

# MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO PARAIBUNA – MG: APLICAÇÃO DO MODELO DE STREETER-PHELPS

*Ilka Dutra Matos<sup>1</sup>; Celso Bandeira de Melo Ribeiro<sup>2</sup>; Aline Carvalho Bonsanto<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- A poluição dos rios é um dos maiores problemas ambientais em todo o mundo, causando efeitos negativos à saúde e prejudicando as condições básicas de seus diversos usos. Por isso, a modelagem da qualidade da água tem sido necessária e importante para simular os processos de autodepuração nos rios. O trabalho irá apresentar a avaliação da qualidade da água do rio Paraibuna, pelo modelo de Streeter-Phelps, em função dos níveis de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Foram analisados seis pontos de amostragem ao longo do rio para posterior calibragem do modelo. O modelo apresentou bons resultados, mostrando-se apto a simular os parâmetros de qualidade de água do rio Paraibuna.

**ABSTRAT** --- The pollution of rivers is one of the largest environmental problems worldwide, causing negative health effects and damaging the basic conditions for its various uses. Therefore, the modeling of water quality has been necessary and important to simulate the processes of self-purification in the rivers. The paper will present the assessment of water quality of river Paraibuna, the Streeter-Phelps model, depending on the levels of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD). We analyzed six sampling points along the river for later calibration of the model. The model showed good results, being able to simulate the quality parameters of river water Paraibuna.

**Palavras-chave:** Qualidade da água, Streeter-Phelps, Modelagem matemática

<sup>1</sup> Aluna de Graduação em Engenharia Civil da UFJF, Bolsista de Iniciação Científica do programa PROVOQUE/UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Faculdade de Engenharia, Plataforma 4, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA, Martelos Juiz de fora – MG, E-mail: [ilkadmatos@hotmail.com](mailto:ilkadmatos@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ESA) da Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Bairro Martelos, Juiz de fora – MG, E-mail: [celso.bandeira@ufjf.edu.br](mailto:celso.bandeira@ufjf.edu.br)

<sup>3</sup> Aluna de Graduação em Engenharia Civil da UFJF, Bolsista de Iniciação Científica do programa PROBIC/FAPEMIG/UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Faculdade de Engenharia, Plataforma 4, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA, Martelos Juiz de Fora – MG, E-mail: [alinebonsanto@msn.com](mailto:alinebonsanto@msn.com)

## 1 – INTRODUÇÃO:

A água é uma substância química composta de hidrogênio e oxigênio, sendo essencial para todas as formas conhecidas de vida. O estudo de sua qualidade é de fundamental importância para uma eficiente gestão dos recursos hídricos.

Segundo SPERLING (1996), a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, ou seja, a qualidade do curso d'água é determinada não só pela intervenção humana como também pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica.

Os rios são corpos hídricos extremamente vulneráveis à intervenção humana devido a sua facilidade de escoamento de dejetos indesejáveis principalmente representados pelos esgotos, domésticos e industriais. Com isso, o estudo e modelagem da qualidade de água dos corpos hídricos vêm ganhando cada vez mais importância na medida em que se torna uma eficiente ferramenta auxiliadora na tomada de decisões sobre a forma de utilização dos corpos d'água, por ser fundamental o conhecimento do seu comportamento diante de qualquer interferência, seja com o fim de avaliar impactos, seja com o fim de analisar medidas de controle ambiental, além do conhecimento da capacidade do rio de se alto recuperar dessas intervenções.

A poluição dos rios é um dos maiores problemas ambientais em todo o mundo, prejudicando as condições básicas para seus diversos usos e causando efeitos negativos à saúde ambiental. Poluição das águas pode ser considerada como a adição de materiais químicos, físicos e biológicos que afetam sua qualidade de maneira a prejudicarem seus diversos usos. Esse processo vai desde um simples saquinho de papel até os mais perigosos poluentes tóxicos, como pesticidas, metais pesados (mercúrio, cromo, chumbo) e detergentes. Uma das maiores fontes de poluição dos cursos d'água são os esgotos domésticos, problema já resolvido em países desenvolvidos e um grande problema nos em desenvolvimento. A principal característica do lançamento de esgoto é o aumento da matéria orgânica. Indiretamente ela aumenta o consumo de oxigênio dissolvido devido seu processo de estabilização por bactérias aeróbicas. Portanto esses dois parâmetros, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD), tornam-se fundamentais para a interpretação dos dados de qualidade de água dos rios.

