



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

MODELAGEM DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DBO₅ NA BACIA DO RIO COXIPÓ, REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL, UTILIZANDO O MODELO QUAL2K

Alexandra Natalina de Oliveira Silvino¹; Alexandre Silveira²; Édina Cristina Rodrigues
Freitas Alves³; Neli Assunção Silva⁴; Aldecy de Almeida Santos⁵; Cláudio Antonio A. Lima⁶

RESUMO

A bacia do Rio Coxipó está inserida na Bacia do Rio Cuiabá, que pertence a Região Hidrográfica do Paraguai, importante afluente do pantanal mato-grossense. A bacia está localizada na área de dois municípios, Cuiabá e Chapada dos Guimarães, onde seus recursos hídricos são utilizados para a recreação, uso industrial e abastecimento público. Por representar um importante manancial para a região esse trabalho se propôs avaliar a qualidade da água no Rio Coxipó em termos de DBO e Oxigênio Dissolvido, assim como calibrar o modelo Qual2K, de forma a contribuir para a gestão dos recursos hídricos na bacia. O modelo Qual2K foi calibrado para as variáveis Oxigênio Dissolvido e DBO, a partir dos quais foi possível simular cenários, onde foi verificado que o crescimento populacional pode contribuir para a deterioração da qualidade da água caso nenhuma medida seja tomada.

Palavras chave: Qual2K, Simulação, Modelagem da qualidade da água

MODELING OF DISSOLVED OXYGEN AND BOD₅ OF RIVER BASIN COXIPÓ – MT, USING QUAL2K MODEL

ABSTRACT

The river basin Coxipó is embedded in the basin of Paraguay, in the sub basin of the high Cuiabá, a major tributary of the Pantanal of Mato Grosso. The basin is in the area of two municipalities, Cuiabá and Chapada dos Guimarães, where water resources are used for recreation, industrial use and public supply. It represents an important source for the region, such work is proposed to evaluate the quality of water in the river Coxipó, and calibrate the model Qual2K in order to contribute to the management of water resources. The model was calibrated to Qual2K the variables dissolved oxygen and BOD, from which it was possible to simulate some scenarios, which found that as well as population growth can contribute to the deterioration of water quality if no measure is taken.

Key words: Qual2K, simulation, water quality modeling.

¹ Eng. Sanitarista, Mestra em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso, analista de meio ambiente da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, SEMA/MT. Endereço: Av. A, Qdra 20, nº 407, bairro Jd Fortaleza, CEP 78093-480, Cuiabá-MT, e-mail: lekaesa@gmail.com

² Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor da Universidade Federal de Alfnas

³ Bióloga, Mestra em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso

⁴ Eng. Sanitarista, Mestre em Física e Meio Ambiente

⁵ Eng. Sanitarista, Mestre em Física e Meio Ambiente, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

⁶ Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor da Universidade Federal de Alfnas

1. INTRODUÇÃO

O recurso natural água tem sido objeto de debates internacionais sobre usos, conflitos e gestão das águas há vários anos, fato decorrente da percepção do aumento da escassez do bem para o consumo humano, seja pelo aumento da demanda de água, devido ao crescimento desordenado e ao crescimento econômico, ou pela crescente deterioração da qualidade desse recurso finito, causada pela poluição indiscriminada.

No Estado de Mato Grosso, região centro oeste brasileira, os impactos produzidos pela rápida evolução do agronegócio, crescimento da população, ampliação das atividades industriais e de prestação de serviços, promoveram uma série de pressões relacionadas aos seus recursos hídricos, requerendo assim ações conjuntas do Estado e da sociedade, no uso sustentável dos recursos hídricos e seu gerenciamento.

Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, entre 1996 a 2007, momento em que foi desenvolvida a presente pesquisa, aumentou sua população em 96.618 habitantes, ocasionando assim, o aumento da demanda pelo uso de água, principalmente para abastecimento público e industrial. A deterioração da qualidade da água do Rio Coxipó, corpo d'água que drena a área urbana, também cresceu, pois

o rio, assim como seus afluentes, é usado para diluição dos efluentes domésticos e industriais.

Por essas razões é importante avaliar a sua qualidade e quantidade frente ao processo de gerenciamento de recursos hídricos, que vem sendo implantado no Estado de Mato Grosso, através da Lei Estadual nº. 6.945/97.

Conforme a Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 2007), a Política Nacional dos Recursos Hídricos- PNRH estabelece seis instrumentos para gestão dos recursos hídricos: os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes; a outorga dos direitos de usos dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; a compensação a municípios; o sistema de informação sobre recursos hídricos.

Neste trabalho, foi realizada a calibração do modelo Qual2K e monitoramento para as variáveis Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para a bacia do Rio Coxipó, no período de abril a dezembro de 2007. A partir do modelo calibrado foi possível simular os reflexos de melhorias em saneamento e aumentos populacionais na qualidade da água. O resultado obtido é uma ferramenta que pode auxiliar no processo de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do Rio Coxipó.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Coxipó está inserida na Bacia do Rio Cuiabá, que pertence à Região Hidrográfica do Paraguai, localizada no estado de Mato Grosso, na região Centro Oeste do Brasil. Situada

entre as coordenadas 15°39'30" e 15°16'56" S e 56°02'03" e 55°45'00" W, conforme apresentado na Figura 1, abrange parte dos municípios de Chapada dos Guimarães e Cuiabá, com uma área de drenagem de aproximadamente 678,1 km².

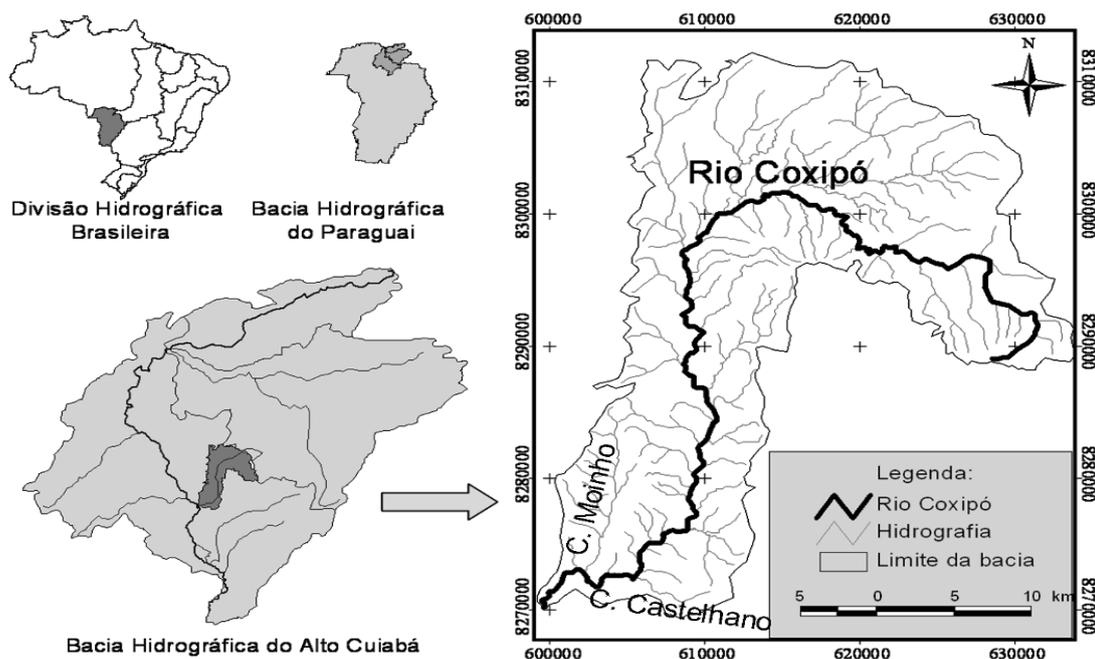


Figura 1: Localização da bacia do Rio Coxipó

A bacia do Rio Coxipó possui áreas para preservação do meio ambiente conforme apresentado na Figura 2b. Além dessas áreas de preservação, há uso agropecuário em médias e grandes propriedades com predomínio de pastagens, uso agropecuário em pequenas propriedades, usos urbanos (Figura 2a). Na bacia existem ainda, desmatamentos,

ocupações irregulares, loteamentos, atividades de mineração, dragas, indústria, entre outros.

