

## IV-001 - MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO IBICUI

### **Maria do Carmo Cauduro Gastaldini<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela UFSM. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Adjunta do Departamento de Hidráulica e Saneamento - Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Santa Maria.

### **Gilson Fernando Ferreira Seffrin**

Engenheiro Civil pela UFSM. Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFSM.

### **Márcio Ferreira Paz**

Engenheiro Civil pela UFSM. Mestrando em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFSM.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Appel, 655/303 – Santa Maria – RS - CEP: 97015-030 - Brasil - Tel: +55 (xx) 220-8423 – Fax: +55 (xx) 220-8030 - e-mail: [mcarmo@ct.ufsm.br](mailto:mcarmo@ct.ufsm.br).

### **RESUMO**

A bacia hidrográfica objeto deste estudo é a do Rio Ibicuí, principal afluente da margem esquerda do Rio Uruguai em território brasileiro. A base econômica da população é a agropecuária. O consumo industrial de água é insignificante. Nesta área estão localizados vinte e um municípios de pequeno e médio porte com área urbana na bacia, e que a utilizam para lançamento de esgotos domésticos e disposição de resíduos sólidos. O modelo QUAL2E foi utilizado para estudar a variação do conteúdo orgânico e bacteriológico face as fontes de poluição pontuais e difusas na bacia do Rio Ibicuí. As variáveis de qualidade da água simuladas foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes fecais. O modelo foi calibrado para dois cenários de vazão: média e alta. As concentrações de oxigênio dissolvido observadas e calculadas, nos dois eventos simulados, superaram o limite de 6 mg/L, estabelecido para a Classe 1, da Resolução 20/86 do CONAMA, resultantes das baixas cargas orgânicas afluentes, confirmadas pelos baixos valores de DBO, que também ficaram dentro da Classe 1 desta Resolução, 3 mg/L. As concentrações de coliformes fecais situaram-se, na maioria dos pontos dentro dos limites da classe 2 da Resolução 20/86 do CONAMA, 1000 NMP/100mL. A análise dos dois cenários de vazão simulados mostrou um aumento do conteúdo orgânico e bacteriológico com a diminuição da vazão, mostrando o maior efeito deletério sobre a qualidade dos recursos hídricos das cargas pontuais de esgotos domésticos do que das cargas difusas agropecuárias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da Água, Modelagem Matemática, Modelo QUAL2E

### **INTRODUÇÃO**

Modelos de qualidade da água de rios visam descrever as alterações espaciais e temporais de constituintes selecionados. Desde o desenvolvimento do clássico modelo de OD e DBO, Streeter e Phelps, em 1925, vários componentes ou variáveis de estado foram gradualmente incorporadas nos modelos a quase oito décadas seguindo a evolução dos problemas de qualidade da água. Estes modelos podem caracterizar oxigênio dissolvido/carga orgânica, nutrientes/eutrofização, materiais tóxicos, etc. Incluem extensa faixa dos mais simples, tipo Streeter-Phelps com duas variáveis de estado até o QUAL2E e semelhantes que descrevem ciclos de O, N e P, modelos de ecossistemas, que podem considerar sólidos suspensos, várias espécies de algas zooplâncton, invertebrados, plantas e peixes.

A escolha do modelo depende de muitos fatores tais como: os objetivos da análise, a disponibilidade de dados e o tempo de resposta. Dentre os objetivos, duas categorias gerais são distinguidas: entendimento/pesquisa e gerenciamento/prática. Rauch (1998) compara os programas de computador, disponíveis atualmente, os parâmetros de qualidade da água modelados, e suas limitações.

O modelo mais conhecido, dentro da nova geração, é o modelo QUAL2E, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (USEPA), o qual representa em maior profundidade os ciclos do oxigênio, nitrogênio e fósforo na água (Brown & Barnwell (1987)).



O objetivo deste trabalho é utilizar o modelo QUAL2E para estudar a variação do conteúdo orgânico e bacteriológico face as fontes de poluição pontuais e difusas na bacia do Rio Ibicuí.

## **CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia hidrográfica objeto deste estudo é a do Rio Ibicuí, principal afluente da margem esquerda do Rio Uruguai em território brasileiro. Esta bacia situa-se entre as coordenadas geográficas 28° 30' e 31° de latitude sul e 53° 30' e 57° de longitude oeste, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, envolvendo uma superfície de 47.021 km<sup>2</sup>.

A base econômica da população residente é a agropecuária, destacando-se a criação de bovinos de corte, ovinocultura e o cultivo de arroz irrigado, que constitui o principal uso da água. O consumo industrial de água é insignificante, quando comparado com as demandas de água para irrigação. Nesta área estão localizados vinte e um municípios com área urbana na bacia, ou que a utilizam para captação de águas para abastecimento público e/ou para lançamento de esgotos e disposição de resíduos sólidos. O abastecimento doméstico de água é feito por captações superficiais e subterrâneas.

Os municípios com área urbana na bacia são de pequeno e médio porte; e embora na maioria os sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e de resíduos sólidos seja precário, não constituem as atividades de maior responsabilidade pela contaminação dos recursos hídricos. Sob o ponto de vista de contaminação orgânica, avaliada através da DBO, 44% da carga potencialmente poluidora dos recursos hídricos da área em estudo, é gerada por atividades de pecuária, 24% devida a disposição de resíduos sólidos e 12 % a esgotos sanitários.