Apesar da intervenção antrópica no ambiente, o rio é capaz, até determinado limite de despejos, de restabelecer suas características anteriores ao impacto, não de forma igualitária, mas atingindo um novo equilíbrio por um importante fenômeno natural denominado autodepuração.

Esse fenômeno pode ser entendido como a capacidade que um corpo d'água tem de recuperar suas qualidades ecológicas e sanitárias por processos essencialmente naturais, após

receber uma carga poluidora (INGÁ, 2011). Cada corpo hídrico possui sua capacidade de autodepuração, por isso é de fundamental importância conhecer a capacidade de assimilação do rio em análise e impedir que o lançamento de despejos seja acima de sua capacidade, evitando assim grandes prejuízos.

Diante de tal situação, a modelagem da qualidade da água tem sido uma importantíssima ferramenta para simular os processos de autodepuração nos rios, já que proporciona simulação de eventos reais, de condições futuras e de alternativas que auxiliam na tomada de decisões referentes ao seu gerenciamento (IDE e RIBEIRO, 2009). A escolha dos modelos matemáticos está relacionada a diversos fatores, como o objetivo da análise e os dados coletados. Alguns desses modelos têm incluído parâmetros básicos (OD e DBO), enquanto outros têm levado em conta parâmetros mais sofisticados. Neste trabalho será tratado os parâmetros básicos (OD e DBO) através do modelo de Streeter-Phelps.

## **2 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA:**

Os parâmetros de qualidade traduzem as características químicas, físicas e biológicas dos componentes presentes na água e que assim alteram o seu grau de pureza. No estudo em questão os dois principais parâmetros que alteram os índices estudados são oxigênio dissolvido e a matéria orgânica.

O oxigênio dissolvido (OD) é de vital importância para os organismos aeróbios, já que é o elemento principal do metabolismo desses seres vivos. Além disso é um dos principais parâmetros para controle dos níveis de poluição das águas. As águas poluídas apresentam um OD baixo, pois este será consumido no processo de decomposição da matéria orgânica.

A matéria orgânica tem origem natural (biomassa vegetal e animal) e antropogênica (despejos domésticos e industriais). É a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

### **Parâmetros cinéticos:**

A quantidade de oxigênio dissolvido nas águas de um rio é o resultado de uma série de interações cinéticas que ocorrem simultaneamente. No rio, o oxigênio dissolvido está sendo sempre consumido e produzido. Esta relação depende do uso e das características do corpo hídrico.

Os mecanismos que influenciam a variação da concentração de oxigênio dissolvido nas águas de um rio são (BRAGA, et al, 2002).

- Reaeração atmosférica: é a dissolução física do oxigênio do ar na água que ocorre na interface ar-água. Depende das características do corpo hídrico, tais como a intensidade da difusão turbulenta, a velocidade do fluido, a declividade do canal, a geometria do escoamento, etc;

- Fotossíntese: é o oxigênio produzido pelos organismos autótrofos presentes no corpo hídrico. Depende da intensidade luminosa e da transparência do rio, tipos de algas, etc;

- Afluentes e tributários: contribuem com o aumento ou a diminuição do oxigênio dissolvido no canal principal quando entram no corpo hídrico. Dependem da qualidade de suas águas;

- Respiração de plantas e animais aquáticos: é o consumo de oxigênio dissolvido pela respiração dos seres vivos que habitam o corpo hídrico. Depende da quantidade de animais e plantas aquáticas que utilizam o rio como habitat;

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): é a quantidade de oxigênio que será utilizada na respiração dos microorganismos no processo de decomposição da matéria orgânica, presente ou lançada na água e na oxidação do nitrogênio para sua mineralização. Depende das características naturais do efluente despejado no rio;

- Demanda Sedimentar de Oxigênio: é o oxigênio consumido pelos microorganismos nos depósitos de material orgânico do fundo do rio. Depende da vazão, velocidade e turbulência do corpo d'água.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Área de estudo:

