

## **ESTIMATIVA DA CONTRIBUIÇÃO DA VAZÃO INCREMENTAL NA QUALIDADE DA ÁGUA DO ALTO PARAGUAÇU, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MUCUGÊ E ANDARAÍ - Ba**

*Naiah Caroline Rodrigues de Souza*<sup>1\*</sup> & *Andrea Sousa Fontes*<sup>2</sup>

**Resumo** – O presente estudo tem como objetivo a calibração do modelo QUAL2K para estimativa da vazão incremental afluyente ao trecho alto do rio Paraguaçu e sua contribuição para a evolução espacial da qualidade da água entre os municípios de Mucugê e Andaraí, tomando como base os dados disponíveis no Programa Monitora do Instituto de Gestão das Águas e Clima INGÁ –Ba, atual Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, para o ano de 2009. Os valores mostram que existe uma contribuição de carga orgânica no trecho estudado que interfere nas condições de OD e DBO do rio Paraguaçu. Os valores encontrados indicam a aplicabilidade do modelo e importância de sua utilização para estimativas de cargas poluidoras difusas que é de difícil medição e quantificação, mas importante para a gestão da qualidade da água dos corpos d'água, controle da poluição e efetivação de ações para minimização.

**Palavras-Chave** – Vazão incremental, qualidade da água, QUAL2K.

## **ESTIMATED INCREMENTAL FLOW INPUT IN WATER QUALITY OF THE PARAGUAÇU RIVER, BETWEEN MUCUGÊ AND ANDARAÍ -Ba**

**Abstract** – This study aims to model calibration QUAL2K to estimate the incremental flow tributary to the stretch high of Paraguaçu river and their contribution to the spatial evolution of water quality among Mucuge and Andaraí, based on data available in the Monitora Program of the institute of water management and climate INGÁ-Ba, the current INEMA, for the year 2009. The results show that there is a contribution of the organic load in the studied conditions that interfere with DO and BOD of the Paraguaçu river. The values obtained show the applicability of the model and the importance of its use for estimating diffuse pollution loads that are difficult to measure and quantify, but important for the management of water quality of water bodies, pollution control and effective actions to minimization.

**Keywords** – Incremental flow, water quality, QUAL2K.

### **INTRODUÇÃO**

O uso indiscriminado da água para atendimento a demanda humana tem trazido como resultado a deterioração da qualidade deste recurso, destacando o aproveitamento sem limite da propriedade da água em ser um recurso renovável, com capacidade de autodepurar. O cenário resultante é a degradação da qualidade da água, a necessidade de interferência nas características de efluente lançados nos cursos d'água e a urgência do conhecimento da capacidade de autodepuração desses mananciais a partir das características químicas, biológicas hidráulicas e hidrológicas locais.

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFRB, naih.carol@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor Adjunto, CETEC/UFRB, Campus Cruz das Almas, Bahia, andreafontes@ufrb.edu.br

\* Autor Correspondente

Para Von Sperling (2007) a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem e, desse modo, pode-se dizer que a qualidade de um manancial é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Em relação às condições naturais a qualidade das águas sofre interferências do escoamento superficial e da infiltração do solo, resultantes da precipitação atmosférica. A interferência é decorrente do contato da água (em escoamento ou em infiltração) com as partículas, substâncias e impurezas do solo. Assim, mesmo que a bacia esteja completamente preservada em suas condições naturais, a cobertura e composição do solo ainda podem provocar alterações no escoamento da bacia.

Em uma área de drenagem o escoamento superficial acontece no momento em que a precipitação já completou as pequenas depressões do solo, a capacidade de retenção da vegetação foi ultrapassada e a taxa de infiltração foi excedida. No processo descrito, a água transporta poluentes que são dispostos sobre a superfície, gerando cargas poluidoras. Neste caso a poluição é dita difusa e motiva uma preocupação crescente com o controle da poluição, do manejo e do uso do solo. Segundo Paiva (2001), adiciona-se a poluição difusa a poluição proveniente de cargas pontuais nos mananciais provenientes de lançamento de esgotos nos cursos d'água.

A poluição difusa é um dos grandes problemas sanitários das áreas urbanas, uma vez que está relacionada à perda de qualidade dos corpos d'água e este tipo de poluição é de difícil quantificação, assim como a identificação de sua origem, o que torna complexo o controle, o monitoramento e o tratamento relacionado à esse tipo de poluição. Novotny (1995) indica, com base em dados obtidos nos Estados Unidos, que as fontes difusas contribuem mais significativamente que as fontes pontuais para determinados parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água, merecendo principal atenção à DQO (Demanda Química de Oxigênio), fósforo e nitrogênio, indicativos de poluição por matéria orgânica.