Os animais de grande e pequeno porte são responsáveis pela geração de 78 % da carga total de coliformes fecais seguida dos esgotos sanitários com 22%.

## **CALIBRAÇÃO DO MODELO**

### **• Metodologia de calibração**

O sistema fluvial do Rio Ibicuí modelado possui uma extensão de 350 Km e inicia no Rio Ibicuí-Mirim, seu formador, até a sua confluência com o Rio Uruguai. A figura 1 mostra a bacia em estudo indicando as seções de amostragem de qualidade da água e estações fluviométricas.

O sistema foi dividido em sete trechos com características fisiográficas homogêneas. Os trechos foram subdivididos em elementos computacionais de comprimento igual a 5 Km. As seções de amostragem de qualidade de água, coincidiram, tanto quanto possível, com as estações fluviométricas existentes. Os dados de qualidade de água foram obtidos simultaneamente com os dados fluviométricos, em cada seção de amostragem. A figura 2 apresenta o sistema fluvial utilizado para a calibração.

As vazões dos cursos d'água, para cada dia de simulação, foram obtidas das curvas-chave apresentadas na Caracterização das Vazões do Rio Ibicuí/RS, de acordo com Paiva et al. (1999). Os dados de vazão, correspondentes ao período de 1942 à janeiro de 2000 foram provenientes da rede de estações fluviométricas operadas pela ANEEL. Determinou-se, com estes dados, os coeficientes das equações do modelo que representam a profundidade e velocidade em função da vazão.

Os dados de qualidade da água utilizados para a calibração do modelo foram oriundos de campanhas de amostragem de qualidade da água realizadas em 1998 (CRH/RS). São apresentados, neste trabalho, os resultados das simulações dos parâmetros de qualidade da água das campanhas de vazões altas, dias 05/01/1998, e de vazões médias, dia 20/09/1998. As figuras 3 e 4 mostram os perfis de vazões do Rio Ibicuí para os dias 05/01/1998 e 20/09/1998.

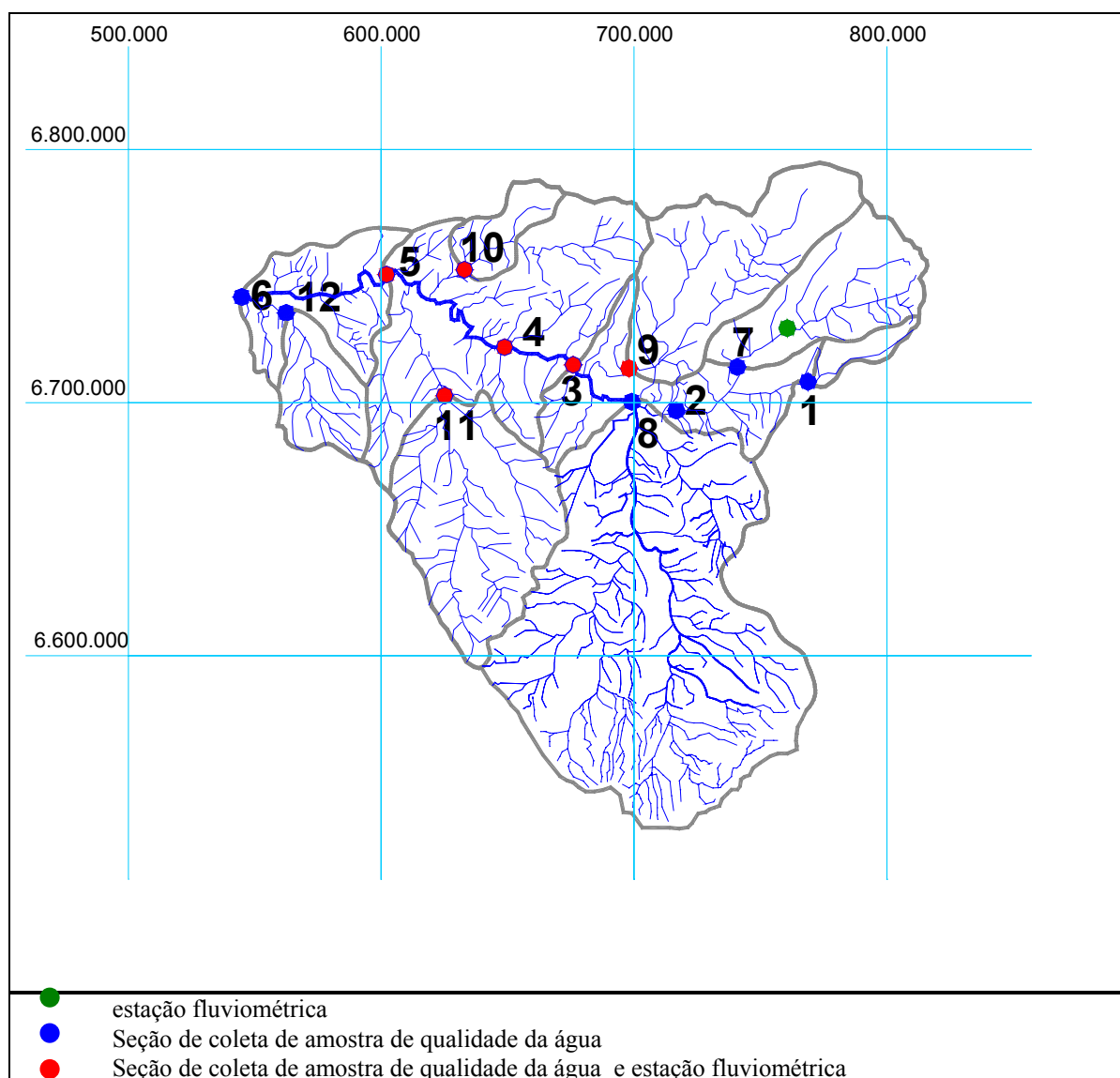
A calibração de cada variável simulada foi obtida a partir do ajuste da curva de resposta do modelo aos dados levantados em campo. Os constituintes calibrados foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes fecais.