O local de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Paraíbauna. Esta localiza-se na região sudeste do Brasil (figura 1), mais precisamente na Zona da Mata Mineira. É constituída por quatro rios principais: Cágado, Peixe, Preto e o Paraíbauna. O Rio Paraíbauna nasce na serra da Mantiqueira a 1.200 metros de altitude e percorre aproximadamente 170 km ao longo do seu curso. Percorre nove cidades dentre elas Juiz de Fora, que abriga cerca de 70% de toda a extensão do corpo hídrico dentro de seus limites territoriais. Além disso, destaca-se também por ser a mais impactante a qualidade da água do rio, devido principalmente ao grande volume de esgoto despejado ao longo do seu percurso (BONSANTO & RIBEIRO, 2010).

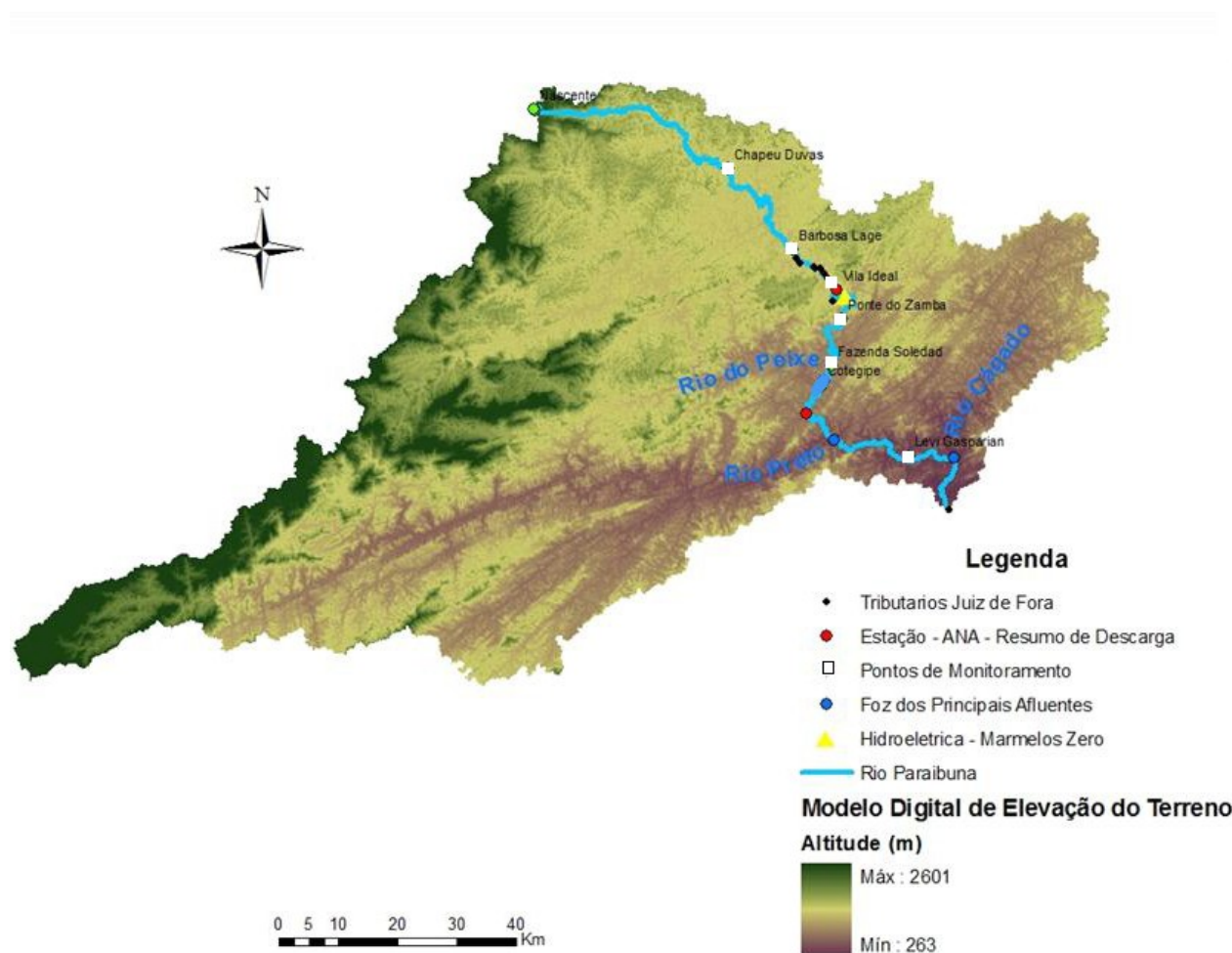


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do rio Paraíbauna

### 3.2 – Locais de amostragem:

O estudo dos parâmetros básicos (OD e DBO) foi realizado através da coleta de amostras nos seguintes pontos (Tabela 1), em que o critério para a escolha foi a coincidência com as estações fluviométricas da ANA (Agência Nacional de Águas) e ou a relação do ponto com o modelo de ocupação da bacia contribuinte.