Assim, para entendimento das alterações qualidade da água em um curso é importante a realização de estudos experimentais monitorando a evolução dos poluentes ao longo do rio e, também, a jusante de pontos de lançamento de efluentes.

Para a avaliação da qualidade da água dos corpos d'água e definição da influência das cargas poluidoras provenientes das vazões incrementais ao longo dos rios, podem ser utilizados (NOVOTNY, 2003): (i) a relação entre categorias de uso do solo com valores médios de cargas poluentes por unidade de área e tempo; (ii) a razão entre a massa de poluente e o volume total escoado em determinado evento; e (iii) modelos matemáticos de simulação da qualidade da água.

O processo de modelagem e investigação da qualidade da água em um sistema hídrico é a representação simplificada do sistema utilizando parâmetros característicos locais, com a possibilidade de modificação dos dados de entrada e análise das respostas para cada conjunto modificado destes dados e ajustando dados calculados aos dados observados disponíveis.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo a calibração do modelo QUAL2K (CHAPRA E TAO, 2008) para estimativa da vazão incremental afluente ao trecho alto do rio Paraguaçu e sua contribuição para a evolução espacial da qualidade da água entre os municípios de Mucugê e Andaraí, tomando como base os dados disponíveis no Programa Monitora do Instituto de Gestão das Águas e Clima INGA –Ba, atual Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, para o ano de 2009.

## ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo será realizado no rio Paraguaçu. O rio Paraguaçu está inserido em uma bacia que apresenta diversas interferências antrópicas e modificações de fluxo (Genz, 2008). Esta bacia está localizada no centro oeste do estado da Bahia ocupa 10% de seu território e é composta por 86 municípios (INEMA, 2012). O trecho analisado no estudo está compreendido entre as cidades de Mucugê e Andaraí e contempla 26 km do rio Paraguaçu.

As águas do Paraguaçu e de seus afluentes são utilizadas para abastecimento público, industrial e doméstico, geração de energia, dessedentação de animais, navegação, lazer, pesca e como corpo receptor de efluentes. Os usos e ocupações do solo da Bacia do Paraguaçu são principalmente para agricultura, agropecuária, atividades industriais e turísticas (LUZ, 2010).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para representação do comportamento das propriedades de autodepuração no trecho alto de rio Paraguaçu, utilizou-se o programa em Excel QUAL2K, versão elaborado para representar uma moderna versão do modelo QUAL2E desenvolvido pela US Environmental Protection Agency (USEPA), que tem por objetivo possibilitar a simulação da qualidade do rio além de indicar a eficiência necessária a tratamento de esgotos que poderão ser despejados. O modelo QUAL2K foi desenvolvido originalmente por Chapra S.C., da Universidade de Tufts (CHAPRA E TAO, 2008).

A partir do banco de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas - ANA foram obtidos os dados disponíveis de vazão, cotas, perfil transversal, resumo de descarga, qualidade da água da estação fluviométrica Mucugê (código ANA – 51108000) e Andaraí (código ANA - 51120000), que apresenta série histórica atualizada.

Como não estão disponibilizados dados de vazão para o período escolhido para análise para a estação fluviométrica Mucugê foi realizada a geração das vazões neste ponto utilizando a metodologia de correlação de área (VON SPERLING, 2007) com base nas vazões da estação Andaraí nos dias de realização de cada campanha. Para as características hidráulicas das seções de estudo foram utilizados em todas as calibrações os dados da campanha de medição de vazão (banco de dados Agência Nacional de Águas) realizada em maio de 2009, única disponível para este ano.

Dentre os parâmetros disponíveis para simulação no QUAL2K, foram escolhidos o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) como indicados para a calibração da estimativa da contribuição da vazão incremental na qualidade da água no trecho do rio em estudo. Esses parâmetros têm sido utilizados tradicionalmente como variáveis de análise, segundo Sardinha et al. (2008), representando a grau de poluição de acordo com sua concentração ao longo do manancial. Assim como a indicação do modelo de Streeter Phelps (1925), para representar o processo da autodepuração devido a sua simplicidade conceitual (VON SPERLING, 2007). Os valores para esses parâmetros de qualidade da água foram definidos com base nos dados fornecidos pelo Programa Monitora o Instituto de Gestão das Águas e Clima INGÁ –Ba, atual Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, nas campanhas de monitoramento do ano de 2009.

