

# MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA PLANEJAMENTO EM GRANDES BACIAS

Dante Larentis<sup>1</sup>; Walter Collischonn<sup>2</sup>; Carlos E. M. Tucci<sup>3</sup> & Maria S. Cobalchini<sup>4</sup>

**Resumo** - Modelos de simulação hidrológica e de qualidade de água são ferramentas de grande utilidade na gestão dos recursos hídricos, especialmente quando é necessário representar as modificações dos sistemas naturais impostas pelo homem. A utilização destas ferramentas na análise dos impactos de obras individuais, como barragens, já é relativamente comum. Entretanto, existem casos em que os maiores impactos em uma bacia ocorrem pela construção de um conjunto de obras, cujo impacto, se considerado de forma individual, pode ser pequeno. Este artigo apresenta um modelo hidrológico distribuído que, através de um módulo de qualidade, representa a geração, o transporte e os processos cinéticos dos parâmetros DBO, OD, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Coliformes Fecais, em uma grande bacia (>10.000 km<sup>2</sup>). O modelo está sendo aplicado à bacia do rio Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul, onde existem séries de 10 anos de dados destes parâmetros, em 10 pontos de amostragem ao longo do rio. Com base nestes dados os parâmetros do modelo estão sendo calibrados. O desenvolvimento do modelo prossegue, incorporando os processos hidrológicos e de transporte em reservatórios, com o objetivo de analisar o impacto do conjunto de obras hidráulicas planejadas para a bacia.

**Abstract** - Hydrologic and water quality models has been widely used tools to support the water resources management, mainly when it is necessary to represent the human made changes upon the natural environment. The use of these tools to access the individual structures impacts, like dams, is already relatively usually. However, there are situations where the greater impacts occur by construction of a set of structures, which effect may be considered small if it was regarded independently. This paper presents a distributed hydrologic model, which through a water quality module, perform the BOD, DO, Total Nitrogen, Total Phosphorus and Fecal Coliform Bacteria parameters transport and kinetic processes over the stream channel in large catchments

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Fone: (51)3316 6327, Fax: (51)3316 7292, [dlarentis@terra.com.br](mailto:dlarentis@terra.com.br), bolsista CAPES.

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Fone: (51)3316 6408, Fax: (51)3316 7292 [cllschnn@vortex.ufrgs.br](mailto:cllschnn@vortex.ufrgs.br)

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Fone: (51)3316 6408, Fax: (51)3316 7292 [tucci@iph.ufrgs.br](mailto:tucci@iph.ufrgs.br)

<sup>4</sup> Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique L. Roessler - Fepam, RS; Fone: (51)3225 1588, [msaletec@fepam.rs.gov.br](mailto:msaletec@fepam.rs.gov.br)

(>10.000Km<sup>2</sup>). The model is being applied to the Taquari-Antas river basin, in Rio Grande do Sul, whence there are 10 year data series of the parameters above, in 10 sites over the river. Based on these data the model parameters are being fitted. The model continues to be developed, incorporating the hydrologic and transport processes in reservoirs, aiming to access the set of hydraulic structures planned to the watershed.

**Palavras-chave** - qualidade de água, modelo matemático distribuído, fontes de poluição.

## INTRODUÇÃO

Modelos hidrológicos matemáticos buscam representar de maneira simplificada o comportamento de um determinado sistema, fornecendo respostas as diferentes entradas e condições de contorno que possam ocorrer. Tais modelos podem ser classificados quanto à consideração da variabilidade espacial do sistema, como concentrados ou distribuídos. Os modelos concentrados não levam em conta a variabilidade do sistema, enquanto que nos modelos distribuídos, as variáveis e parâmetros dependem do espaço (Tucci, 1998).

As fontes de poluição em uma bacia hidrográfica também podem ser classificadas em função de sua distribuição no espaço, como fontes pontuais ou não pontuais. As fontes denominadas pontuais são caracterizadas por uma descarga concentrada, em que a qualidade do efluente depende da origem da poluição, se industrial ou doméstica. Já as fontes não pontuais são caracterizadas pela origem difusa da poluição, e o volume e a qualidade da água do escoamento superficial que chega aos corpos d'água são fortemente dependentes do tipo e uso do solo na bacia hidrográfica (Huber, 1993).