Santos (2008) salienta que o aterro sanitário de Cuiabá se encontra localizado no divisor de três sub-bacias: Córrego Doutor, Córrego Três Barras e Ribeirão do Lipa, em que os dois primeiros córregos pertencem à bacia do Rio Coxipó.

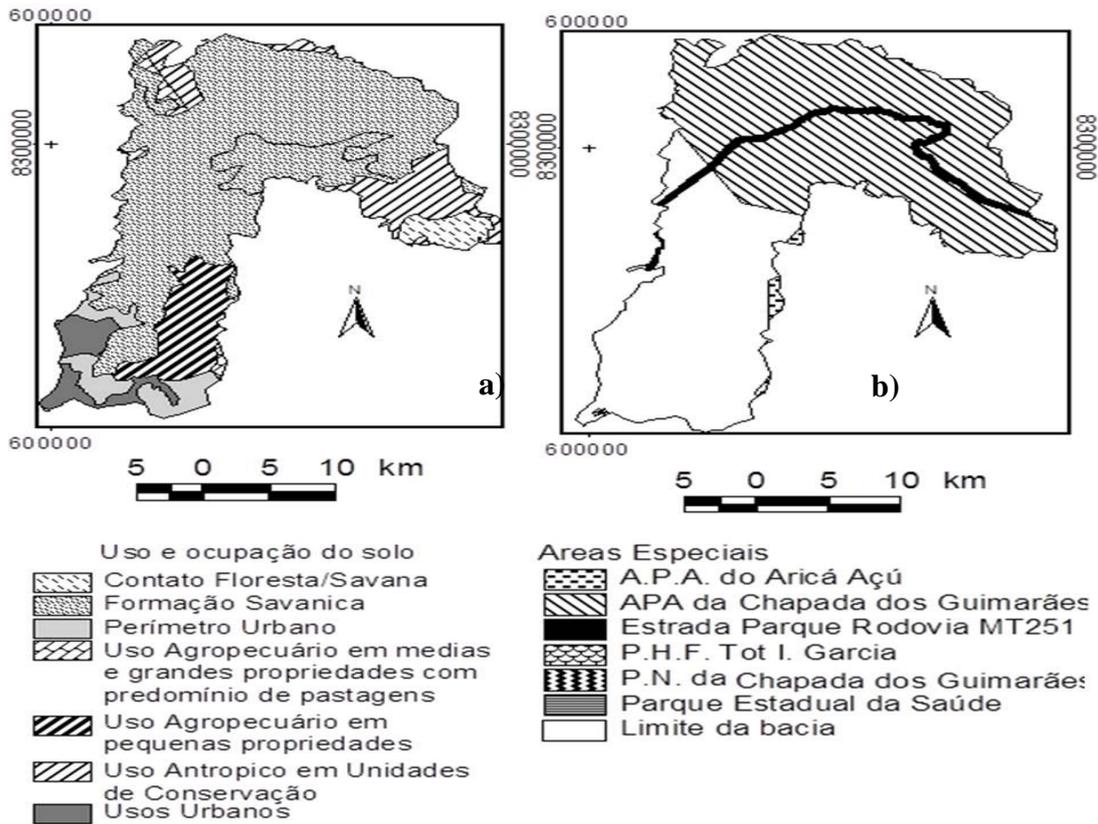


Figura 2: Distribuição espacial dos diversos usos do solo (a) e das áreas de preservação na bacia do Rio Coxipó (b). Base de dados: a) SEPLAN (2000); b) SEMA (2005)

A bacia do Rio Coxipó possui aproximadamente 36% da população do município de Cuiabá, e tem sido utilizado para a diluição dos efluentes gerados em suas sub-bacias, entre os quais efluentes domésticos e industriais, que podem ser responsáveis pelo processo de degradação da qualidade da água, que ocorre principalmente pelo lançamento de despejos domésticos.

Na Figura 3 é apresentado um mapa da localização espacial dos bairros

atendidos pelo sistema de tratamento de esgotos. De acordo com Cuiabá (2007a), o município possuía em 29% do esgoto coletado tratado, representando um índice muito baixo.

A bacia do Rio Coxipó também é usada para recreação, onde se pode destacar o Complexo da Salgadeira, Vêu de Noivas, balneário Doutor Meireles, Coxipó do Ouro entre outros.

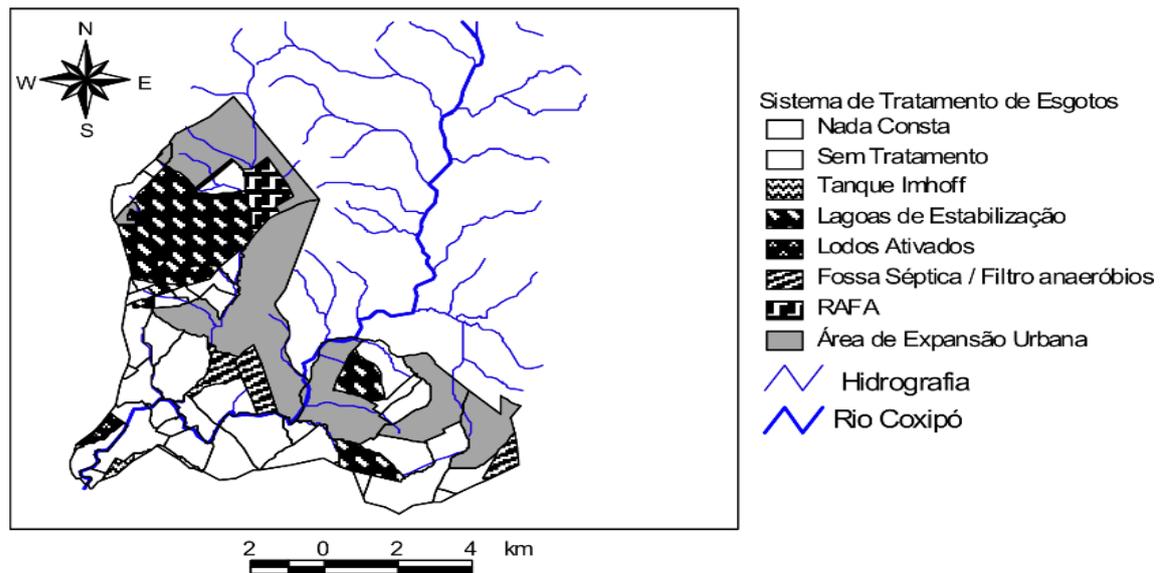


Figura 3: Localidades atendidas pelo sistema de tratamento de esgotos – Ano 2005

Fonte: Informações adaptadas de Cuiabá (2007b)

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi feita a delimitação da bacia do Rio Coxipó e determinados os pontos mais representativos para a obtenção de dados de qualidade da água na bacia, dentro e fora do perímetro urbano, assim como os pontos em dois importantes tributários, o córrego do Moinho e o córrego Castelhana.

Paralelamente à determinação dos pontos de coleta, foi escolhido o modelo de qualidade de água, QUAL2K, onde a calibração do modelo foi realizada a partir dos ajustes de K_r (coeficiente de remoção global de DBO) e de K_2 (Coeficiente de reaeração), através do método dos mínimos quadrados. Com o modelo calibrado foram feitas as simulações de cenários, decorrentes de possíveis intervenções em

saneamento e de possível crescimento populacional.

Definição e discretização do trecho a ser modelado

O trecho a ser modelado foi escolhido por estar em parte localizado dentro do perímetro urbano do município de Cuiabá, estando assim sujeito às ações antrópicas que podem contribuir para a deterioração dos recursos hídricos.