• **Simulação do oxigênio dissolvido**

As Figuras 5 e 6 mostram as concentrações de oxigênio dissolvido observadas e calculadas, no trecho de 350 Km do Rio Ibicuí, nos dias 05/01/1998 e 20/09/1998, respectivamente.

Observou-se uma boa concordância entre os valores de oxigênio dissolvido calculados e observados, para os dois eventos simulados, resultando num coeficiente de correlação de 0,92.

As concentrações de OD foram elevadas em todos os pontos, superando sempre o limite mínimo de 6 mg/L especificado para a classe 1, da Resolução nº 20/86 do CONAMA, resultantes das baixas cargas orgânicas afluentes em toda a bacia, confirmadas pelos baixos valores de DBO (figuras 7 e 8).



**Figura 1: Seções de amostragem de qualidade da água e estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí**

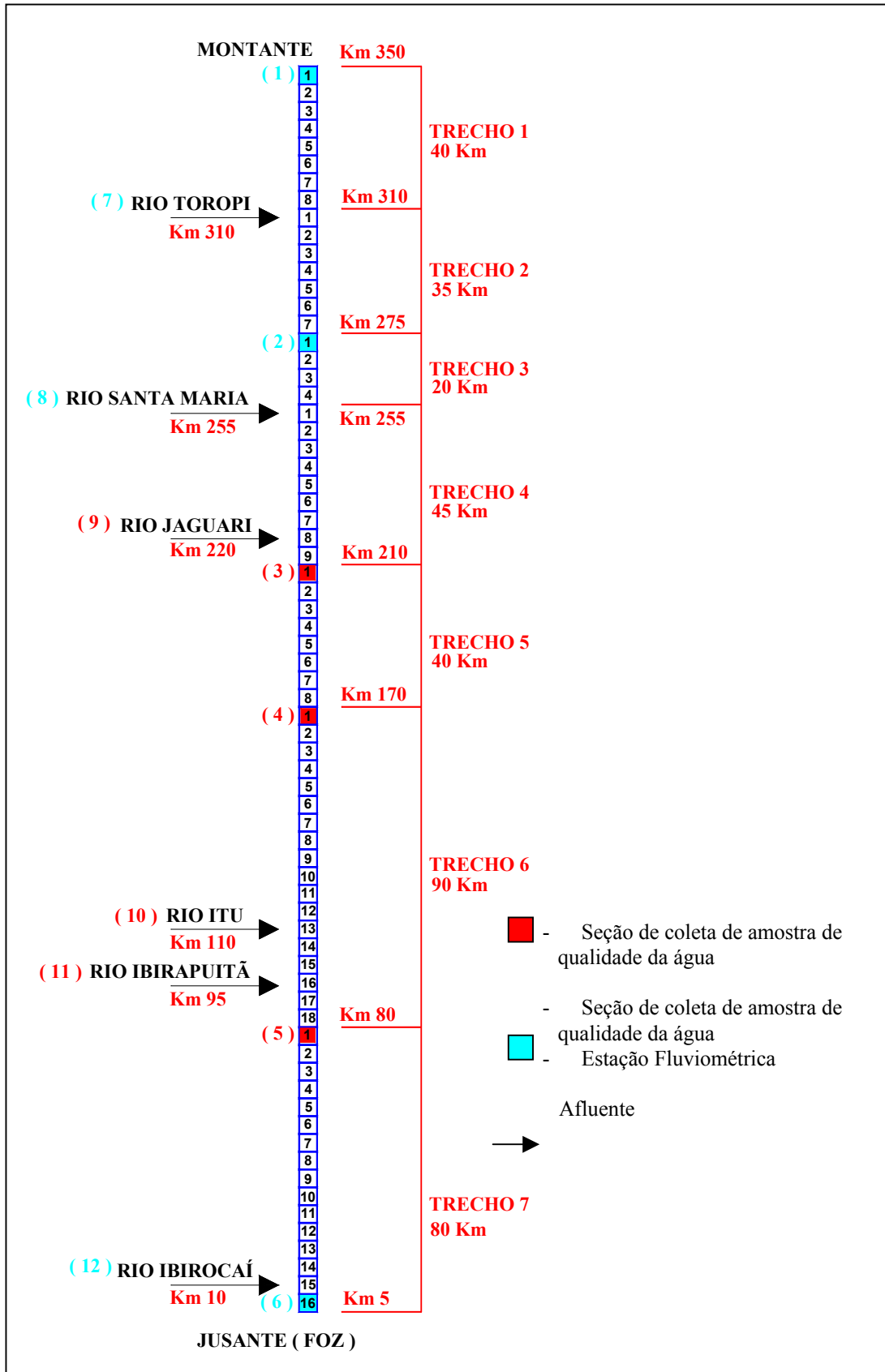


Figura 2: Sistema fluvial utilizado na calibração

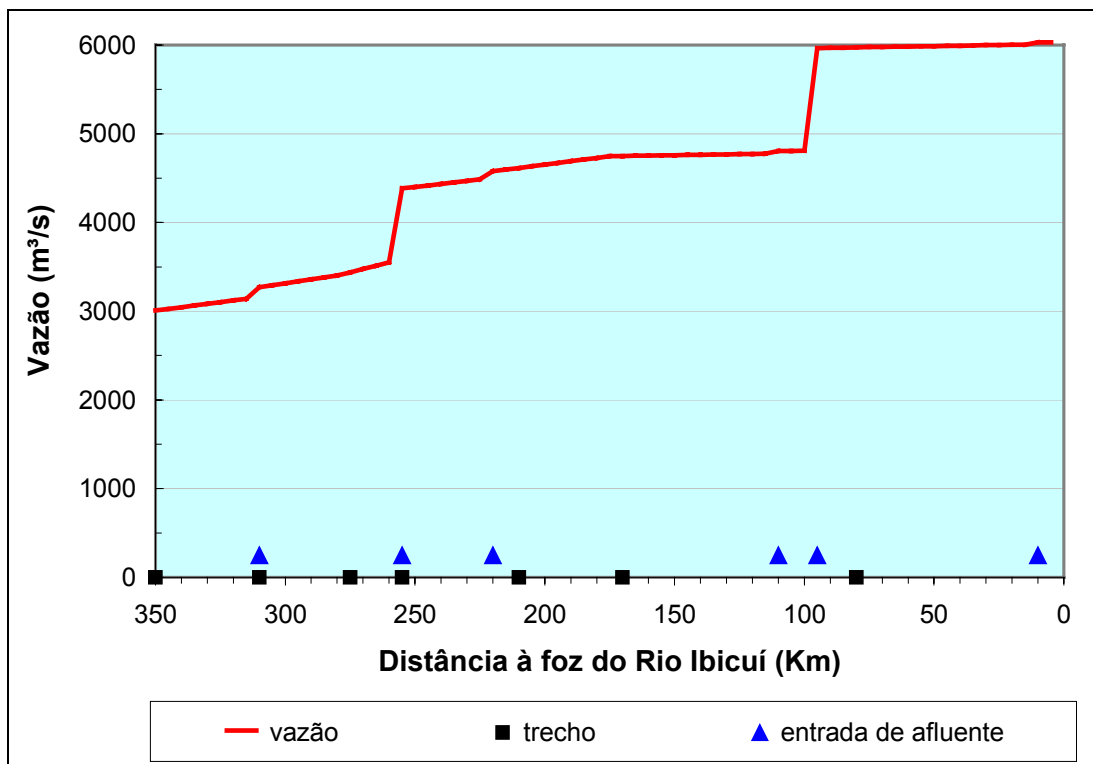


