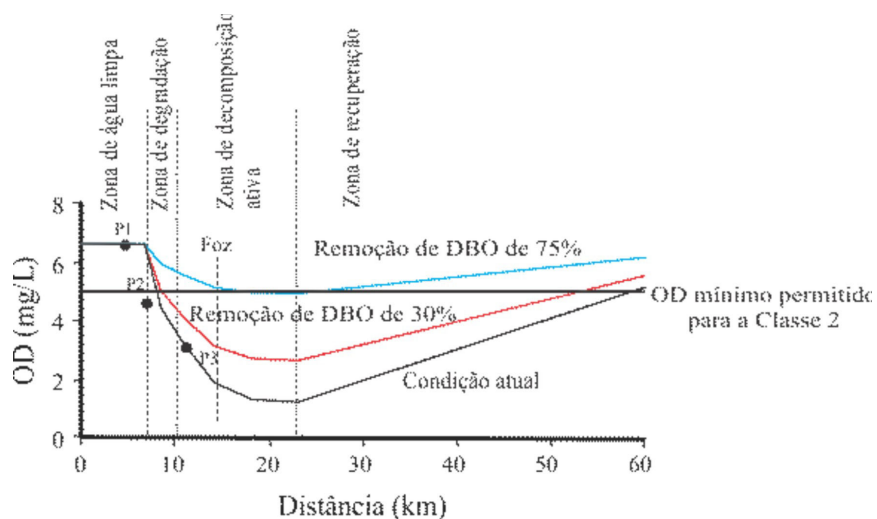


FIGURA 4. Modelagem de autodepuração para o Córrego da Água Branca, com diferentes cenários de remoção de BDO para a cidade de Itirapina.

Para suprir esse problema, a Prefeitura Municipal de Itirapina recebeu recursos do Programa “Água Limpa”, que implanta sistemas de tratamento de esgotos domésticos por lagoas de decantação em municípios com até 30 mil habitantes, que não são atendidos pela SABESP, para ser construída uma segunda ETE. A nova ETE terá vida útil de 20 anos e capacidade para tratar 80 L/s de esgoto, com três lagoas de tratamento, sendo uma anaeróbica, uma facultativa e outra de maturação. Também será construída uma unidade de desinfecção, uma de desarenação, além do sistema de gradeação e a estação elevatória de esgoto. Porém,

em junho de 2009, noticiários expuseram a situação da Prefeitura de Itirapina, que havia recebido há cinco anos a verba do governo estadual para construir a nova estação, mas ainda não havia finalizado as obras. O problema ressaltado pelo secretário municipal de saneamento básico foi a necessidade de implantar uma manda de asfalto nas lagoas, que elevou o custo do projeto de R\$ 1,6 milhões para R\$ 2,8 milhões. Desta forma o recurso foi solicitado a Secretaria Estadual de Saúde, a qual aprovou a requisição do investimento, e a construção da nova ETE deverá estar concluída ainda no ano de 2012.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação conduzida na bacia do Córrego da Água Branca, no município de Itirapina (SP), versou a avaliação da carga difusa e de simulações de autodepuração, a qual foi calibrada a partir de medições *in loco*. É enquadrado na Classe 2 e, portanto, ao longo de seu curso as características deveriam ser compatíveis com a Classe de seu Enquadramento. Porém, os resultados simulados indicaram que o valor de oxigênio dissolvido médio nesta classe não foi atingido em toda sua extensão. Ademais, a avaliação de fósforo total gerada por poluição difusa também indicou

o não enquadramento na Classe 2. Até a entrada da área urbana de Itirapina o Córrego permanece com suas águas limpas (de acordo com a classificação de autodepuração), pois a montante deste município há pouca interferência na sua qualidade. A jusante passa a receber cargas difusas, principalmente por atividades agrícolas, e pontuais, devido ao lançamento de esgoto, parte tratado e parte *in natura*. O modelo QUAL2K foi utilizado para simulação da concentração de oxigênio dissolvido em função da extensão do rio, após calibração utilizando medidas de oxigênio dissolvido no Córrego

da Água Branca ( $R^2$  de 0,99, com erro relativo de no máximo 2,4%, calculado a partir da relação entre o resíduo e o valor medido). As simulações permitiram identificar as várias zonas de autodepuração e avaliar

a necessidade de remoção de DBO 75% para que suas águas permaneçam sempre com a concentração de oxigênio dissolvido acima de 5 mg/L, valor recomendado para seu Enquadramento (Classe 2).