O Rio Coxipó foi dividido em 10 trechos considerando as características hidráulicas do escoamento, conforme é apresentado na Figura 4(a).

A Figura 4 (b) apresenta o diagrama unifilar do Rio Coxipó com os respectivos pontos de coleta de amostras, captação de água e lançamento de efluentes.

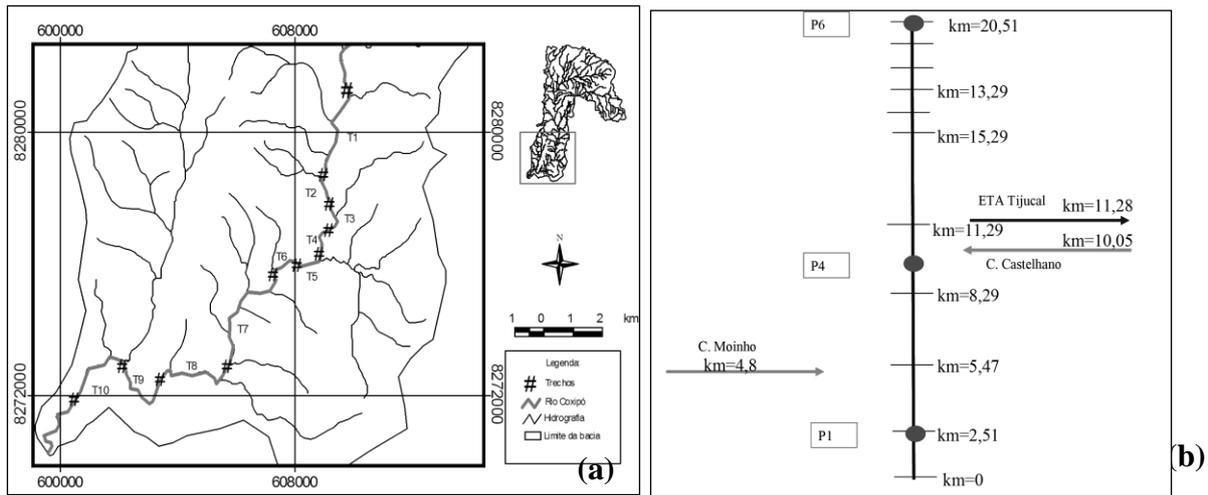


Figura 4: Distribuição dos trechos no Rio Coxipó (a) e Diagrama Unifilar do Rio Coxipó (b).

Obtenção dos dados hidráulicos e de qualidade da água

Para a escolha do trecho a ser modelado foi levado em consideração a necessidade de se ter conhecimento de um ponto que houvesse pouca pressão antrópica (P6), e outros pontos que

tivessem maior pressão antrópica (P1 e P4), assim como facilidade de acesso. A representação da distribuição espacial desses pontos na bacia do Rio Coxipó é apresentada na Figura 5.

A Tabela 1 apresenta as principais características dos pontos de monitoramento na bacia do Rio Coxipó.

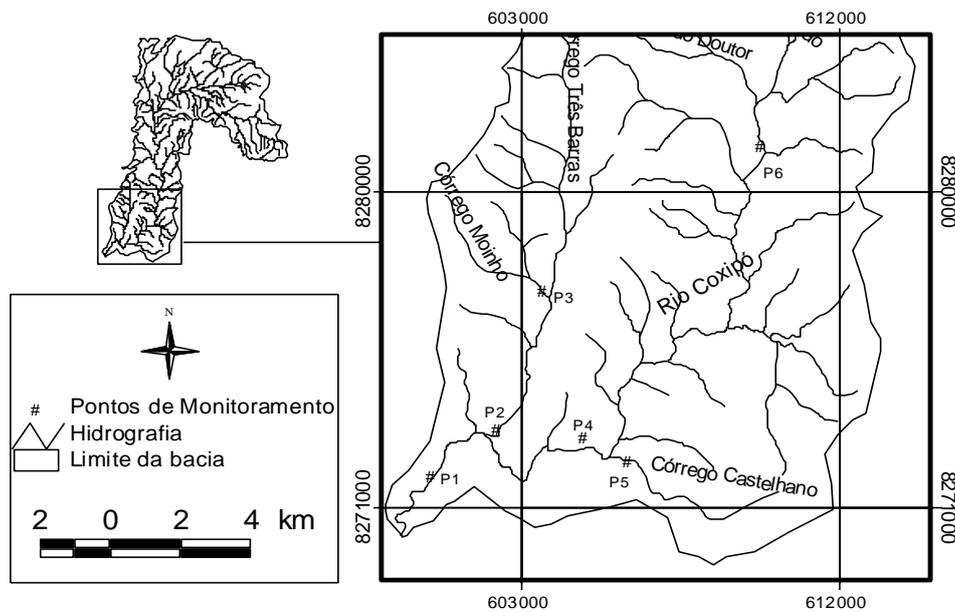


Figura 5: Distribuição espacial das estações de monitoramento

Tabela 1: Descrição dos pontos de coleta

Pontos	Descrição da localização
P1	Está a 2,51 km da foz do Rio Coxipó, dentro do perímetro urbano, o que permite conhecer o resultado das ações dadas à bacia, assim como a qualidade da água que está sendo lançada no Rio Cuiabá. Coordenadas UTM: Latitude 600524,6m e Longitude 8271880,5m.
P2	Está dentro da bacia do córrego do Moinho, a 600 metros do exutório da bacia, permitindo conhecer as características quali-quantitativa da água lançada no Rio Coxipó. Coordenadas UTM: Latitude 602377,0m e Longitude 8273249,0m.
P3	Encontra-se a 5,3 km da foz do córrego do Moinho, localizado em um bairro densamente povoado e a jusante de uma estação de tratamento de esgoto, cujo tratamento é por lagoas de estabilização. Coordenadas UTM: Latitude 603657,0m e Longitude 8277189,0m.
P4	Está dentro do perímetro urbano, a 9,3 km da foz do Rio Coxipó, representando um ponto intermediário entre P6 e P1, entre a foz do córrego do Moinho e Castelhana. Encontra-se à jusante de uma estação de tratamento de água e montante de uma draga, próximo de uma pequena criação de suínos. Coordenadas UTM: Latitude 604819,0m e Longitude 8272999,0m.
P5	Córrego Castelhana, localizado à jusante de uma estação de tratamento de esgotos, cujo processo é por lagoas de estabilização, a aproximadamente 660 metros da foz do Rio Coxipó. Coordenadas UTM: Latitude 606086,3m e Longitude 8272322,4m.
P6	Está a 22,5 km da foz do Rio Coxipó considerado como o ponto de menor influência da zona urbana, por estar localizado à montante de todo o lançamento proveniente dos despejos domésticos e industriais. Coordenadas UTM: Latitude 609838,0m e Longitude 8281309,0m.

Obtenção dos Dados Qualitativos e Qualitativos

Para avaliar o comportamento hidráulico e dos parâmetros de qualidade da água no Rio Coxipó e nos córregos do Moinho e Castelhana, realizaram-se nove expedições mensais de campo, sendo quatro coletas no período chuvoso e cinco no período de estiagem.

A coleta de amostras para determinação dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, assim como determinação da vazão das águas do Rio Coxipó e córrego do Moinho ocorreram entre abril e dezembro de 2007. Os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros químicos, físicos e bacteriológicos foram baseados nas recomendações do *Standard Methods for*

the Examinations of Water and Wastewater WWA-WPCF (1995). Sendo que para determinação de Oxigênio Dissolvido foi utilizado o método de Winkler, por modificação de ázida sódica, enquanto para DBO foi utilizado o método de Winkler-Ázida.

Dos métodos existentes para a medição da vazão, foi escolhido o método convencional de medição com molinete hidrométrico, para o Rio Coxipó e o método do flutuador para os córregos.