Figura 3: Perfil de vazões ao longo do Rio Ibicuí para o dia 05/01/1998

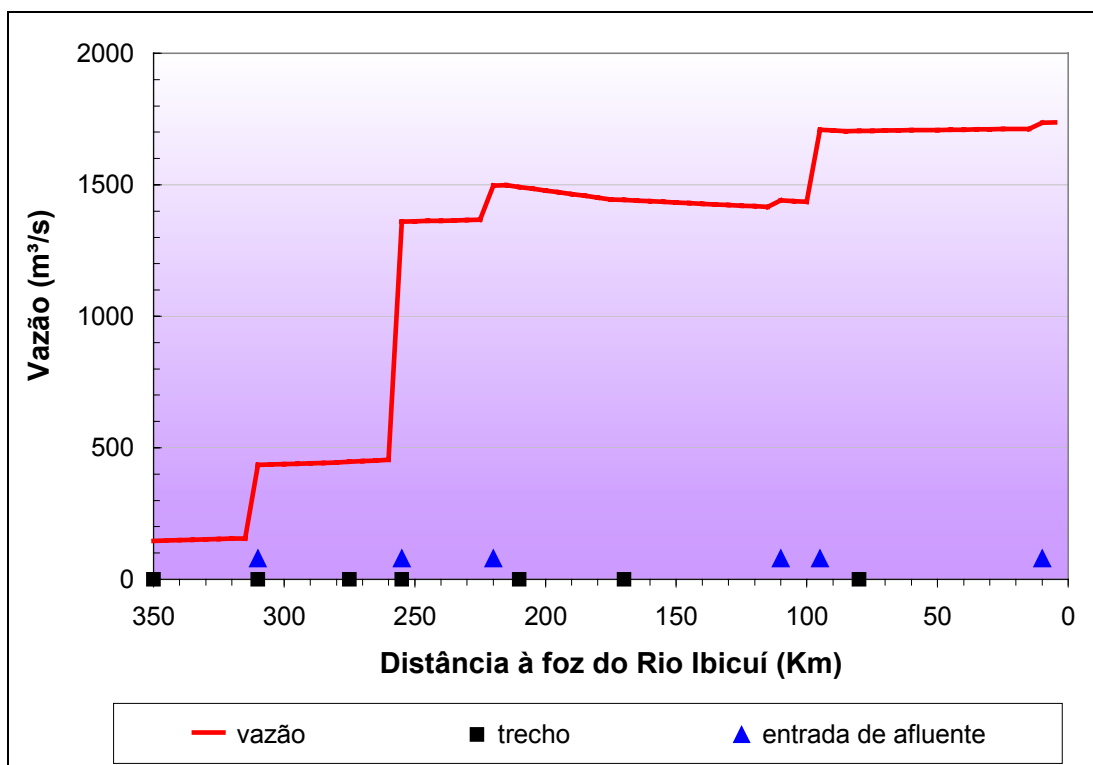


Figura 4: Perfil de vazões ao longo do Rio Ibicuí para o dia 20/09/1998

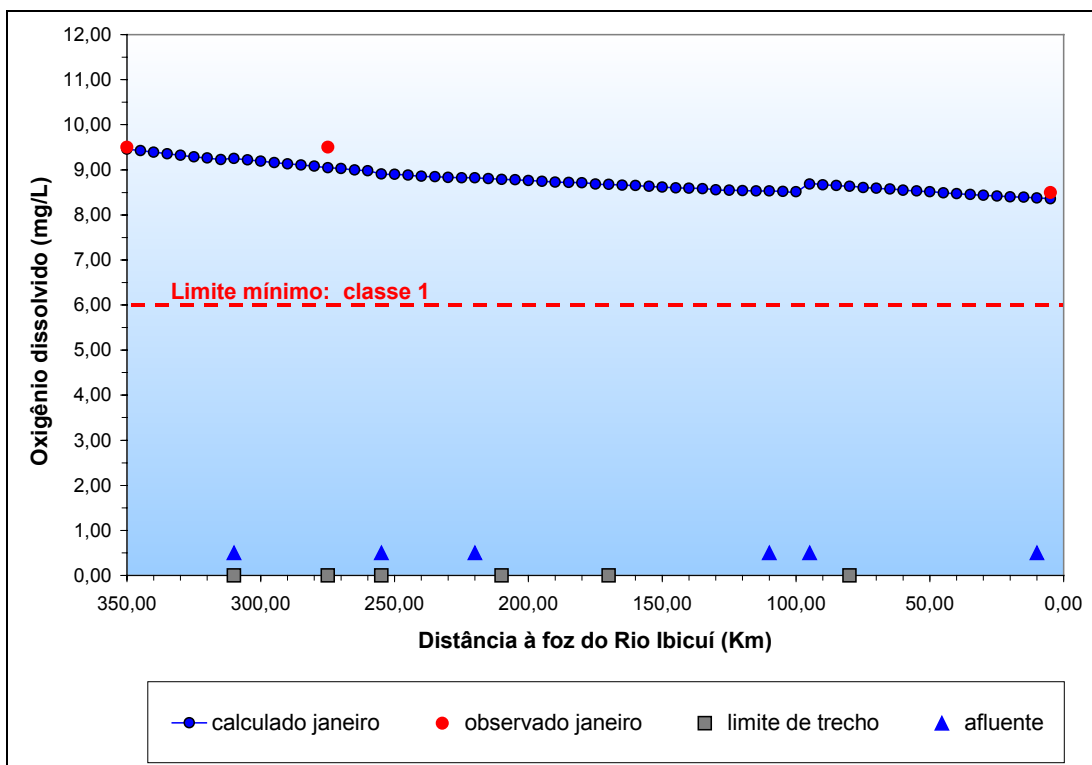


Figura 5: Calibração do oxigênio dissolvido para o Rio Ibicuí em 05/01/98

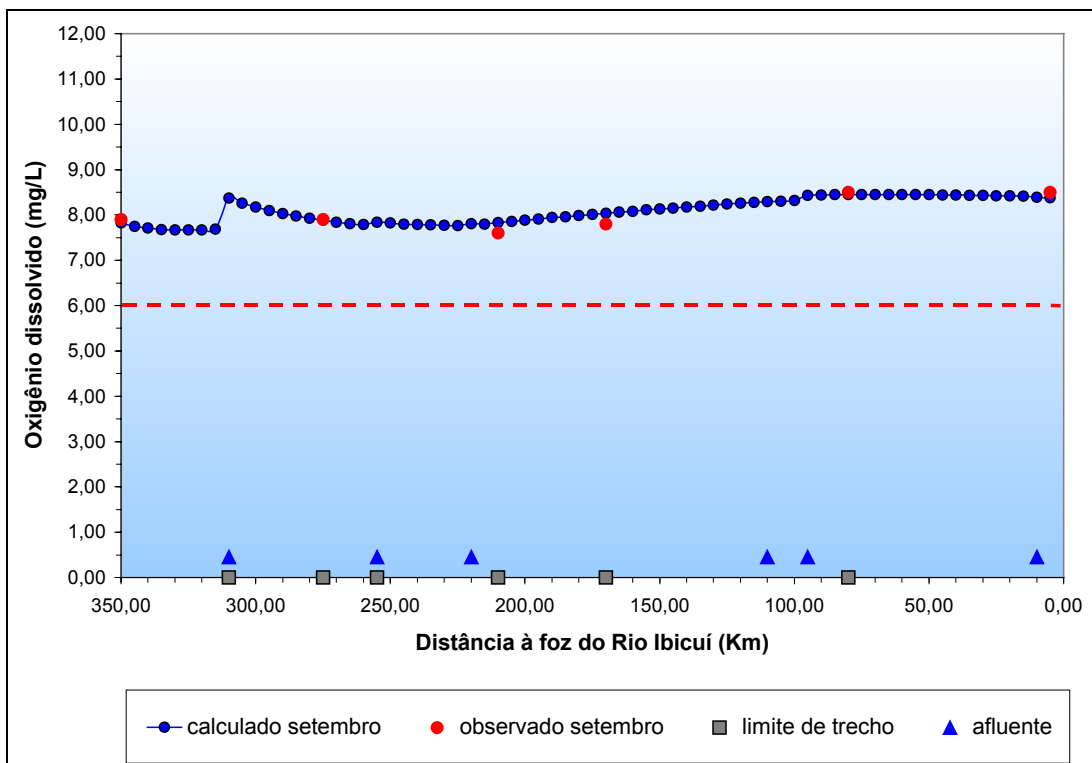


Figura 6: Calibração do oxigênio dissolvido para o Rio Ibicuí em 20/09/98



- **Simulação da demanda bioquímica de oxigênio**

As concentrações de DBO observadas e calculadas pelo modelo para os dois dias simulados, são apresentadas nas Figuras 7 e 8. A calibração da DBO apresentou dificuldades, constatada por vários pesquisadores. Shanahan et al. (1998) considera imprecisa a utilização da DBO como variável de estado, uma vez que o balanço de massa não pode ser fechado com precisão, pois não leva em conta toda a matéria orgânica biodegradável, não havendo também relação entre a coluna d'água e os sedimentos.