Por serem de difícil identificação e controle, ocorrerem de forma intermitente no tempo e variável no espaço, e pelo potencial poluidor que se tem atribuído hoje às cargas não pontuais ou difusas (Thomann e Mueller, 1987; Duda, 1993), é importante que um modelo matemático consiga representar estas fontes de poluição hídrica em conjunto com as fontes pontuais. Além disso, quando o sistema em estudo é uma bacia hidrográfica que, além da variabilidade espacial natural de suas variáveis, apresenta variabilidade de uso do solo e de fontes poluidoras, é necessário um modelo do tipo distribuído que permita a representação destas condições. Por fim, se o objetivo da simulação é analisar os impactos de não apenas uma, mas de um conjunto de obras distribuídas em toda a bacia, a utilização de um modelo distribuído torna-se imperativa.

Neste trabalho apresenta-se, de forma preliminar, o desenvolvimento de um modelo de simulação de qualidade de água acoplado a um modelo hidrológico distribuído, e os primeiros

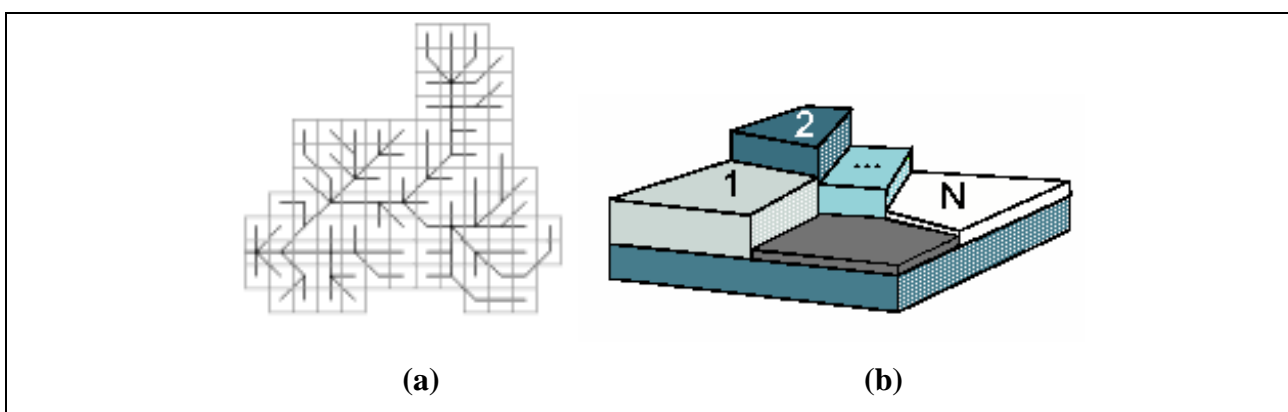
resultados da aplicação deste modelo na bacia do rio Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul. O modelo é composto por um módulo de quantidade e um módulo de qualidade de água. O módulo de quantidade de água está baseado no modelo hidrológico de grandes bacias descrito por Collischonn e Tucci (2001). O módulo de qualidade de água contempla as fontes de poluentes pontuais e não pontuais, e o transporte e os processos cinéticos dos poluentes ao longo dos rios da bacia. Também são apresentados os primeiros resultados da aplicação deste modelo na bacia do rio Taquari-Antas, onde está sendo iniciada a construção de um grande número de barragens e reservatórios para aproveitamento hidrelétrico.

## METODOLOGIA

O modelo é composto basicamente por uma parte responsável pela simulação hidrológica, denominada de *módulo de volume* e outra que trata a qualidade da água na bacia, rios e reservatórios, ou seja, o *módulo de qualidade*.

### Módulo de volume

O módulo de volume compreende a geração e propagação de escoamento na bacia e a conseqüente propagação pela rede de drenagem. O modelo desenvolvido por Collischonn (2001) divide a bacia hidrográfica em células quadradas, com dimensão da ordem de 10 x 10 Km (figura 1a). Cada célula, por sua vez, é dividida em blocos, definidos pela cobertura vegetal, pela capacidade de armazenamento de água no solo e outros parâmetros (figura 1b) (Collischonn e Tucci, 2001).



**Figura 1:** Subdivisão de uma bacia em células ligadas pela rede de drenagem (a) e da célula em n blocos, de acordo com o uso do solo (b) (Collischonn e Tucci, 2001).

Os volumes drenados de cada bloco da célula são somados segundo seu tipo, subterrâneo, sub-superficial, e superficial, e propagados até a rede de drenagem.

As células em que é dividida a bacia no modelo estão ligadas pela rede de drenagem e cada célula escoar para uma de suas oito vizinhas. A propagação na rede de drenagem é realizada através do método de Muskingun-Cunge linear (Cunge, 1969; Tucci, 1998).

### Módulo de qualidade

Através do módulo de qualidade o modelo representa a geração de cargas poluentes difusas e pontuais na bacia e seu transporte ao longo dos cursos d'água, levando-se em conta os processos cinéticos que aí ocorrem, para cada um dos parâmetros considerados.