**Tabela 1 – Localização Geográfica das Seções de Monitoramento**

Seções de Monitoramento	Coordenadas Geográficas
Chapéu D'Uvas	21°35'39"S e 43°30'19"W
Barbosa Lage	21°43'02"S e 43°23'52"W
Vila Ideal	21°46'39"S e 43°19'30"W
Ponte do Zamba	21°49'18,4"S e 43°19'08,1"W
Cotegipe	21°53'35,4"S e 43°19'57,1"W
Levy Gasparian	21°55'23,7"S e 43°20'53,4"W
	22°01'41,3"S e 43°12'23,6"W

### 3.3 – Modelagem e Dados:

O modelo escolhido Streeter-Phelps considera o escoamento permanente uniforme e simula os parâmetros DBO e OD. Neste trabalho foi analisado seis pontos do rio Paraibuna (Figura 2).

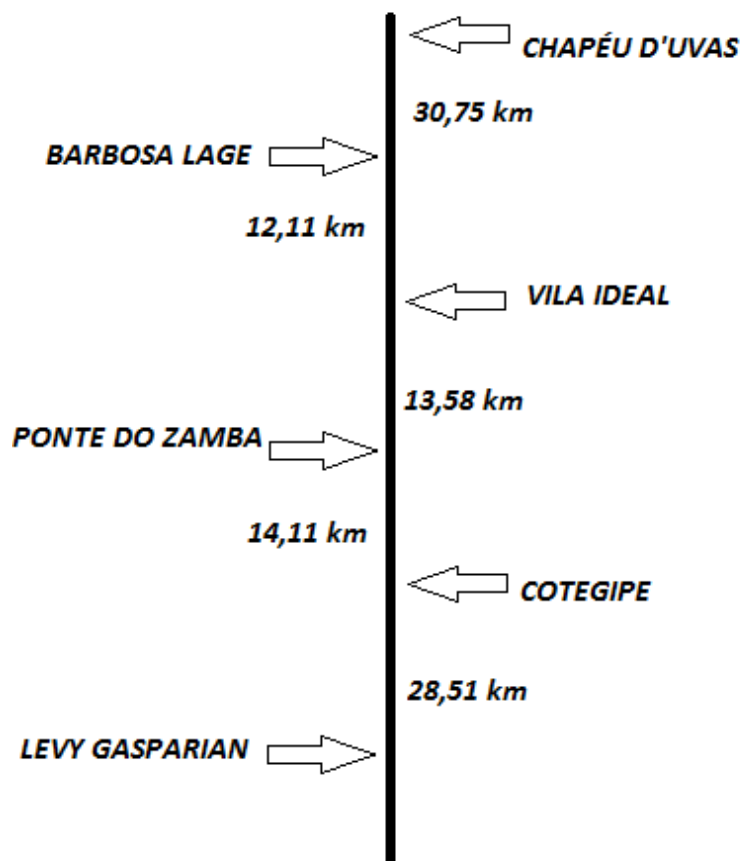


Figura 2 – Diagrama unifilar dos pontos de estudo do rio Paraibuna

O primeiro passo da pesquisa foi a determinação dos parâmetros hidráulicos do trecho em estudo, através da obtenção dos coeficientes de descarga calculados em função da vazão média ( $Q$ ) relacionada com a profundidade e velocidade. A equação da profundidade ( $H$ ) e da velocidade ( $V$ ) são apresentadas a seguir.

$$H = \alpha \cdot Q^\beta \quad (1)$$

$$V = a \cdot Q^b \quad (2)$$

Onde:

$Q$  = vazão ( $m^3/s$ ) e

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$  e  $b$  = coeficientes de descarga (adimensional).