Em janeiro, ocorreram baixos valores de DBO, inferiores ao limite máximo especificado para a Classe 1, da Resolução nº 20/86 do CONAMA. Estes valores podem ser explicados pela intensa precipitação ocorrida, diluindo as cargas poluidoras afluentes.

Em setembro, os valores de DBO foram mais elevados, devido as menores vazões, entretanto, permaneceram inferiores ao limite máximo especificado para a Classe 1, da Resolução nº 20/86 do CONAMA. Observou-se que, tanto na calibração de janeiro como na de setembro, um decréscimo da concentração calculada em direção a foz, justificado pelas elevadas vazões do Rio Ibicuí. O coeficiente de correlação entre os valores calculados e observados, para a DBO, foi de 0,71.

- **Simulação dos coliformes fecais**

As Figuras 9 e 10 mostram as concentrações de coliformes fecais observadas e calculadas pelo modelo nos dois dias simulados. Em janeiro observou-se uma redução considerável da concentração de coliformes fecais em direção a foz do Rio Ibicuí, explicada pela intensa precipitação pluviométrica no período, com altas vazões e a conseqüente diluição progressiva ao longo do rio, mesmo após as entradas dos afluentes. A variabilidade na concentração de coliformes fecais observados foi de 3.484 NMP/100mL a 105 NMP/100mL variando, portanto, de imprópria a excelente para balneabilidade de acordo com a Resolução nº 20/86 do CONAMA. A elevada concentração de coliformes fecais na cabeceira foi devida a contribuição das lixívias dos resíduos sólidos do lixão de Santa Maria.

Em setembro, ao contrário, houve um aumento considerável nas concentrações de coliformes fecais em direção a foz, devido as menores vazões. A qualidade variou de excelente a satisfatória para a balneabilidade de acordo com a Resolução nº 20/86 do CONAMA. Houve boa concordância entre os resultados observados e calculados de coliformes fecais que apresentaram coeficiente de correlação de 0,81.