Calibração do modelo QUAL2K

Antes de proceder à calibração foi feita uma análise de sensibilidade de forma a verificar quais parâmetros que mais influenciariam nos resultados finais das simulações de oxigênio dissolvido. Foram

testados os coeficientes: demanda de oxigênio pelo sedimento, coeficiente de desoxigenação (K_1), coeficiente de reaeração (K_2), dispersão longitudinal (EL), onde foi observado que somente K_1 e K_2 influenciavam nos valores de oxigênio dissolvido.

Devido à pequena influência dos demais parâmetros cinéticos da equação do modelo de oxigênio dissolvido, e pelos

mesmos não terem sido coletados em campo, optou-se por realizar as calibrações a partir do coeficiente remoção global no rio – K_r , sendo este maior que o coeficiente de desoxigenação – K_1 , englobando os demais coeficientes.

A seguir é apresentada a Equação do modelo para DBO (Eq. 1), a equação do oxigênio dissolvido do modelo QUAL2K (Eq. 2) e a Equação do modelo de OD modificada (Eq. 3).

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L + \frac{K_4}{D} + \alpha_4\rho_2A$$

(Equação 1)

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{D}$$

(Equação 2)

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) - K_rL$$

(Equação 3)

Em que:

O_s = concentração de saturação de oxigênio dissolvido em condições locais de temperatura e pressão (mg/L);

O = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);

L = demanda bioquímica de oxigênio;

N_2 = concentração de nitrito, (mg N/L).

N_1 = concentração de nitrogênio amoniacal (mg N/L);

A = biomassa algal (mg/L);

D = profundidade média da água (m);

K_1 = taxa de desoxigenação carbonácea (1/dia);

K_2 = coeficiente de reaeração (1/dia);

K_3 = taxa de sedimentação (1/dia);

K_4 = fonte de DBO pelos organismos bentônicos ($g/m^2 \cdot dia^{-1}$);

K_5 = taxa de demanda de oxigênio do sedimento ($g/m^2 \cdot dia^{-1}$);

K_r = coeficiente de remoção global de DBO (1/dia);

μ = taxa de crescimento específico de algas (1/dia);

ρ = taxa de respiração algal (1/dia);

ρ_2 = taxa de morte algal (1/dia);

β_1 = coeficiente de oxidação de amônia (1/dia);

β_2 = coeficiente de oxidação de nitrito (1/dia);

β_3 = taxa específica de desnitrificação (1/dia);

α_1 = fração de nitrogênio na alga (mg-N / mg-A);

α_2 = produção de nitrogênio por unidade de alga;

α_3 = produção de oxigênio por crescimento de algas (mg O) / (mg A);

α_4 = taxa de consumo de oxigênio por respiração por unidade de algas (mg O / mg A);

α_5 = taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrogênio amoniacal, NH₃ (mg O)/(mgN);

α_6 = taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrito, NO₂⁻² (mg O) / (mg N);

λ_1 = consumo de oxigênio para a respiração de plantas fixas (g O₂/m² dia);

λ_2 = produção de oxigênio pela fotossíntese das plantas fixas (gO₂/m² dia);

Coefficiente de descarga

No Qual2K, a hidráulica pode ser modelada de duas maneiras: i) com base nos coeficientes de descarga, originados em medições hidráulicas realizadas no próprio rio; ii) com base no coeficiente de Manning para a seção trapezoidal.

Barnwellet al. (2004 segundo BÁRBARA, 2006) recomendam que o método escolhido seja o primeiro, pois existe uma elevada margem de erro no cálculo decorrente da estimativa do coeficiente de Manning para a seção trapezoidal, o que pode invalidar as respostas obtidas com a modelagem.

As equações 4 e 5 descritas na sequência podem ser usadas para descrever a velocidade média (U) do fluxo e profundidade (H), respectivamente.

$$U = aQ^b \quad (\text{Equação 4})$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad (\text{Equação 5})$$

Em que a, b, α e β são coeficientes empíricos (dados de entrada), obtidos por métodos de ajustes com os dados de campo correspondentes a cada trecho do seguimento fluvial. Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de descarga obtidos para o Rio Coxipó, através de ajustes com os dados de campo, em que foram utilizados os coeficientes de descarga obtidos em P6 nos trechos 1, 2, 3, e 4 enquanto os demais trechos foram utilizados os obtidos em P4, uma vez que as medições de vazão em P1 foram descartadas por problemas técnicos. Foram utilizados resultados de medições mensais realizadas entre abril e dezembro de 2007.

Determinação das contribuições ao longo do percurso no Rio Coxipó

Dois córregos, Moinho e Castelhana, foram tratados como fontes pontuais de lançamento. Esses córregos representam importantes áreas de drenagem da bacia do Rio Coxipó, representando a poluição a montante, contudo existem algumas áreas em que não se dispunham de informações quanto à

carga de poluentes e vazão de córregos, necessitando então de estimativas.

Para estimar a carga de matéria orgânica na bacia, foi calculada a produção de esgotos em função do consumo *percapita* de água (150 l/dia) para a área cinza representada na

Figura 6, que corresponde aos bairros que não possuem sistema de tratamento de esgotos. Foi adotada uma DBO média de 300 mg/L e OD igual a 0,0 mg/L que foram inseridas como fontes difusas em todo o trecho simulado.

Tabela 2: Coeficientes de descarga nos trechos para o Rio Coxipó

Coeficiente de Descarga											
Velocidade						Profundidade					
Trecho	Coef.	Exp.	Trecho	Coef.	Exp.	Trecho	Coef.	Exp.	Trecho	Coef.	Exp.
1	0,224	0,43	6	0,177	0,43	1	0,338	0,43	6	0,282	0,43
2	0,224	0,43	7	0,177	0,43	2	0,338	0,43	7	0,282	0,43
3	0,224	0,43	8	0,177	0,43	3	0,338	0,43	8	0,282	0,43
4	0,224	0,43	9	0,177	0,43	4	0,338	0,43	9	0,282	0,43
5	0,177	0,43	10	0,177	0,43	5	0,282	0,43	10	0,282	0,43

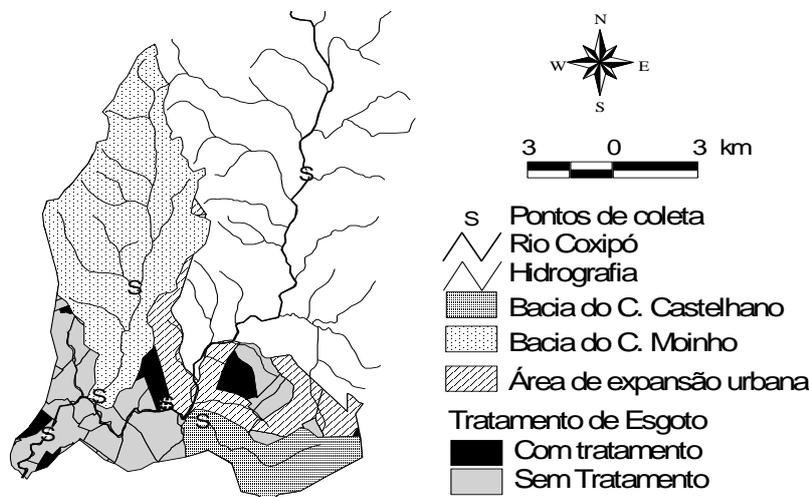


Figura 6: Área de drenagem da bacia do córrego do Moinho e Castelhana na bacia do Rio Coxipó e limite dos bairros que contribuem com carga de esgoto.

Simulação de cenários

A partir do modelo calibrado, foram simulados os cenários descritos a seguir para a bacia do Rio Coxipó, de forma a

verificar a influência de algumas intervenções na bacia.

Cenário 1: Tratamento da carga difusa em todo o trecho com remoção de DBO de 80% e *E. colide* 90%.

Cenário 2: Córregos monitorados com características de rios de classe 2, para OD e DBO.