Os dados para a obtenção dos coeficientes de descarga foram obtidos através das estações fluviométricas operadas pela ANA - Agência Nacional de Águas, no Sistema de Informações Hidrológicas na plataforma HydroWeb, onde é possível ter acesso as séries históricas de vazões e descargas, desde o início do funcionamento da estação até dezembro do ano de 2005. Ao longo do

trecho de estudo existem três estações fluviométricas, sendo elas e seus respectivos códigos; Chapéu D'Uvas (58470000), Juiz de Fora – Jusante (58480500) e Sobraji (58520000).

O fato de existir um número limitado de estações forçou a aproximação dos coeficientes de acordo com as características semelhantes dos trechos onde esses foram possíveis de ser calculados, sendo os dados da forma como foram utilizados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos trechos

Trecho / Afluente	Distância (km)	Velocidade		Profundidade		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	
		Coefficiente a	Coefficiente b	Coefficiente $\alpha$	Coefficiente $\beta$	08/03/2010	08/04/2011
Chapéu D'Uvas	55,10	0,3946	0,2148	0,3919	0,4763	14,000	10,016
Barbosa Lage	85,85	0,2584	0,3247	0,2466	0,5121	14,000	22,293
Vila Ideal (JF Jusante)	97,96	0,2584	0,3247	0,2466	0,5121	23,400	26,628
Ponte do Zamba	111,54	0,2584	0,3247	0,2466	0,5121	25,000	29,267
Cotegipe	130,21	0,0370	0,6053	0,4953	0,3670	73,040	99,000
Levy Gasparian	158,72	0,0370	0,6053	0,4953	0,3670	156,040	201,097

O início da pesquisa foi a coleta de amostras nos pontos de estudo do rio Paraibuna. Esta foi realizada em duas datas: uma no dia oito de março de dois mil e dez e outra no dia oito de abril de dois mil e onze, com resultados de DBO e OD apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados da campanha

Seção de Monitoramento	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	
	08/04/2011	08/03/2010	08/04/2011
Chapéu D'Uvas	0,5	7,23	7,26
Barbosa Lage	0,8	6,22	7,05
Vila Ideal	5,1	4,43	4,91
Ponte do Zamba	2,0	8,11	8,44
Cotegipe	1,3	7,59	7,83
Levi Gasparian	0,7	8,47	8,23



De acordo com estes dados foi possível calibrar o modelo, de forma a permitir a simulação da qualidade da água em termos destes dois parâmetros.

A qualidade da água está sendo avaliada em função da quantidade de oxigênio dissolvido, portanto um ponto importante da modelagem é a determinação dos coeficientes de desoxigenação (K1), reaeração (K2) e decomposição da DBO no rio (Kd).

O coeficiente de desoxigenação K1, indica a taxa com que o oxigênio dissolvido é consumido no meio aquático pela decomposição aeróbica do substrato orgânico biodegradável por micro-organismos. Para se obter um valor preciso de K1 seria preciso análises laboratoriais. Não sendo possível obter este valor experimental, foi adotado o valor de 0,157 presente no trabalho de BONSANTO & RIBEIRO, 2010, onde a base para avaliação dos valores de K1 foi a utilização do método dos mínimos quadrados. Logo poderá existir diferença entre o valor real e o valor adotado para o trecho em estudo.

O coeficiente de reaeração K2, indica a taxa com que o oxigênio da atmosfera se dissolve na água do rio através da interface ar-água. O valor de K2 foi obtido segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água através da equação 3.

$$k_2 = 3,93 \cdot v^{0,5} \cdot H^{-1,5} \quad (3)$$

Onde:

v = velocidade do curso d'água (m/s) e

H = altura da lâmina d'água (m).

O coeficiente de decomposição da DBO no rio Kd, indica a taxa de decaimento da DBO nos rios. Seu valor foi calculado em função da vazão pela equação 4 para H entre 0,3 e 10m e Q entre 0,15 e 250 m<sup>3</sup>/s.

$$kd = 1,8 \cdot Q^{-0,49} \quad (4)$$

Onde:

kd = coeficiente de decomposição ( d<sup>-1</sup> )

#### 4 – RESULTADOS

Calibrado o modelo obteve-se os seguintes gráficos mostrando o comportamento dos níveis de OD e DBO ao longo do trecho estudado.