A geração de cargas difusas, ou não pontuais, está associada ao escoamento superficial calculado no módulo de volumes, para cada um dos blocos em que são divididas as células. Para cada um dos blocos é atribuída uma concentração de poluentes, de acordo com o uso do solo. Já aos escoamentos sub-superficial e subterrâneo, calculados pelo módulo de volume, é atribuída uma concentração nula de poluentes.

A concentração de poluentes no escoamento superficial é definida de acordo com dados de cargas difusas que podem ser obtidos na literatura, como os apresentados na tabela 1 (Lima, 1998).

**Tabela 1:** Valores típicos de cargas anuais de poluentes carregados por escoamento difuso (Lima, 1998).

Uso do solo		DBO (kg/há.ano)	Coliformes (NPM/ha.ano)	Nitrogênio (Kg/ha.ano)	Fósforo (kg/ha.ano)
Agrícola	Variação	4 a 31		0,1 a 13	0,18 a 1,62
	Valor médio	18	$2,51 \times 10^{13}$		1,05
Pasto	Variação	6 a 17		2 a 12	0,10 a 2,10
	Valor médio	11,5	$2,63 \times 10^{15}$	6,2	0,5
Floresta	Variação	2 a 7	NP	3 a 13	0,03 a 0,9
	Valor médio	5			0,10
Urbano	Variação	28 a 96		3,2 - 18	1,1 a 5,6
	Valor médio	50	$1,5 \times 10^9$	8,5	2,0

As cargas poluentes geradas por descargas industriais e de efluentes domésticos, quando lançadas diretamente para o rio principal ou seus tributários, são consideradas e incluídas no modelo como fontes pontuais. Todas as unidades industriais cadastradas em uma bacia são incorporadas ao modelo, incluindo os dados de localização, vazão efluente e concentração dos diversos parâmetros simulados. Da mesma forma, todos os núcleos populacionais urbanos são incorporados, incluindo também os dados de localização, vazão efluente e concentração dos poluentes. No próximo item, em que é apresentada a aplicação do modelo à bacia do rio Taquari-Antas, é detalhada a metodologia utilizada para as cargas de poluentes.

Considera-se no modelo que todas as cargas de poluentes que atingem a rede de drenagem são misturadas de forma instantânea. Da mesma forma, considera-se que a mistura de dois cursos de água em uma confluência ocorra de forma instantânea. Para representar o processo de transporte ao longo da rede de drenagem é utilizado um modelo para escoamento não permanente que despreza a dispersão, conforme a equação 1.

$$\frac{\partial(A\bar{C})}{\partial t} + \frac{\partial(A\bar{u}\bar{C})}{\partial x} = S(k) \quad (1)$$

O significado dos termos da equação 1 é o seguinte:  $A$  é a área da seção molhada;  $\bar{C}$  a concentração média do parâmetro analisado;  $\bar{u}$  é a velocidade média do fluxo na seção;  $x$  a distância e  $t$  o tempo; e  $S(k)$  representa, para cada constituinte  $k$ , as perdas e ganhos (processos cinéticos) ao longo do curso d'água.

A hipótese de dispersão nula é válida para rios rápidos, em que a velocidade da água e os processos advectivos (segundo termo do lado esquerdo da equação 1) dominam o processo de transporte. Em bacias com rios lentos de planície ou em estuários a dispersão não pode ser desprezada e, conseqüentemente, o modelo não pode ser aplicado (Thomann e Mueller, 1987).

A equação 1 é resolvida numericamente através de um esquema implícito, que pode ser aplicado trecho a trecho, de montante para jusante (equação 2).

$$\frac{A_{i+1}^{t+1} \cdot C_{i+1}^{t+1} - A_{i+1}^t \cdot C_{i+1}^t}{\Delta t} + \left[ \theta \cdot \frac{(Q_{i+1}^{t+1} \cdot C_{i+1}^{t+1} - Q_i^{t+1} \cdot C_i^{t+1})}{\Delta x} + (1-\theta) \cdot \frac{(Q_{i+1}^t \cdot C_{i+1}^t - Q_i^t \cdot C_i^t)}{\Delta x} \right] = S_{i+1}^{t+1} \quad (2)$$