Cenário 3: Junção do cenário 1 com o 2;

Cenário 4: Redução da metade da concentração de DBO e *E. colidos* córregos e tratamento da carga difusa conforme Cenário 1;

Cenário 5: Redução da metade da concentração de DBO e *E. colidos* córregos monitorados sem tratamento do esgoto de fonte difusa;

Cenário 6: População na bacia do rio Coxipó em 2017 de 213.735 habitantes, representando um aumento populacional de 13,9%. Para obter as populações futuras fez-se uma pesquisa entre as várias metodologias para a previsão de população, e dentre elas fez-se a opção de usar metodologia similar à sugerida por Gomes (2004), que se baseia em ajustar curvas a partir dos dados dos censos realizados pelo IBGE.

Foram testadas as equações: linear, polinomial, exponencial, logarítmica e potência, e a equação polinomial foi a que mais se aproximou dos dados observados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização hidráulica

Na Figura 7 são apresentadas as variações das vazões durante o período de monitoramento nos pontos de coleta, assim como as alturas pluviométricas mensais no eixo secundário do gráfico.

Houve elevação nas vazões nos córregos do Moinho e Castelhana (Figura 7b), que está vinculada ao aumento das chuvas. Do ponto de vista de qualidade da água, esse fenômeno pode ter um caráter benéfico, pois com o aumento da chuva pode haver uma maior diluição dos poluentes, no entanto, pode implicar também no aumento do carreamento de sólidos para o leito dos mananciais, assoreando os rios e córregos, assim como revolvendo o lodo de fundo.

Avaliação da qualidade da água na bacia do Rio Coxipó em termos de OD e DBO

As concentrações médias de DBO nos córregos diminuíram no período chuvoso (Figura 8a), que pode ter sido decorrente do processo de diluição, com fenômeno inverso ao observado para o Rio Coxipó (Figura 8b). As concentrações médias de oxigênio dissolvido foram maiores no período chuvoso do que na estiagem para todos os pontos amostrados

nos córregos (Figura 8c), contudo, para o Rio Coxipó (Figura 8d), foi observado comportamento inverso.

Observa-se que a precipitação contribuiu para o aumento da concentração de matéria orgânica no Rio Coxipó, através da poluição difusa

No córrego do Moinho as concentrações de DBO diminuíram no sentido montante para jusante (Figura 8a),

fenômeno inverso ao ocorrido no Rio Coxipó (Figura 8b). As concentrações de oxigênio dissolvido aumentaram de montante para jusante para o córrego do Moinho (Figura 8c), com comportamento inverso ao observado para o Rio Coxipó (Figura 8d).

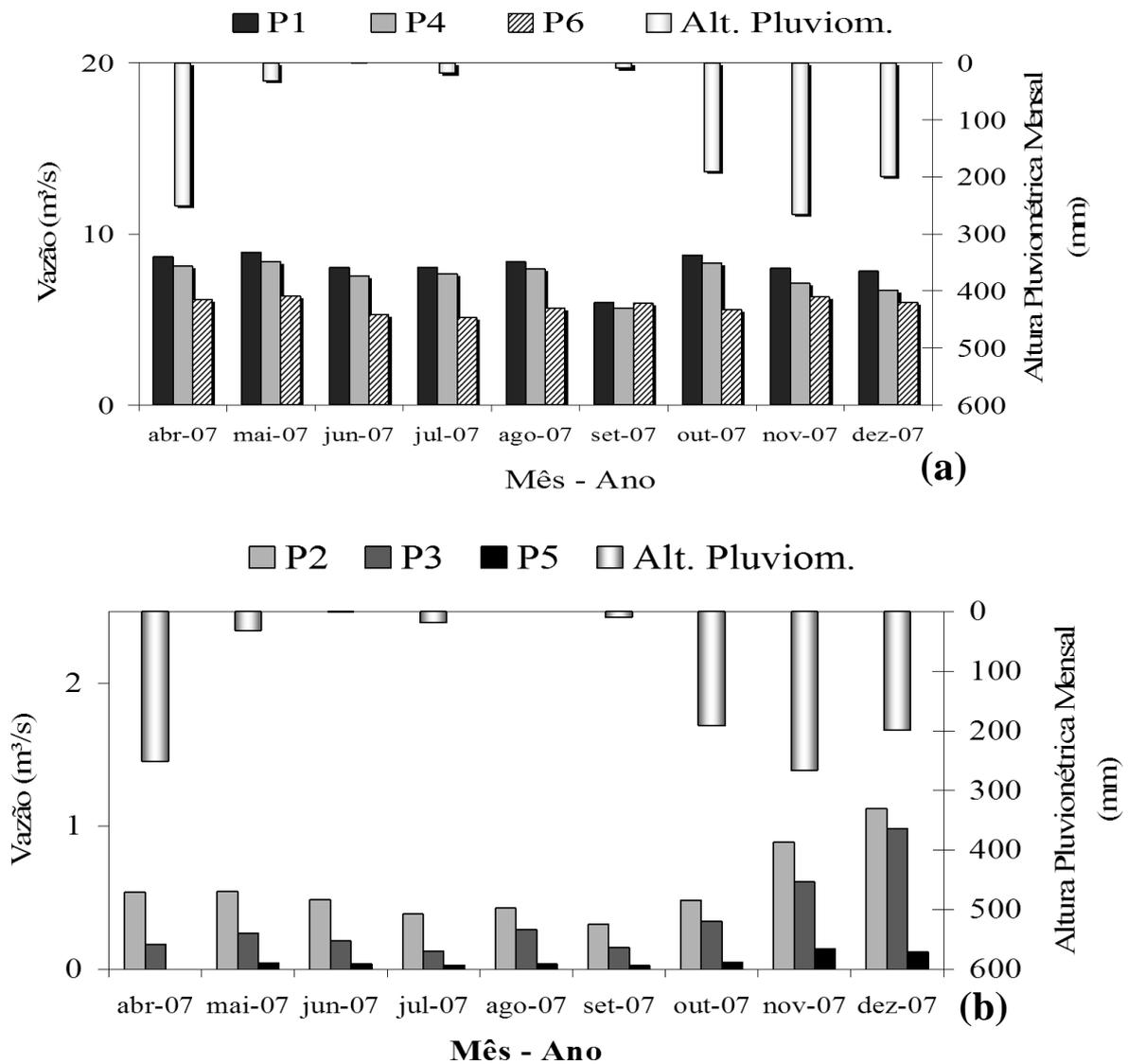


Figura 7: Variação da vazão no Rio Coxipó(a) e córregos (b) e variação da altura pluviométrica mensal, de abril a dezembro de 2007.

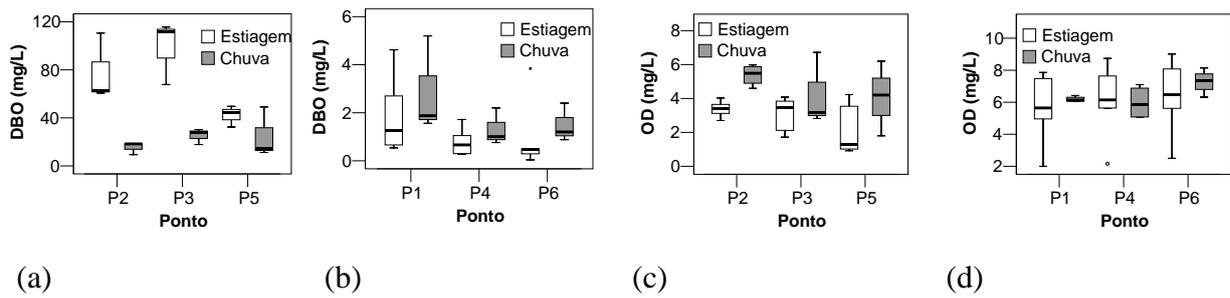


Figura 8: Concentrações de OD e DBO nos córregos (a; c) e no Rio Coxipó (b;d), de abril a dezembro de 2007.