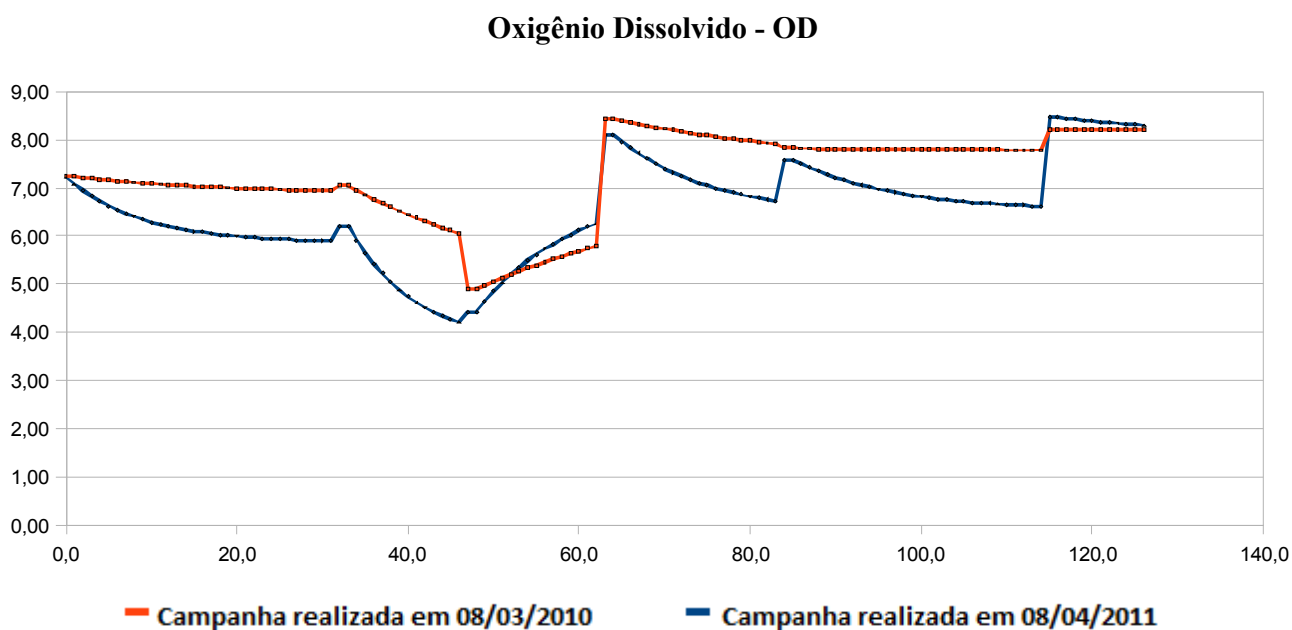


Figura 3 – Oxigênio Dissolvido (OD) – Campanha em 08/03/2010 e 08/04/2011

As variações dos níveis de OD são justificadas em cada trecho devido a interferência direta humana ou a mudanças do gradiente hidráulico do rio. No primeiro trecho entre as estações de Chapéu D'Uvas e Vila Ideal (JF Jusante) pode-se perceber a queda brusca dos níveis de OD justificada pelo grande volume de esgoto descarregado por todo o trecho urbano da cidade de Juiz de Fora, chegando no ponto a jusante da cidade a níveis consideravelmente baixos. A partir daí observa-se uma melhora acentuada dos níveis de OD esperada devido às características do terreno encachoeirado e cheio de pedras por onde o rio passa, além do complexo da usina hidrelétrica de Marmelos e suas quedas d'água. Em seguida o rio novamente apresenta uma redução nos níveis de OD agora justificado pela contribuição de esgoto não tratado da cidade de Matias Barbosa além de nova mudança nas características da calha que gera uma redução nos níveis de saturação do oxigênio dissolvido e reduz a capacidade de reaeração do rio. Em seguida o rio passa a receber contribuições dos seus três principais afluentes rio do Peixe, Preto e Cágado, que chegam com águas em igual, ou melhor, nível de qualidade ajudando apenas de forma positiva ao aumento dos índices de OD, gerando os últimos picos de melhora nos valores.

## Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

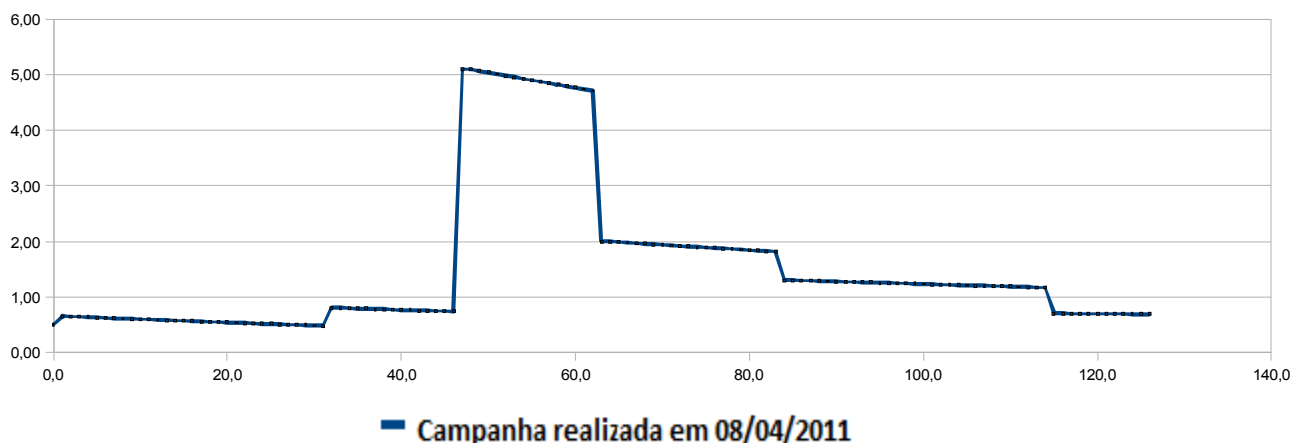


Figura 4 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) – Campanha em 08/04/2011

As variações dos níveis de DBO, principalmente na região de Vila Ideal, são esperadas por esta região está a jusante da cidade e receber praticamente toda a carga de efluentes urbanos.

A campanha do dia 08/04/2011 apresenta na região de Vila Ideal um aumento significativo de aproximadamente 4 mg/l. Posteriormente a este trecho observa-se um decréscimo de aproximadamente 3mg/l, fato este esperado devido ao processo de diluição provocado pela entrada de água dos dois grandes afluentes do rio Paraibuna.

## 5 – CONCLUSÃO:

Os resultados obtidos pela simulação das curvas de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio com o modelo de Streeter&Phelps apresentaram-se bem próximos aos esperados e podem ser considerados compatíveis as medições realizadas “in loco”.

Pela interpretação dos resultados, conclui-se que o rio Paraibuna possui grande capacidade de recuperação. Apesar da carga lançada de esgoto ser grande, rapidamente o curso d’água consegue se auto-depurar, restabelecendo seu equilíbrio. A declividade na região e a contribuição dos rios Peixe e Preto contribuíram para esta recuperação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Pró-Reitoria de Pesquisa –PROPESQ da Universidade Federal de Juiz de Fora, pela bolsa PROVOQUE/UFJF, gentilmente concedida, possibilitando a realização deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

BONSANTO, Aline Carvalho; RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. (2010). *Modelagem da Qualidade da Água no Rio Paraibuna – MG: aplicação do modelo QUAL2Kw*. Universidade Federal de Juiz de Fora.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2002). *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo, SP: Prentice Hall. 305 p.

IDE, Willian R.; RIBEIRO, Maria Lúcia. (2009). *Calibração do Modelo de Qualidade de Água QUAL-UFMG para o Rio Taquarizinho em período de estiagem*. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ). Disponível em: <<http://www.inga.ba.gov.br/modules/wordbook/entry.php?entryID=45>>. Acesso em 06 junho 2011.

SPERLING, M. V. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto*. ESA/UFMG, 2ªEd, v.1, 243p.

SPERLING, M. V. (2007). *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. DESA/UFMG, 1ªEd, v.7, 588p.