Para o ano escolhido o referido programa efetivou quatro campanhas: nos meses de fevereiro, junho, agosto e novembro.

Após o levantamento de dados iniciou-se a calibração do modelo QUAL2K em relação às vazões para cada campanha de 2009, para a qual foi feita uma estimativa da contribuição do escoamento superficial, ou seja, a vazão incremental, ao longo do trecho compreendido entre Mucugê e Andaraí.

O ajuste do modelo para representação da evolução da qualidade da água no trecho de estudo se deu a partir do ajuste visual da curva parâmetro x distância gerada, de modo que a vazão simulada em Mucugê (ponto de monitoramento inicial) e em Andaraí (ponto de monitoramento final) se aproximasse do valor da vazão observada no período da realização da campanha analisada.

Seguida a adequação dos gráficos de vazão, foram realizadas as calibrações de OD e DBO para cada campanha. Para ser possível a calibração desses parâmetros foram adotados coeficientes de reaeração ( $K_d$ ) de acordo com as informações de perfil transversal e resumo de descarga disponível, e com base nos valores de coeficiente de reaeração propostos pelas equações de Churchill e Dobbins, Owens et al. e O'Connor e Dobbins, apresentados em Von Sperling (2007).

Desse modo, o modelo foi calibrado, através do ajuste do gráfico obtido para cada campanha, com a adequação dos valores simulados pelo modelo aos valores observados nos pontos extremos do trecho analisado. Para o adequado ajuste dos gráficos, foram variados os valores de OD e DBO da vazão incremental de cada campanha. Para o refinamento deste ajuste e representação das características hidráulicas do rio na época da campanha (seca ou cheia) o valor de  $K_d$  também foi variado para cada campanha.

Por fim foi realizada a análise das vazões incrementais e das condições de OD e DBO, possibilitando a avaliação da contribuição da vazão incremental ao trecho de estudo para as condições de qualidade da água do rio Paraguauçu.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A análise da série histórica observada na estação de Andaraí possibilitou a definição da vazão média do ano de 2009 de  $16,59 \text{ m}^3/\text{s}$  e a vazão de longo termo de  $21,08 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A Figura 1 traz o resultado da calibração das vazões incrementais para a primeira campanha do Programa Monitora do ano de 2009 realizada entre os dias 16 e 19 de fevereiro, que apresentou vazão média diária observada de  $2,83 \text{ m}^3/\text{s}$  em Andaraí e vazão calculada de  $2,10 \text{ m}^3/\text{s}$  em Mucugê, configurando dessa forma vazões baixas. Neste cenário as condições de profundidade e velocidade do rio resultaram num coeficiente de reaeração de  $4,6 \text{ d}^{-1}$ .

Os resultados da calibração de OD e DBO estão representado nas Figuras 2 e 3, que apresentam um ajuste adequado do modelo em formular matematicamente o comportamento desses parâmetros entre os pontos das amostras. Para atingir este ajuste foi necessário adicionar a entrada de contribuição difusa de carga orgânica resultando em melhora da condição do rio a jusante em período seco.