A melhoria da qualidade da água, no córrego do Moinho pode estar associada à região com menor densidade demográfica entre P2 e P3, pois as contribuições de esgoto diminuem favorecendo também o processo de autodepuração do manancial. Contudo, para Rio Coxipó, as concentrações de matéria orgânica tenderam a aumentar no perímetro urbano, com conseqüente diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido, devido a maior presença de fontes de lançamento de esgotos, aumentando as concentrações de matéria orgânica.

Os valores de oxigênio dissolvido na estação de monitoramento P6 de forma geral costumam ser superiores aos obtidos em P1. Isso pode ser decorrente do fato de P6 estar fora do perímetro urbano e sofrer menor pressão antrópica do que o trecho dentro do perímetro urbano, uma vez que nesta localização, o rio também é usado para diluição de efluentes. É importante salientar também, que a montante de P4 existe a foz do Córrego Castelhana e uma

estação de tratamento de água, contribuindo com o lançamento de águas poluídas do referido córrego e com lançamento intermitente da água de lavagem de filtros da ETA, respectivamente. Na época do desenvolvimento da pesquisa a água de lavagem dos filtros não retornava para tratamento na própria ETA.

Perez (1992 citado por MACHADO, 2006) considera que águas superficiais com DBO₅ inferiores a 4 mg/L são razoavelmente limpas, e aquelas com níveis maiores do que 10 mg/L são consideradas poluídas, em função do aporte de quantidades de material orgânico degradável. Neste contexto, o Rio Coxipó apresenta-se com águas razoavelmente limpas, principalmente no período de estiagem, no entanto os córregos podem ser considerados poluídos, conforme comentário do autor.

Com relação ao atendimento a Resolução do Conselho Nacional de Meio

Ambiente do Brasil, CONAMA nº 357/2005, os córregos apresentaram concentrações de OD e DBO não compatíveis com os limites preconizados para rios de Classe 2, no entanto para o Rio Coxipó, na maior parte do tempo as concentrações atenderam aos limites.

Modelagem da qualidade da água

Calibração do modelo

O modelo foi calibrado para um trecho de 20 km do Rio Coxipó, a partir de sua foz, em que foram simulados: Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Para o período de estiagem foi utilizado o modelo interno do programa Qual2K (CHAPRA, *et al.*, 2006), para o cálculo de K_2 , que escolhe entre as equações de O'Connor-Dobbins, Churchil e Owens e Gibbs a que melhor se aplica ao manancial, em função de suas características hidráulicas. O programa selecionou duas equações para o cálculo sendo elas as equações de O'Connor-Dobbins, aplicadas para os trechos 1 a 3, e Owens e Gibbs, aplicadas para os trechos de 4 a 10, enquanto para o período chuvoso foi utilizada a equação proposta por Churchil, em todos os trechos. A partir dos resultados obtidos com as referidas equações, foram realizadas análises de

regressão utilizando o método dos mínimos quadrados, variando-se K_2 , para obter maior aderência dos valores simulados aos observados.

A equação de O'Connor – Dobbins também foi utilizada por Gastaldiniet al. (2007) para calcular o coeficiente de reaeração para o Rio Vacacaí Mirim, para altas vazões e por Lima (2001) para a bacia do Rio Cuiabá.

Simulação do OD e DBO para o período de estiagem, no Rio Coxipó.

A Figura 9 apresenta o resultado das simulações de DBO para o Rio Coxipó no período de estiagem, enquanto a Tabela 4 apresenta os resultados numéricos da calibração. Verificou-se pouca diferença entre os resultados de DBO observadas e simuladas, da ordem de 19%.

Os coeficientes de remoção global de DBO - K_r utilizados para a calibração de DBO e OD encontram-se na Tabela 3, onde os valores elevados no perímetro urbano se devem ao fato do parâmetro K_r ter englobado outros parâmetros que não foram considerados na modelagem, de forma que para alcançar uma boa aderência, fez-se necessário aumentar os valores do referido parâmetro.

Observa-se a 10,5km e a 4,8 km da foz do Rio Coxipó(Figura 4b) que existem as confluências dos Córregos do Moinho e

Castelhano, respectivamente, e que à jusante desses dois pontos houve uma elevação nos valores de DBO (Figura 9). Estas contribuições pontuais são determinantes na qualidade do manancial,

pois lançam um efluente altamente poluído, refletindo na qualidade da água do Rio Coxipó.

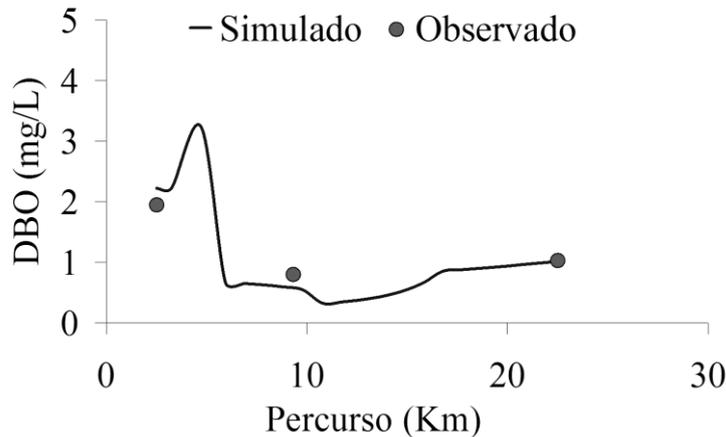


Figura 9: Perfil longitudinal do Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) observados e simulados.

Tabela 3: Coeficientes de remoção global de DBO (Kr) para simulações no período de estiagem.

Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kr	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	15	15	15	15	15

Tabela 4: Resultados das Simulações no período de estiagem para DBO

Percurso (km)	DBO (mg/L)		
	Obs.	Sim.	Resíduo (%)
22,5	1,0	1,0	0
9,32	0,8	0,6	45
2,51	2,0	2,2	11
Resíduo Médio			18,9

Nota: Obs.: Observado; Sim.: Simulado;

A Figura 10 apresenta o resultado da simulação de oxigênio dissolvido utilizando os valores de Kr apresentados na Tabela 6 e os valores de K₂ calculados pelo

método interno do programa QUAL2K (Simulado 1). A partir dos resultados de K₂ fornecidos pelo programa, iniciou-se um processo de aproximações sucessivas

(simulado 2) de forma a obter a maior aderência entre os dois conjuntos de dados, conforme pode ser observado na Figura 10 e Tabela 5.

O método das aproximações sucessivas diminuiu a diferença entre os valores observados e os simulados, que a

princípio era de 19,7% e passa para 2%, resultando em valores simulados mais próximos dos observados, contudo os valores de K₂ obtidos pelo método de aproximações sucessivas são inferiores aos apresentados pelas equações utilizadas.

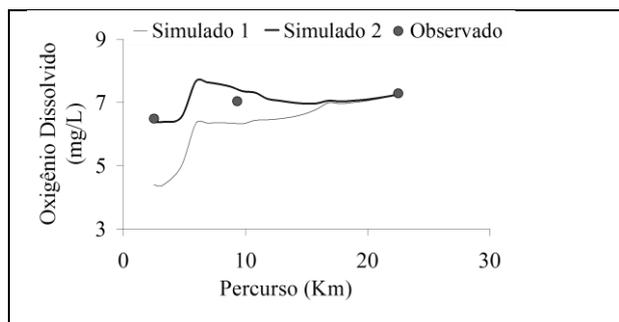


Figura 10: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido observado e simulados

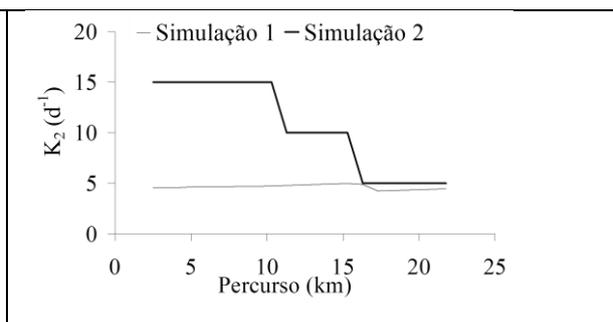


Figura 11: Perfil longitudinal de K₂ obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2)

Tabela 5: Resultados das Simulações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no período de estiagem, para dois métodos de obtenção de K₂.