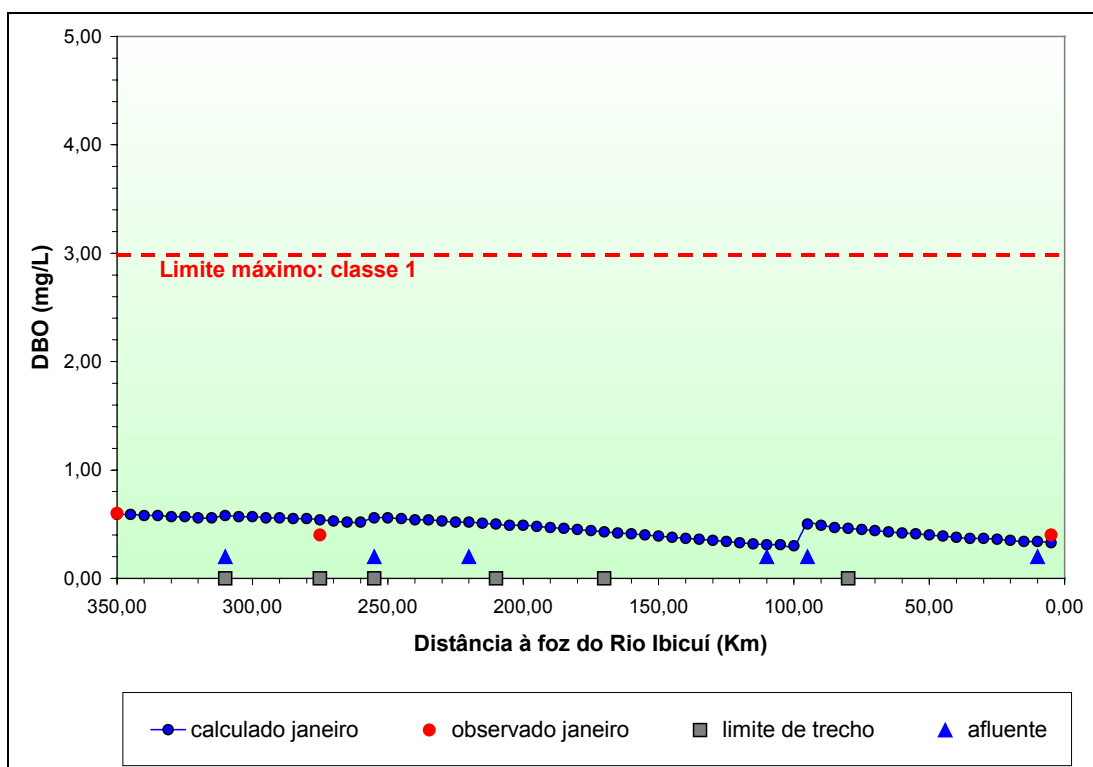


Figura 7: Calibração da demanda bioquímica de oxigênio para o Rio Ibicuí em 05/01/98

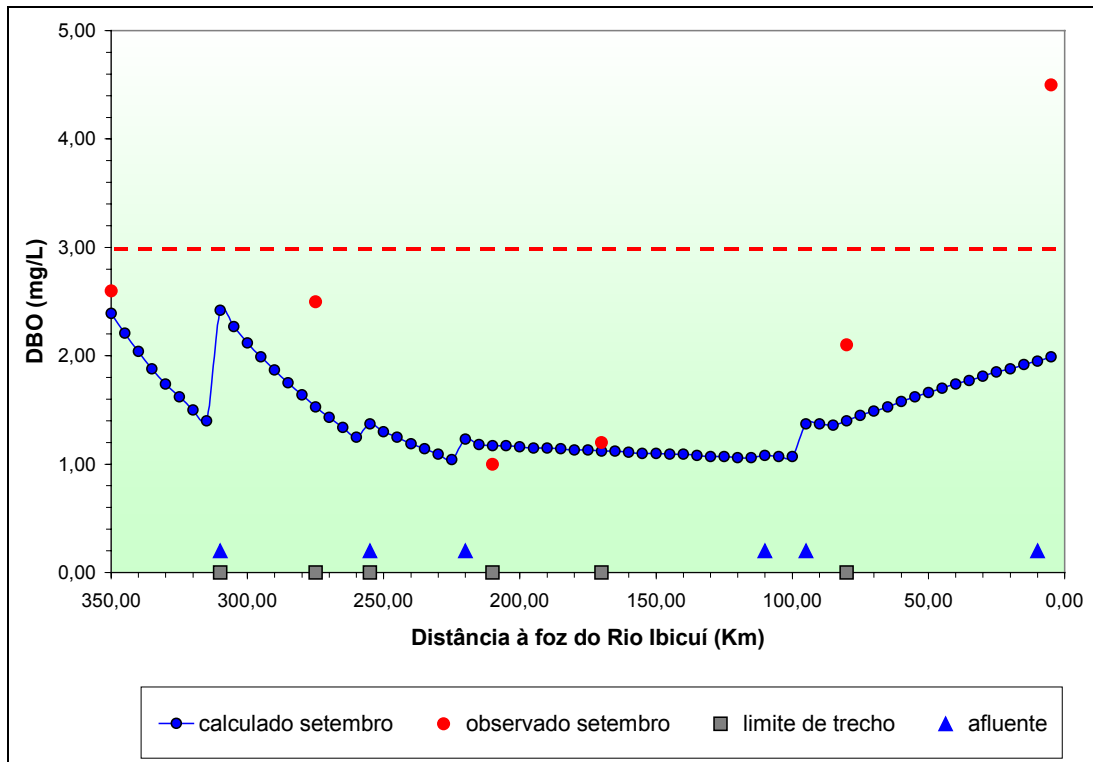


Figura 8: Calibração da demanda bioquímica de oxigênio para o Rio Ibicuí em 20/09/98