Na equação 2  $A$  é a área da seção transversal ( $m^2$ );  $C$  é a concentração ( $mg.l^{-1}$ );  $Q$  é a vazão ( $m^3.s^{-1}$ ); o índice  $i$  refere-se à seção transversal do rio a montante do trecho; o índice  $i+1$  refere-se à seção transversal do rio a jusante do trecho; o índice  $t$  refere-se ao intervalo de tempo atual e o índice  $t+1$  ao próximo intervalo;  $S_k$  é o termo que representa as perdas e ganhos do parâmetro de qualidade considerado;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo de cálculo (s) e  $\Delta x$  é o comprimento do trecho de rio (m). Os termos  $Q$  e  $A$ , resultantes do módulo de quantidade, são conhecidos em todas as seções e em todos os intervalos de tempo. A concentração  $C$  é conhecida no intervalo de tempo  $t$  em todas as seções e no intervalo de tempo  $t+1$  apenas na seção  $i$ . Os únicos termos desconhecidos na equação 2 são a concentração  $C$  no tempo  $t+1$  na seção  $i+1$ , e o termo  $S$ . Este último termo, porém, é uma função linear de  $C_{i+1}^{t+1}$  e, portanto, a solução da equação 2 pode ser obtida diretamente para a concentração  $C_{i+1}^{t+1}$ .

Cada parâmetro de qualidade possui uma equação específica para representar os processos cinéticos (perdas e ganhos) que ocorrem ao longo do curso d'água, como apresentado nas equações 3 a 7.

$$SDBO_{i+1}^{t+1} = -(K1 + K3) \cdot C_{i+1}^{t+1} \cdot A_{i+1}^{t+1} \quad (3)$$

$$SN_{i+1}^{t+1} = 0 \quad (4)$$

$$SP_{i+1}^{t+1} = -K3 \cdot C_{i+1}^{t+1} \cdot A_{i+1}^{t+1} \quad (5)$$

$$SOD_{i+1}^{t+1} = -K1 \cdot C_{DBO_{i+1}}^{t+1} \cdot A_{i+1}^{t+1} + K2 \cdot (C_{ODsat_{i+1}}^{t+1} - C_{OD_{i+1}}^{t+1}) \cdot A_{i+1}^{t+1} \quad (6)$$

$$SP_{i+1}^{t+1} = -Kcol \cdot C_{i+1}^{t+1} \cdot A_{i+1}^{t+1} \quad (7)$$

onde K1 é o coeficiente de decaimento da DBO; K3 é o coeficiente de sedimentação; K2 é o coeficiente de reoxigenação; e Kcol é o coeficiente de decaimento dos coliformes totais.

Estimativas de valores dos coeficientes K1, K2, K3 e Kcol podem ser obtidas na literatura, como em Thomann e Mueller, (1987). Além disso, é necessário incluir o efeito da temperatura sobre estes parâmetros, que pode ser representado pela equação 8, onde K é o coeficiente original, Kt é o coeficiente corrigido pela temperatura e T é a temperatura em graus Celsius.

$$Kt = K \cdot 1,047^{(T-20)} \quad (8)$$

## APLICAÇÃO E RESULTADOS

### A bacia do rio Taquari-Antas

A bacia do Sistema Taquari-Antas situa-se a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, limitando-se ao Norte com a bacia do rio Pelotas, a Oeste com a bacia do rio Jacuí, ao Sul com as bacias dos rios Jacuí e Caí e a Leste com as escarpas da Serra Geral (Magna, 1997). O rio das Antas nasce no extremo Leste da bacia hidrográfica e tem uma extensão de 390 Km até a confluência com o rio Guaporé, de onde segue por mais 140 Km com o nome de Taquari, até desembocar no rio Jacuí. Os seus principais afluentes são os rios Camisas, Tainhas, Lajeado Grande, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim.

Com uma área de drenagem de 26.536 Km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 9% do território do Estado, a bacia do Taquari-Antas abrange totalmente ou parcialmente 120 municípios, com uma população na bacia de aproximadamente 1.208.000 habitantes, representando em torno de 18% da população do Estado.

Observa-se um gradiente decrescente dos valores médios anuais de precipitação no sentido de montante para jusante do rio Taquari-Antas, estando a média pouco acima de 1700 mm. A vazão média de longo período, medida no posto mais próximo a foz, é de 633,21 m<sup>3</sup>/s, com uma descarga específica respectiva de 23 l.s<sup>-1</sup>.Km<sup>2</sup> (Magna, 1997).

Um inventário hidrelétrico da bacia (CEEE, 1993) identificou a possibilidade de construção de um grande número (56) de aproveitamentos hidrelétricos na bacia, sendo que seis deles já estão em fase de construção ou operação. Os estudos de impacto ambiental deverão exigir uma análise do efeito do reservatório e da barragem sobre a qualidade da água para cada um destes aproveitamentos individualmente. Entretanto, não é realizado um estudo do impacto do conjunto de reservatórios sobre os sistemas naturais e conseqüente qualidade das águas da bacia.