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Internacional de Ecologia (IIE) pela colaboração na coleta dos dados de campo, ou seja, vazão, largura, profundidade e oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem no Córrego da Água Branca. Além disso, os autores também gostariam de agradecer aos revisores anônimos pelos comentários e sugestões que permitiram uma melhora significativa deste manuscrito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAGA B.; HESPANHOL I.; CONEJO J.G.L.; BARROS M.T.L.; SPENCER M.; PORTO M.; NUCCI N.; JULIANO N.; EIGER S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo, Prentice Hall, 305 p., 2002.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 274**, 1994.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357**, 2005.
4. CHAPRA, S.C.; PELLETIER, G.; TAO, H. A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: **Documentation and Users Manual**. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 101 p., 2006.
5. CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rates and fertilizer-derived uranium at São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, v. 44, n. 4, p. 408-418, 2003.
6. CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 4, p. 575-591, 2004.
7. CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; BONOTTO, D.M. Hydrochemical relationships at Meio Stream Watershed, Leme, São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 390-401, 2007.
8. CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; NAVARRO, G.R.B. Anthropogenic influences on the annual flux of cations and anions at Meio Stream basin, São Paulo State, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 205, p. 79-91, 2010.
9. DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Regionalização hidrológica do Estado de São Paulo**. Disponível em <http://www.dae.sp.gov.br>. Acessado em: 29abr2012.
10. DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Banco de dados Pluviométricos e Pluviográficos do Estado de São Paulo**. Disponível em <http://www.dae.sp.gov.br>. Acessado em: 2jan2011.
11. DAMATO, M. & MACUCO, P. Avaliação de impactos ambientais decorrentes do aporte de cargas pontuais e difusas e estimativa de fluxos gerados. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun, México. **Atas...** Cancun, 2002, p. 1-7.
12. DILLON, P.J. & KIRCHNER, W.B. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watershed. **Water Research**, v. 9, p. 135-148, 1975.
13. EIGER, S. Modelagem do transporte de poluentes no meio ambiente. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, 1997, São Paulo. **Atas...** São Paulo: EDUSP, 1997, p. 27-37.
14. ESPÍNDOLA, E.L.G. **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**. São Carlos: Rima, 188 p., 2000.
15. GONÇALVES, J.C.S.I. **Desenvolvimento de modelo numérico para a simulação da qualidade da água em rios utilizando o software Vensim PLE®**. São Carlos, 2009. 203 p. Dissertação (de Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
16. HONDA, F.P. **Análise das cargas difusas, pontuais e simulação do modelo QUAL2K para avaliação da qualidade da água do Córrego da Água Branca, Itirapina-SP**. Rio Claro, 2009. 70 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista.
17. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 20nov2010.
18. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê Jacaré – CBH – TJ. **Relatório 40.674**. São Paulo: FEHIDRO / IPT, 331 p., 2006.
19. JORGENSEN S.E.; LOFLER H.; RAST W.; STRASDRABA M. **Lake and Reservoir Management**. London: Elsevier, 25 p., 2005.
20. LIMA, C.A.A. **Simulação da qualidade da água no rio Jacaré Guaçu através do modelo QUAL2E**. São Carlos, 1997. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
21. MANSOR, M.T.C.; FILHO, J.T.; ROSTON, D.M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 715-723, 2006.
22. O'CONNOR, D.J. & DOBBINS, W.E. Mechanism of reaeration in natural streams. **Journal Sanitary Engineering Division**, v. 123, p. 641-666, 1958.
23. PINHEIRO, L.S. & CUNHA, C.M.L. Utilização do fator topográfico (LS) da EUPS para predição de processos erosivos. In: SIMPÓSIO, 1, 2008, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: UNESP, 2008, p. 1182-1192.
24. REBOUÇAS A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs.),

- Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3º ed. São Paulo: Editora Escrituras, 748 p., 2006.
25. ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** Volumes 1 e 2. Escala 1:500.000. São Paulo, 1997.
  26. RYDING, S.O. & RAST, W. **The control of eutrophication of lakes and reservoirs.** New Jersey: The Parthnon Publishing Company, 314 p., 1989.
  27. SALAS, H.J. & MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, v. 25, p. 341-350, 1991.
  28. SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Versão 1.5 do Modelo de Correlação Uso do Solo/Qualidade de Água - MQUAL.** São Paulo: CETESB, 2003.
  29. SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decreto nº 10.755.** São Paulo: CETESB, 1977.
  30. SARDINHA, D.S.; BONOTTO, D.M.; CONCEIÇÃO, F.T. Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. **Environmental Earth Sciences**, v. 61, p. 1025-1036, 2010.
  31. SARDINHA D.S.; CONCEIÇÃO F.T.; BONOTTO D.M.; SALLES M.H.D.; ANGELUCCI V.A. Avaliação de balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 4, p. 730-740, 2008.
  32. SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G.; SILVEIRA, A.; DE JULIO M.; GONÇALVES, J.C.S.I. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2008.
  33. SCHNEIDER, R.F.; MUHLMANN, H.E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.
  34. SMA – SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Versão 1.5 do Modelo de Correlação Uso do Solo/Qualidade de Água- MQUAL.** São Paulo, 2003.
  35. SOARES, P.C. & LANDIM, P.M.B. Aspectos da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 243-256.
  36. SOUZA, A.D.G. & TUNDISI, J.G. Water quality in watershed of the Jaboatão River (Pernambuco, Brazil): a case study. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 711-721, 2003.
  37. STRASKRABA, M. & TUNDISI, J.G. Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento da qualidade da água em represas. 2ª ed. São Carlos: Cubo Multimídia, 300 p., 2008.
  38. SVMA – SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO / IIEGA – INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA E GERENCIAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de bacias hidrográficas.** São Carlos: Cubo Multimídia, 134 p., 2009.
  39. THOMANN, R.V. & MÜELLER, J.A. **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control.** New York: Haper & Row, Publishers, 644 p., 1997.
  40. TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRIGUES, S.L. **Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) - Municípios de Itirapina e de Brotas.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 72 p., 2003.
  41. VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 588 p., 2007.

*Manuscrito Recebido em: 3 de fevereiro de 2012  
Revisado e Aceito em: 23 de maio de 2012*