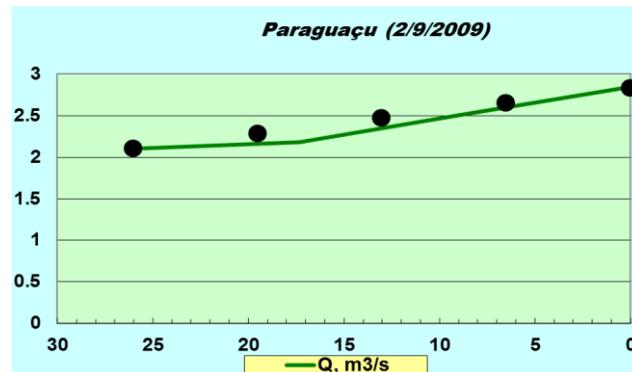


Figura 1 Calibração das vazões da primeira campanha

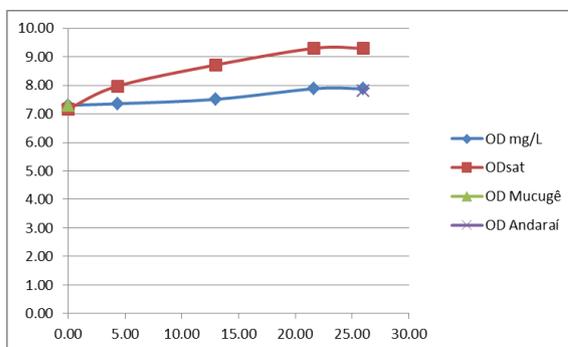


Figura 2 Calibração OD primeira campanha

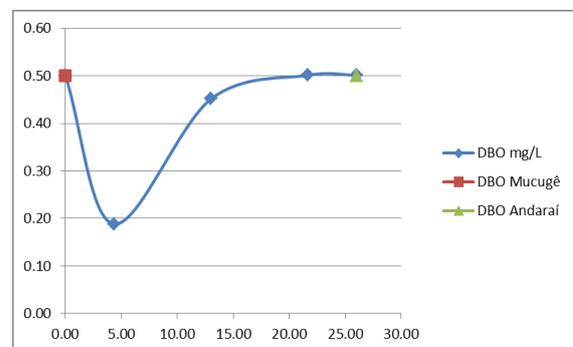


Figura 3 Calibração DBO primeira campanha

Para a segunda campanha foi obtida vazão de 31,77 m<sup>3</sup>/s para Andaraí e 24,066 m<sup>3</sup>/s para Mucugê e o gráfico da calibração das vazões depois de inseridas as vazões incrementais foi dado como mostra a Figura 4. Este período representou um comportamento de vazões altas e o ajuste representa a piora na condição do rio em período úmido.

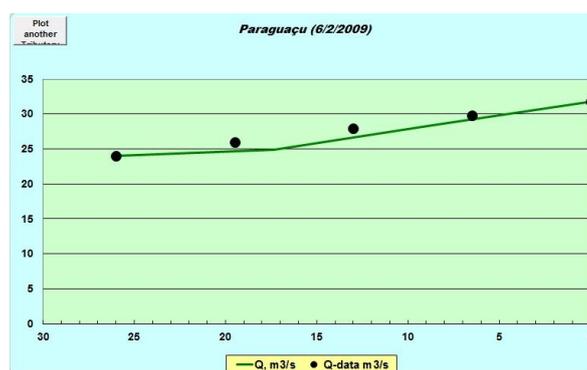


Figura 4 Calibração vazão segunda campanha

As Figuras 5 e 6 traz o resultado para a calibração da segunda campanha dos parâmetros OD DBO. Para esta campanha, o Kd para representar as condições hidráulicas do canal em período com vazão alta foi definido no valor de 1.5 d<sup>-1</sup>. Os valores de OD e DBO simulados para a seção do rio em Andaraí em comparação com os valores da campanha mostram modelagem adequada para este cenário.

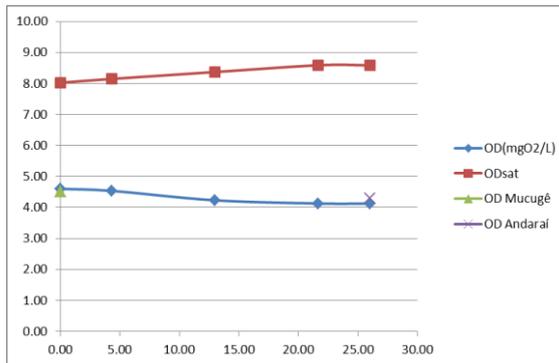


Figura 5 Calibração OD segunda campanha

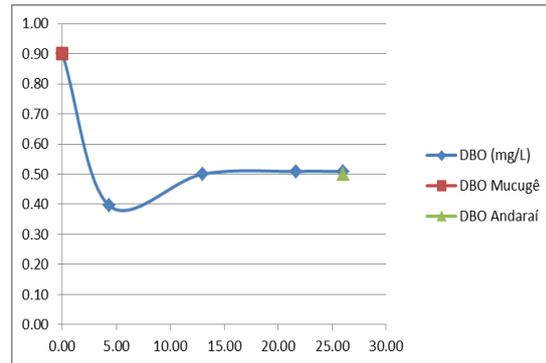


Figura 6 Calibração DBO segunda campanha

Para a terceira campanha do Programa Monitora de 2009 as vazões médias encontradas para Andaraí foi 10,71 m<sup>3</sup>/s e para Mucugê foi 7,65 m<sup>3</sup>/s. Após inseridas as as contribuições das vazões incrementais obteve-se um gráfico que está representado pela Figura 7. Este cenário representa um periodo mais próximo de um comportamento médio do rio. A calibração do modelo para esta campanha necessitou da alteração (por tentativas sucessivas) também do valor do Kd calculado (2,5 d<sup>-1</sup>) para 3,8 d<sup>-1</sup>, além da consideração da vazão incremental e adição de carga organica no trecho. Sem esta alteração o modelo não ajustou.