Uma das regiões mais desenvolvidas no Estado está na bacia do rio Taquari-Antas, o chamado Aglomerado Urbano do Nordeste, formado por municípios como Caxias do Sul, Bento Gonçalves e Farroupilha. Outros centros urbanos importantes são os municípios de Lajeado, Estrela e Santa Cruz do Sul.

Atividades agroindustriais estão bastante presentes na bacia, como na região de Santa Cruz do Sul, com a indústria do fumo, na região de Caxias do Sul e Bento Gonçalves, com a indústria do vinho e também no Vale do Taquari, com a indústria de carnes e derivados, da avicultura e pecuária leiteira (Magna, 1997). Também há uma forte presença de indústria metal-mecânica na região de Caxias do Sul e da indústria de couros, distribuída em boa parte da bacia.

Quanto a infra-estrutura regional, a área abrangida pela bacia do Taquari-Antas é bem servida de vias de transporte, serviços de comunicação em geral e distribuição de energia elétrica, havendo ainda alguma deficiência nos serviços de saneamento básico, especialmente no que se refere a sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários (Magna, 1997).

### **Modelo de cargas poluentes na bacia**

Na bacia do rio Taquari-Antas o escoamento superficial é predominante em relação aos outros tipos de escoamento (sub-superficial e subterrâneo). Isto se deve às características físicas da bacia, especialmente o relevo, a geologia e a litologia. De acordo com os resultados do modelo hidrológico calibrado e verificado para o período de 11 anos de dados entre 1970 e 1980, a fração de escoamento superficial da bacia é de, aproximadamente, 80% (Collischonn e Tucci, 2001), o que corresponde a, aproximadamente,  $20 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ . Em áreas urbanas o escoamento superficial é ainda maior, chegando a  $25 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ , de acordo com os resultados do modelo hidrológico. Em outras palavras, o escoamento superficial anual médio na bacia do rio Taquari-Antas é da ordem de 6,3 milhões de litros por hectare. Dividindo os valores da tabela 1 por este valor médio de escoamento anual, obtém-se os valores da tabela 2, já convertidos para unidades de miligramas por litro ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), exceto para coliformes (número mas provável em 100mL), mais usualmente utilizadas para estes poluentes.

**Tabela 2:** Concentração de poluentes no escoamento superficial estimada para a bacia do rio Taquari Antas a partir dos dados revisados por Lima (1998).

Uso do solo		DBO (mg/L)	Coliformes (NMP/100mL)	Nitrogênio (mg/L)	Fósforo (mg/L)
Agrícola	Variação	0,6 a 5,0	-	0,02 a 2,10	0,03 a 0,26
	Valor médio	2,8	$4,0 \times 10^5$	-	0,17
Pasto	Variação	0,9 a 2,7	-	0,3 a 1,9	0,02 a 0,33
	Valor médio	1,8	$4,1 \times 10^7$	1,0	0,08
Floresta	Variação	0,3 a 1,1	-	0,5 a 2,1	0,01 a 0,14
	Valor médio	0,8	-	-	0,02
Urbano	Variação	3,6 a 12,2	-	0,4 a 2,3	0,14 a 0,71
	Valor médio	6,3	$1,9 \times 10^1$	1,1	0,25

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água superficial foi considerada igual a 80% da concentração de saturação.

A carga de poluentes do esgoto cloacal é considerada proporcional à população urbana encontrada em cada célula do modelo. Para isto foram incluídas as populações de todos os municípios, localizados na bacia pelas suas sedes. O consumo de água por habitante nestas cidades foi considerado constante e igual a  $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e a fração da água que retorna na forma de esgoto cloacal foi considerada igual a 80% em todas as cidades. As concentrações de poluentes assumidas no esgoto cloacal correspondem às concentrações normalmente utilizadas em dimensionamento de estações de tratamento de esgotos, dadas na tabela 3.

**Tabela 3:** Concentrações de poluentes no esgoto cloacal assumidas no modelo da bacia do rio Taquari Antas.

DBO ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	Nitrogênio ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	Fósforo ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	Coliformes (NMP.l <sup>-1</sup> )	OD (% da concentração de saturação)
200	30	12	$1,0 \times 10^7$	0,0

Estudos anteriores da bacia mostram que praticamente não existe tratamento de esgotos cloacais nas cidades da bacia. Por isto, as concentrações adotadas no modelo foram iguais às de esgoto cloacal não tratado. É possível que esta hipótese leve à superestimativa da carga destes poluentes nos cursos d'água próximos às pequenas cidades (menos de 10.000 habitantes), porque nestas cidades normalmente é utilizado o tratamento preliminar por fossas e sumidouros, com razoável eficiência. Já em cidades maiores o tratamento com fossa e sumidouro não pode ser considerado eficiente, e a hipótese adotada é mais realista.