Percurso (km)	OD (mg/L) Obs.	Para K ₂ obtido por Equações		Para K ₂ obtido por aproximações sucessivas	
		OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)	OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)
22,5	7,29	7,29	0	7,29	0
9,32	7,04	6,33	11,2	7,36	4,3
2,51	6,49	4,39	47,8	6,39	1,6
Resíduo Médio			19,7		2,0

Tabela 6: Valores de K₂ utilizados nas Simulações, no Rio Coxipó

Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K₂ (Opção interna do QUAL2K)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10	15	15	15
K₂ (Aproximações sucessivas)	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,8	4,9	4,7	4,7	4,6

Simulação do OD e DBO para o período chuvoso

A Figura 12 apresenta os resultados das simulações de DBO para o Rio Coxipó

no período chuvoso, enquanto a Figura 13 apresenta os resultados numéricos da calibração e a Tabela 8, os valores de Kr utilizados. Observa-se diferença entre os

resultados de DBO simulados e observados da ordem de 4%.

Assim como observado para o período de estiagem, fica evidente nos quilômetros 10,5 e 4,8 (Figura 12) o aumento de DBO devido às confluências dos Córregos Castelhana e Moinho, respectivamente, em que se observa à jusante desses dois pontos uma elevação

nos valores de DBO. Estas contribuições pontuais são determinantes na qualidade do manancial, e conseqüentemente na gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio Coxipó, pois esses córregos (principalmente o córrego do Moinho) trazem águas muito poluídas para o Rio Coxipó.

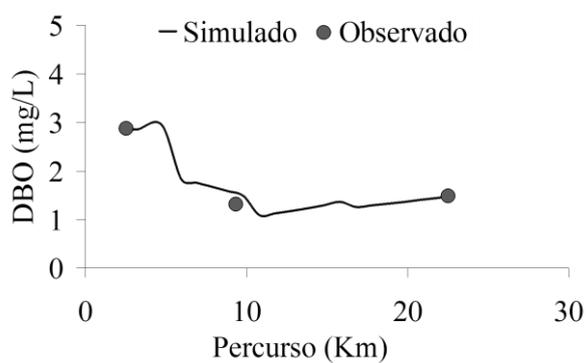


Figura 12: Perfil longitudinal do Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) observados e simulados.

Tabela 7: Resultados das simulações no período de chuva

Percurso (km)	DBO (mg/L)		
	Obs.	Sim.	Resíduo (%)
22,5	1,49	1,49	0
9,32	1,32	1,49	11,41
2,51	2,88	2,86	0,70
Resíduo Médio			4,0

Nota: Obs. = Observado; Sim. = Simulado.

Tabela 8: Coeficientes de Desoxigenação (Kr) para o período de chuvoso

Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kr	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	3,30	3,30	3,30	3,30

A Figura 13 apresenta o resultado das simulações de oxigênio dissolvido

utilizando os valores de K₂ calculados pelo método interno do programa QUAL2K (Simulação 1), e por aproximações

sucessivas, enquanto a Figura 14 apresenta o perfil longitudinal do K₂ utilizados nas referidas simulações.

Assim como observado no período de estiagem, o método das aproximações sucessivas (Simulação 2) diminuiu a diferença entre os valores observados e os

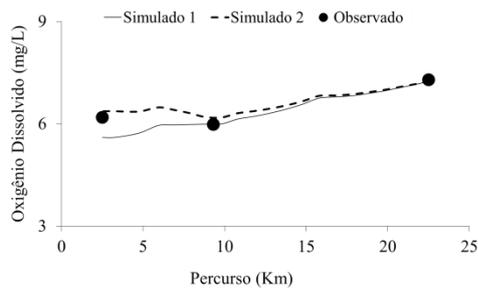


Figura 13: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido observados e simulados no Rio Coxipó

simulados, que inicialmente era de 3,6 % e passa para 2,1%, resultando em valores simulados mais precisos (Figura 13, Tabela 9).

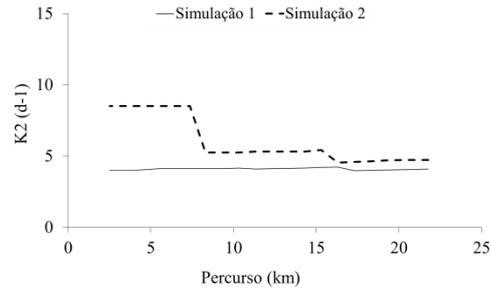


Figura 14: Perfil longitudinal do K₂ obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2)

Tabela 9: Resultados das Simulações de OD (mg/L) no período chuvoso, para dois métodos de obtenção de K₂

Percorso (km)	OD (mg/L) Obs.	Para K ₂ obtido por Equações		Para K ₂ obtido por aproximações sucessivas	
		OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)	OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)
22,5	7,29	7,29	0	7,29	0
9,32	5,98	6,00	0,33	6,19	3,4
2,51	6,19	5,60	10,54	6,37	2,8
Resíduo Médio			3,6		2,1

Tabela 10: Valores de K₂ utilizados nas Simulações

Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K₂ (Opção interna do QUAL2K)	4,1	4,1	4,0	3,9	3,9	4,2	4,2	4,1	4,1	3,9
K₂ (Aproximações sucessivas)	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	5,4	5,3	5,3	8,5	8,5

Simulação de Cenários

A partir do modelo calibrado, com K₂ obtido por meio de aproximações

sucessivas, foram simulados cenários para o Rio Coxipó, com o objetivo de verificar a

influência de algumas ações de gestão na bacia.

As simulações no período de estiagem compreendem os valores médios de DBO e oxigênio dissolvido, assim como das características hidráulicas, entre os meses de maio a setembro de 2007, enquanto que para o período chuvoso, os meses considerados foram entre outubro a dezembro de 2007.

Simulação de cenários para o período de estiagem

Na Figura 15 são apresentados os resultados dos vários cenários, em que o cenário 3 (que consiste na junção dos

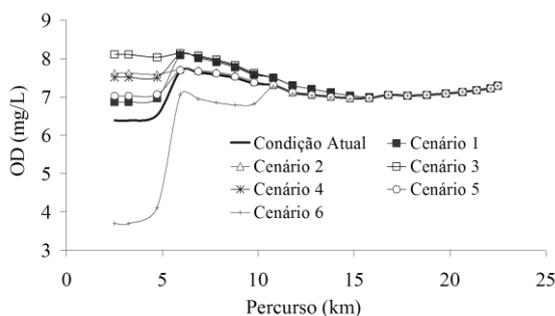


Figura 15: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido observados e simulados para diversos cenários – período de estiagem

O crescimento populacional demanda por um volume maior de água que os dias atuais, o que acarreta uma

cenários 1 e 2) pode aumentar a concentração de Oxigênio Dissolvido em P1 em 1,7 mg/L (representando aumento da concentração em 25%), enquanto a concentração de DBO (Figura 16) pode ser reduzida em até 1,3 mg/L (66%). Estes cenários favorecem positivamente a qualidade da água do Rio Coxipó, contudo as melhorias com relação às duas variáveis, em números absolutos possuem pouca expressividade. Isso pode ser decorrente do fato das variáveis DBO e oxigênio dissolvido não serem atualmente os principais problemas de qualidade da água para o Rio Coxipó, onde intervenções para redução de carga orgânica na forma de DBO, apresentariam pouca influência em sua qualidade.