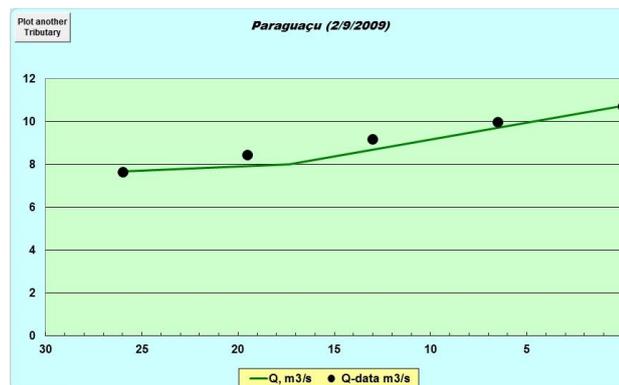


Figura 7 Calibração vazão terceira campanha

Os ajustes dos valores de OD e DBO das vazões incrementais estão apresentados nas Figuras 8 e 9.

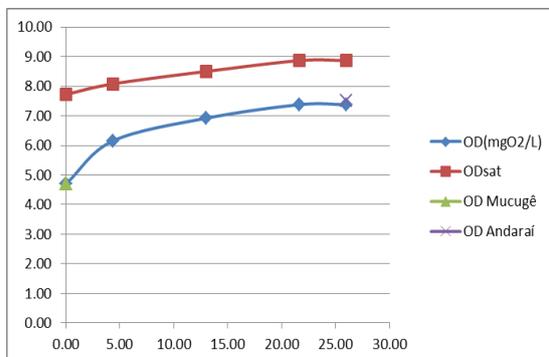


Figura 8 Calibração OD terceira campanha

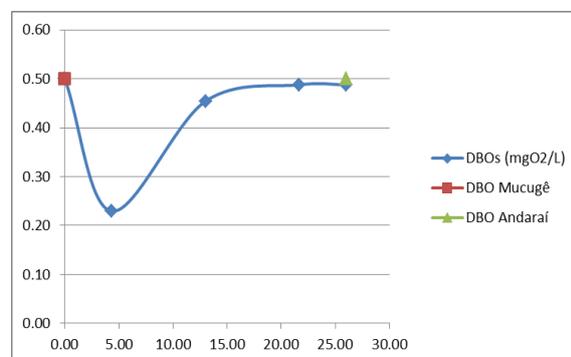


Figura 9 Calibração DBO terceira campanha

Para a quarta campanha do Monitora foram definidas vazões médias de 3.71 m<sup>3</sup>/s para Andaraí e 2.81 m<sup>3</sup>/s para Mucugê. Após a inserção das vazões incrementais obteve-se o gráfico de calibração de vazões mostrado na Figura 10. Este cenário configura period de vazão baixa no rio.

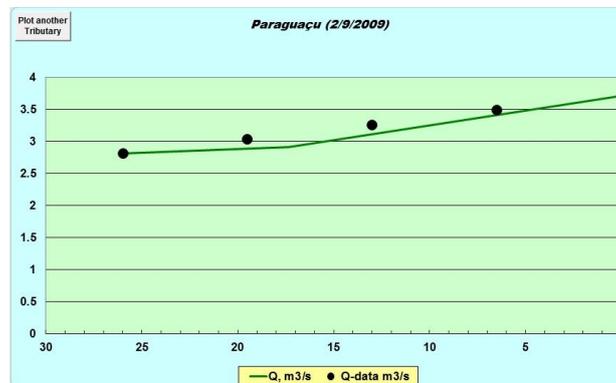


Figura 10 Calibração vazão quarta campanha

Para esta campanha o modelo não conseguiu representar simultaneamente os valores de OD e DBO das vazões incrementais, uma vez que existe um aumento no valor de OD entre os dois pontos analisados mas não acontece redução da DBO. O comportamento para os parâmetros obtido para esse período é apresentado pela Figura 11 e 12.