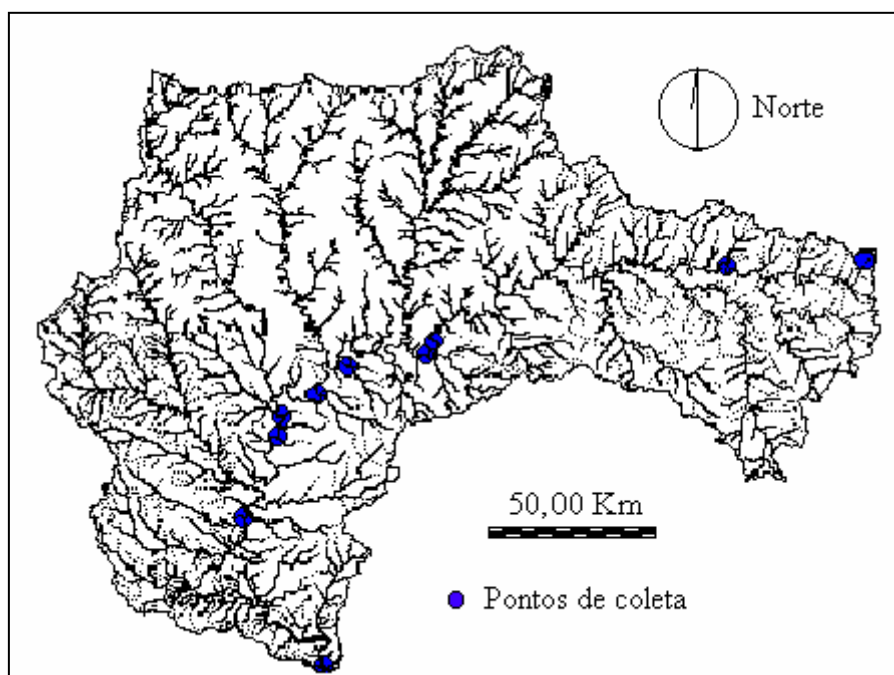
As indústrias mais importantes do ponto de vista do potencial poluidor foram consideradas no modelo de fontes pontuais. Os dados de localização, tipo de atividade e vazão de efluentes foram obtidos de um inventário realizado na bacia (Magna, 1997). A concentração de poluentes foi relacionada ao tipo de atividade de acordo com a tabela 4 (Lima, 1998).

### Ajuste do modelo no perfil longitudinal do rio

A Fundação de Proteção Ambiental do RS (FEPAM) coleta amostras de água do rio Taquari-Antas, para análises de qualidade, em intervalos trimestrais. Estas coletas são realizadas em 10 pontos localizadas ao longo do rio principal, como mostra a figura 2. A primeira etapa da aplicação do modelo de qualidade de água na bacia do rio Taquari-Antas buscou reproduzir de forma aproximada os dados observados nestes locais de amostragem. Para atingir este ajuste foram alterados e testados valores dos coeficientes K1, K3 e Kcol, e foram definidas as concentrações de poluentes no escoamento superficial dos diferentes usos do solo (poluição difusa). Os valores adotados após esta etapa são dados na tabela 5.

**Tabela 4:** Concentração de poluentes em efluentes industriais, conforme o tipo de atividade industrial.

Tipo	DBO (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	Coliformes (NMP/l)
Couros	210	3,3	2	1,00E+07
Bebidas	350	10	1	1,00E+06
Têxtil	22	27,5	1,2	8,00E+07
Alimentos	260	30	5	7,00E+07
Química	146	27,5	1,1	1,00E+04
Metal	10	2,6	0,6	1,00E+04
Papel	250	10	1,2	1,00E+04
Utilidade Pública	300	30	10	7,00E+07