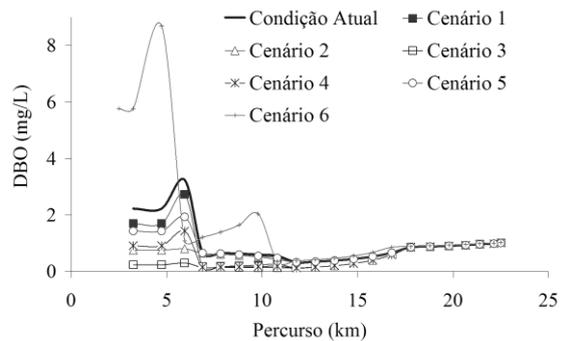


Figura 16: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para os diversos cenários - período de estiagem

maior produção de esgoto lançado nos mananciais. Esses incrementos de vazões de poluição difusa foram calculados conforme apresentado na metodologia e foram inseridos na bacia do córrego do

Moinho e Castelhana como fontes pontuais, na foz dos referidos córregos, e no restante do Rio Coxipó, como fonte difusa. O cenário 6, superior em 13,9% a população no ano de 2007 resultaria em concentrações de oxigênio dissolvido de 3,7 mg/L e de DBO de 5,7 mg/L em P1.

Ressalta-se que as concentrações de oxigênio dissolvido e DBO durante o período de estiagem modelado (maio a setembro de 2007), estavam dentro dos limites preconizados para rios de classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/05, em P1. Contudo, conforme as simulações apresentadas, essas duas variáveis que estavam dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, seriam alvo de elevações na concentração de DBO e diminuição nos teores de oxigênio dissolvido, a partir dos cenários obtidos para populações futuras, assim verifica-se que as variáveis que não representavam problemas de ordem ambiental, passariam a ser.

Simulação de cenários para o período chuvoso

Na Figura 17 são apresentados os resultados dos vários cenários, onde o

Cenário 3 e 4, apresentaram pouca influência na variação da concentração de oxigênio dissolvido, da ordem de 0,4 mg/L, contudo para a variável DBO (Figura 18) a redução da concentração de DBO pode alcançar 2 mg/L, para os mesmos cenários, em P1. Verifica-se que tanto na situação atual como nos cenários 1 a 5 apresentados nas referidas Figuras, o Rio Coxipó apresenta características de rio de Classe 2, em P1, conforme Resolução CONAMA nº 357/05, para as variáveis oxigênio dissolvido e DBO. Contudo o mesmo não é observado para o cenário 6, onde o incremento populacional proporcionou uma deterioração da qualidade da água, fora dos limites preconizados pela referida legislação.

Verifica-se uma queda na concentração de OD de até 1,21 mg/L (Figura 17) e elevação na concentração de DBO (Figura 18) de até 7,0 mg/L, para o Cenário 6, em P1. Isto resultaria em concentrações de oxigênio de 4,8 mg/L e de DBO de 9,3 mg/L em P1, fora dos limites preconizados para rios de classe 2, conforme determina a Resolução CONAMA nº 357/05.

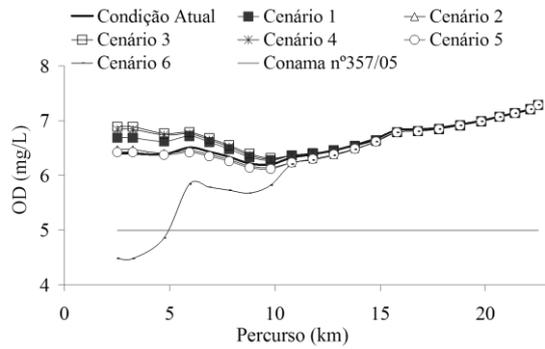


Figura 17: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para diversos cenários – período chuvoso

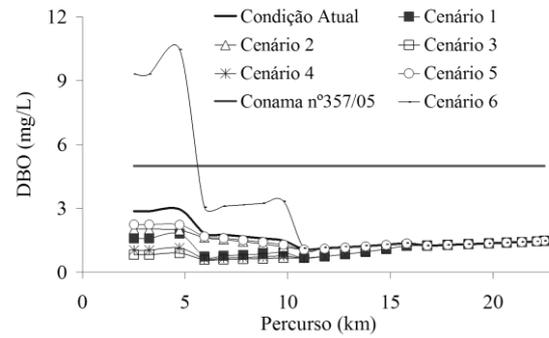


Figura 18: Perfil longitudinal de DBO observado e simulados para os diversos cenários – período chuvoso

4. CONCLUSÃO

O córrego do Moinho apresentou maiores valores em P3 quando comparado a P2, para a variável DBO, já para a variável oxigênio dissolvido as concentrações aumentam de montante para jusante, o que pode ser decorrente do fenômeno de autodepuração, pois entre P2 e P3, a densidade demográfica diminui e apresenta uma área vegetada, o que pode ter resultado na melhoria da qualidade da água.

Houve um aumento nos valores de DBO, de montante em direção a jusante, no Rio Coxipó, e diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, no mesmo sentido, que pode ter sido decorrente da maior pressão urbana nesse trecho.

Quanto ao atendimento da Resolução CONAMA nº 357/2005, os córregos mantiveram-se de forma geral acima dos limites máximos estabelecidos para rios de classe 2, para a variável DBO e abaixo do mínimo estabelecido para oxigênio dissolvido, enquanto o Rio Coxipó, manteve-se na maior parte das coletas dentro do preconizado pela referida resolução.

O modelo de qualidade Qual2K foi calibrado para modelar a qualidade da água do Rio Coxipó, com um bom ajuste da DBO simulada à observada. Sendo este devidamente calibrado, pode ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, juntamente com outras ferramentas, tais como o Sistema de Informações Geográficas de monitoramento de vazão, monitoramento da qualidade da água, plano municipal de saneamento, planos diretores entre outros.

Foi observado ainda, que o cenário 6, foi responsável por piora nas características da qualidade da água, decorrentes do aumento populacional. Explicita-se que, em todo o estudo, foi assumido aumento populacional, mantendo-se ainda as condições de saneamento do ano de 2007, pois foi o ano no qual foi desenvolvida a pesquisa. Considerou-se um cenário pessimista, em que o aumento populacional não seria acompanhado de aumento nas taxas de saneamento, tipicamente o que tem sido verificado na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

5. REFERÊNCIAS

- American Public Health Association, AWWA American Water Works Association, WPCF Water Pollution Control Federation. **Standard Methods**, 20 ed. Ed. American Health Association. Washington, D. C. 1998.
- BÁRBARA, V. F. Uso do modelo Qual2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari – AP (Amazônia). 2006. 174f, **Dissertação** (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.
- BRASIL. Resolução CONAMA n°. 357 de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre as classificações dos corpos' água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outra providencias.*
- _____. Lei Nº 9433, de 08 de Janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos*, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. and TAO, H. **QUAL2K: 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, A.2006.
- CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. **Perfil socioeconômico dos bairros de Cuiabá**. 2007. IPDU - Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2007a. 124p.
- CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano-IPDU, Diretoria de Pesquisa e Informação – DPI. *Perfil socioeconômico de Cuiabá– Volume III -- Cuiabá, MT : Central de Texto, 2007b.*
- GASTALDINI, M. C. C, OPPA, L. F., MISSIO, D. *Modelagem da*

- qualidade da água do Rio Vacacaí Mirim*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. Minas Gerais. **Anais...Minas Gerais: ABES**, 2007. CD ROM.
- GOMES, P. G. **Sistema de Abastecimento de água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 2 ed., Ver. Aum. – João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2004, 242p
- LIMA, E. B. N. R. Modelagem integrada para gestão da qualidade de água na bacia do Rio Cuiabá. 2001. 206f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- MACHADO, W. C. P. Indicadores da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Pato Branco. 2006, 315f. **Tese** (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SANTOS, A. A. Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT. 2008. 148f. **Dissertação** (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso. 2008.
- SARDINHA, Diego Souza ; CONCEICAO, F. T. ; Souza, A. D. G. de ; SILVEIRA, A. ; Julio, M. de ; GONCALVES, J. C. S. I. **Avaliação da Qualidade da Água e Autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, p. 329-338, 2008.