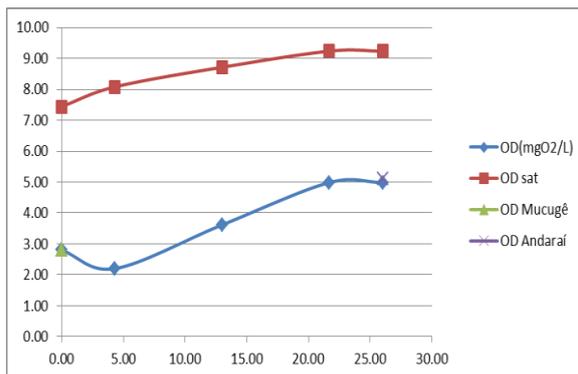


Figura 11 Calibração OD quarta campanha

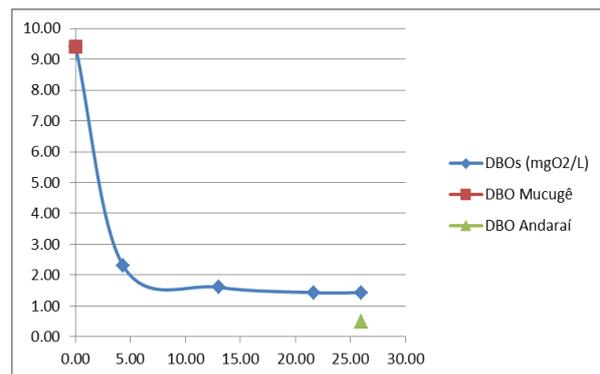


Figura 12 Calibração DBO quarta campanha

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de qualidade da água simulados pelo QUAL2K para as vazões incrementais nas quatro campanhas de 2009. Esses valores representam a contribuição do escoamento difuso e/ou pontual no trecho estudado do rio Paraguaçu.

Tabela 1 Vazões, OD, DBO e Kd encontrados para as campanhas

Campanha	Q andaraí	Q mucuge	Q incremental	OD (Q incremental)	DBO (Q incremental)	Kd
	m³/s	m³/s	m³/s	mg/L	mg/L	
1	2.83	2.10	0.73	4	15	4.6
2	31.77	24.07	7.70	0	9	1.5
3	10.71	7.65	3.06	8	10	3.8
4	3.71	2.81	0.90	0	40	4.8

Os valores mostram que existe uma contribuição de carga orgânica no trecho estudado que interfere nas condições de OD e DBO do rio Paraguaçu, necessitando da capacidade de autodepuração do rio para este reestabelecer sua qualidade. Apenas os dados observados na quarta campanha não apresentaram boa representação pelo modelo.

Os valores do coeficiente de reaeração (definido no QUAL2K como Kd) utilizados na modelagem das campanhas foram mantidos dentro das faixas apresentadas pelos valores calculados e assim estão coerentes com as características hidráulicas do trecho do rio.

Sendo o OD o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (provavelmente esgotos), os valores simulados apresentam a presença desse tipo de poluição no trecho estudado com diferentes comportamentos para períodos secos e úmidos.

## CONCLUSÕES

O entendimento das alterações da qualidade da água em um curso é importante para realização de estudos experimentais monitorando a evolução dos poluentes ao longo do rio e, também, a jusante de pontos de lançamento de efluentes. Neste contexto, o presente estudo apresentou a calibração do modelo QUAL2K para estimar a vazão incremental afluente ao trecho alto do rio Paraguaçu e sua contribuição para a evolução espacial da qualidade da água entre os municípios de Mucugê e Andaraí. Das quatro campanhas analisadas, três foram bem representadas pela formulação proposta no modelo, possibilitando o conhecimento da contribuição da vazão incremental a qualidade da água no rio.

Os valores encontrados mostram a aplicabilidade do modelo e importância de sua utilização para estimativas de cargas poluidoras difusas que é de difícil medição e quantificação, mas importante para a gestão da qualidade da água dos corpos d'água, controle da poluição e efetivação de ações para minimização.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Séries Históricas. In: HidroWeb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> ; Acesso em: 28, jun. 2012;
- GENZ, Fernando. Avaliação dos efeitos da barragem de Pedra do Cavalo sobre circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Tese de Doutorado: Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. 2006.
- INGÁ. Programa Monitora - Programa de Monitoramento da Qualidade das águas do Estado da Bahia; 2 v. ; 2009.
- LUZ, C.N.; MACÊDO, M.A. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Paraguaçu e Afluentes, Bahia, Brasil; Anais: I Congresso Bahiano de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2010; In: CD;
- NOVOTNY, V., Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management. Water Quality Management Library. Vol. 9, Technomic Publication, 1995;
- PAIVA, J. B. D. de. PAIVA, E. M. C. D. de. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre. ABRH. 2001;
- VON SPERLING, M. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios, 1ª Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2007.