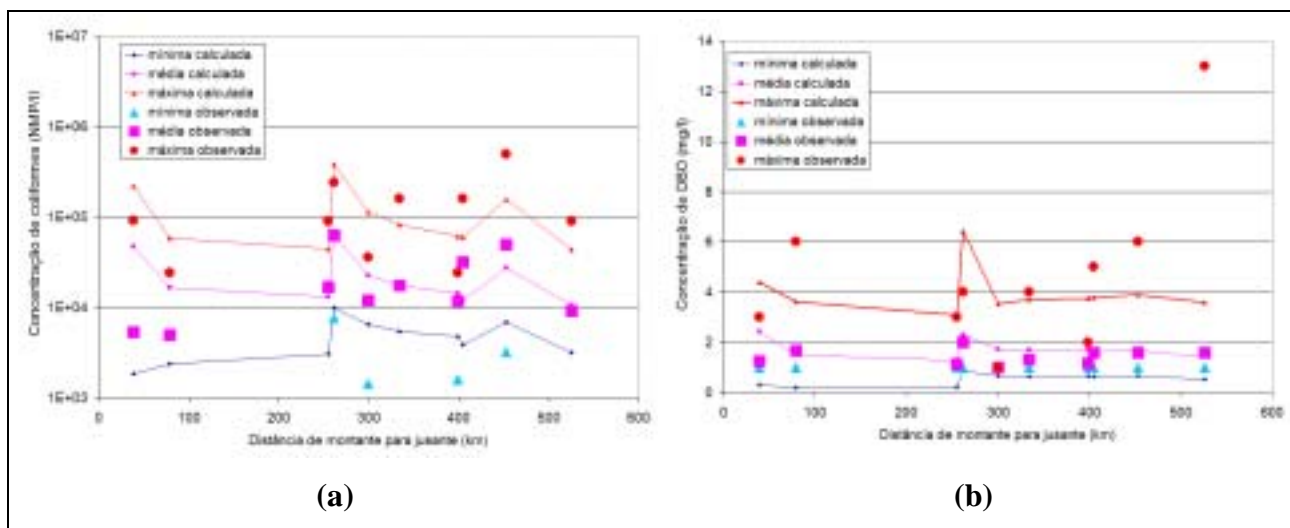


**Figura 2:** Localização dos pontos de amostragem de qualidade de água na bacia do rio Taquari-Antas.

**Tabela 5:** Valores de concentração de poluentes no escoamento superficial utilizados na simulação da bacia do rio Taquari-Antas.

Uso do solo	DBO (mg/l)	Nitrogênio (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Coliformes (NPM/l)
Agrícola	6	0,8	0,15	1e3
Pasto	2,7	0,8	0,10	1e3
Floresta	1,1	0,8	0,08	0.0
Urbano	12,2	2,2	0,7	1e3

As figuras 3 e 4 apresentam os perfis longitudinais de concentrações máximas, médias e mínimas calculadas e observadas para os parâmetros de qualidade Coliformes Totais, DBO, nitrogênio total e oxigênio dissolvido.

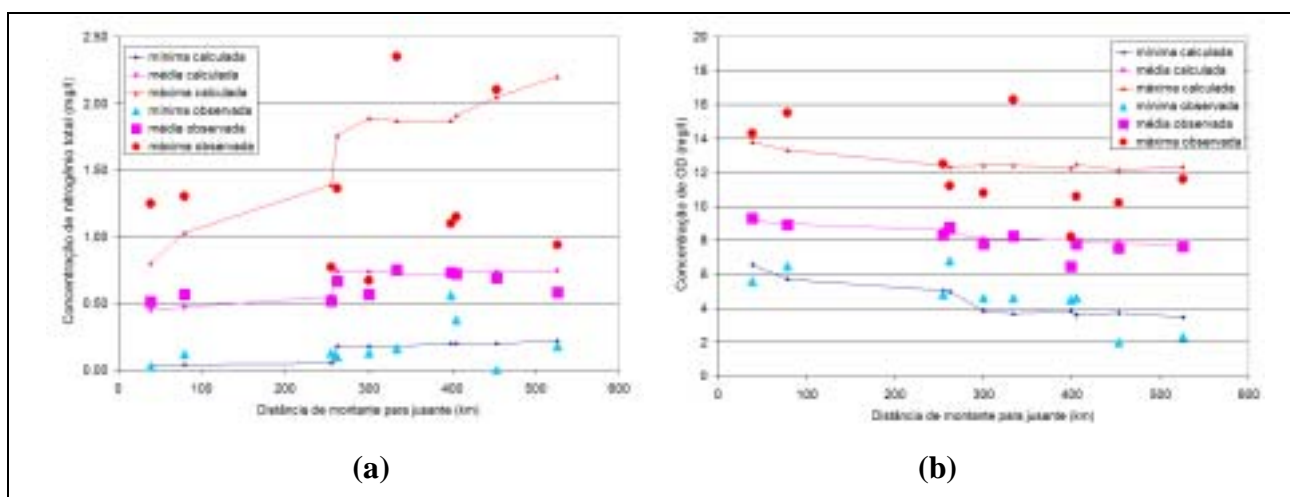


**Figura 3.** Concentrações observadas e calculadas de Coliformes (3a) e DBO (3b) ao longo do rio Taquari-Antas.

### Discussão dos resultados

As figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos na etapa de ajuste do modelo de qualidade de água na bacia do rio Taquari-Antas. Observa-se que os principais aspectos da variabilidade dos parâmetros de qualidade ao longo do eixo principal do rio Taquari Antas são bem representados.

A figura 3 mostra que existe um crescimento súbito dos valores de Coliformes Totais e DBO entre os Km 200 e 300. Este crescimento corresponde ao local de afluição do Rio Taquari-Antas com o Arroio Tega, que drena a cidade de Caxias do Sul, que é o maior centro urbano e industrial da bacia.



**Figura 4:** Concentrações observadas e calculadas de Nitrogênio (4a) e OD (4b) ao longo do rio Taquari-Antas.

Outro centro urbano e industrial está entre os Km 400 e 500, e corresponde às cidades de Lajeado, Estrela, Arroio do Meio e Bom Retiro do Sul. O efeito deste centro pode ser observado nos perfis de concentração de Coliformes Totais observados e calculados (figura 3a).

A figura 4b mostra as concentrações de oxigênio dissolvido ao longo do rio Taquari-Antas. Observa-se nesta figura que existe uma tendência decrescente de montante para jusante, nos valores máximos médios e mínimos, calculados e observados. Esta tendência decrescente ocorre tanto pelo maior aporte de DBO, que consome o oxigênio, como pela tendência de aumento de temperatura da água e, portanto, diminuição da concentração de saturação de oxigênio, de montante para jusante.

Nas próximas etapas do trabalho os valores calculados e observados serão comparados ao longo do tempo, buscando verificar como o modelo está representando as situações típicas de cheias e de estiagens.

## CONCLUSÕES

O modelo ajustado com os dados dos 10 postos de coleta apresentou resultados aceitáveis para valores médios dos parâmetros, acompanhando nestes locais as tendências de pico dos valores observados.

Podemos observar que os valores gerados pelo modelo mostram coerência com a tendência decrescente dos valores observados de concentração de OD ao longo do curso do rio.

A estes resultados estão associadas as incertezas provenientes, tanto do módulo que trata da parte qualitativa quanto das propagadas pelo módulo de volume, em função da qualidade e disponibilidade dos dados de entrada, das características do próprio modelo e da estimativa e variabilidade natural de seus parâmetros.

Conclui-se que, mesmo tendo-se adotado uma discretização espacial com células de 100 Km<sup>2</sup> e dispondo-se apenas de dados trimestrais dos parâmetros de qualidade, o modelo responde adequadamente, em termos de valores médios, ao simular a qualidade da água na bacia.

Este modelo, ainda em fase de ajuste e implementação, deve contemplar também a propagação de escoamento e o transporte e decaimento de poluentes em reservatórios. Com uma discretização temporal de 1 dia, o modelo poderá simular a qualidade da água ao longo do tempo em pontos de interesse. Desta forma, poderão ser analisados na bacia, tanto períodos específicos de cheia ou estiagem, quanto cenários de desenvolvimento e exploração de seu potencial energético, auxiliando no gerenciamento de seus recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEEE, 1993, Inventário Hidrelétrico da Bacia do Taquari-Antas, Vol. 1, To. 1, RS.
- COLLISCHONN, W. 2001 Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de Doutorado. IPH UFRGS.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. 2001 Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6 No. 1.
- CUNGE, J. A. 1969 On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). Journal of Hydraulic Research, Vol. 7 No. 2 pp. 205-230.
- DUDA, A. M., 1993, Addressing Nonpoint Sources of Water Pollution Must Become an International Priority, Water Science and Technology, Vol 28. No 3-5, UK.
- HUBER, W. C. 1993 Contaminant transport in surface water. In: MAIDMENT, D. R. (editor) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill. New York.
- LIMA, L. C. T. M., 1998, Simulação da Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica: Aplicação a Bacia do Rio Curu (CE), Dissertação de Mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- MAGNA, 1997, Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Sistema Taquari-Antas, Relatório Técnico, v. 1, Tomo I e II, Brasil.
- THOMANN e MUELLER, 1987, Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row, New York.
- TUCCI, C. E. M. , 1998, Modelos Hidrológicos, 2ª edição, Editora da UFRGS, Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W., 2003, Desenvolvimento e Aplicação de Modelo Matemático como Base para Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, IPH-UFRGS, Relatório Parcial 2., Brasil.