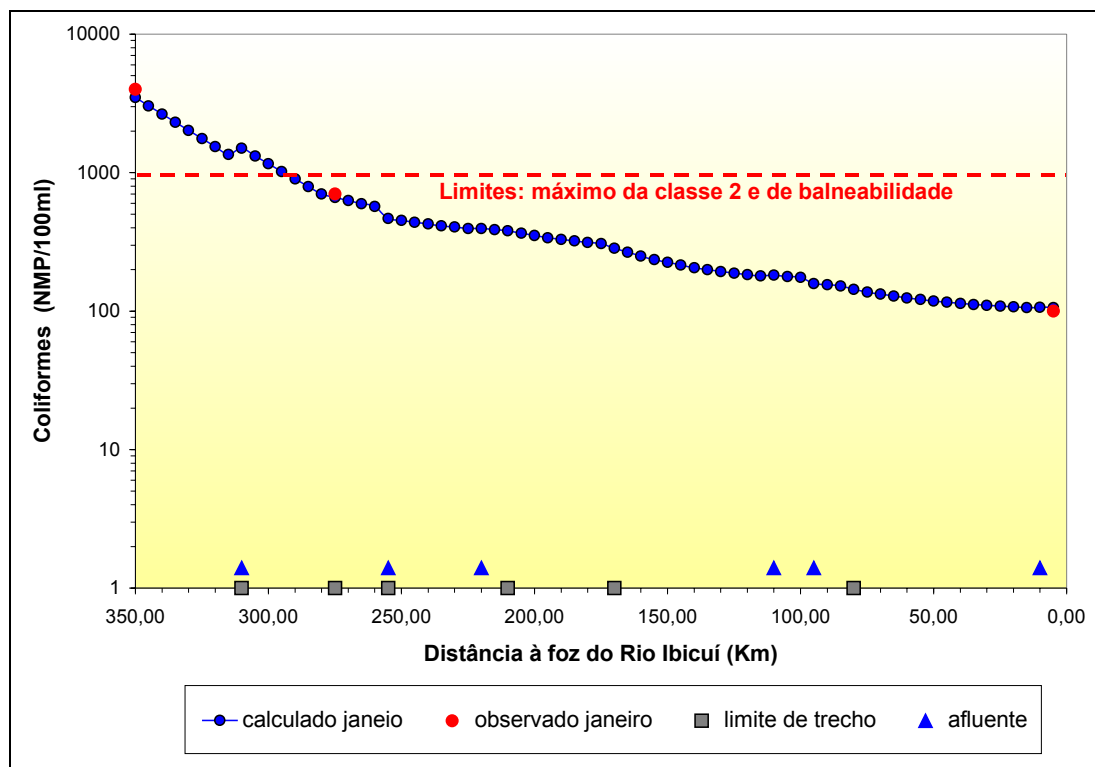


Figura 9: Calibração dos coliformes fecais para o Rio Ibicuí em 05/01/98

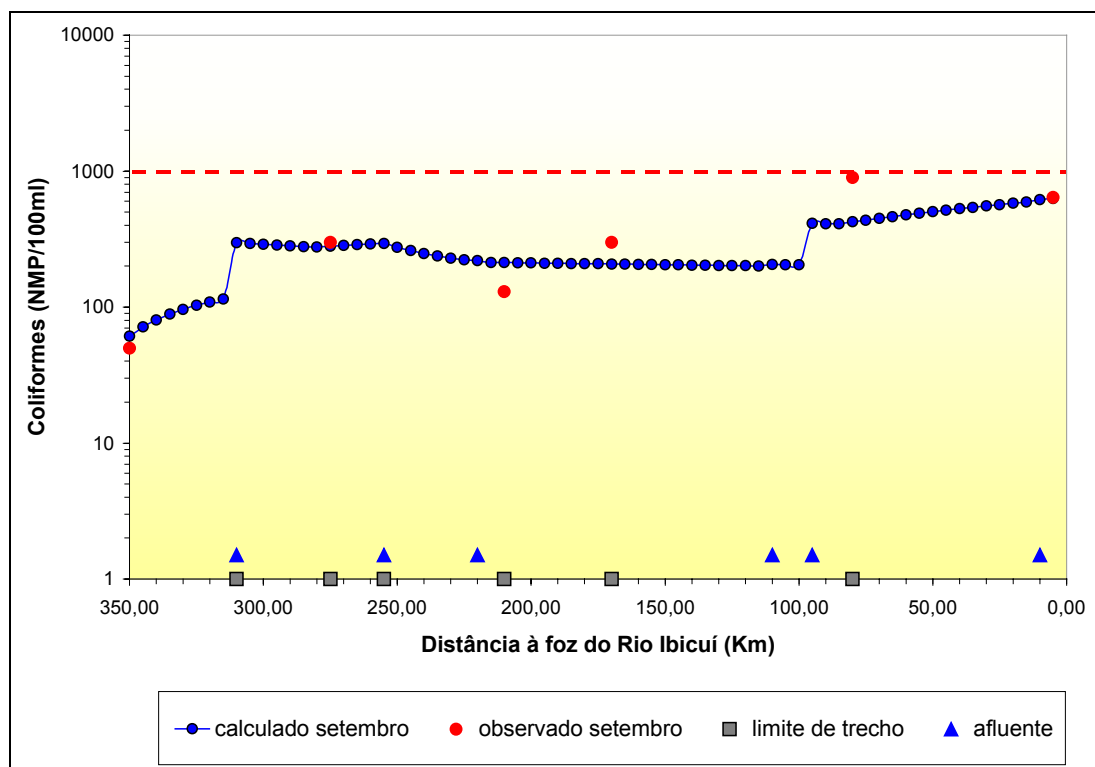


Figura 10: Calibração dos coliformes fecais para o Rio Ibicuí em 20/09/98



## CONCLUSÕES

O modelo QUAL2E foi utilizado para estudar a variação do conteúdo orgânico e bacteriológico face as fontes de poluição pontuais e difusas na bacia do Rio Ibicuí. As variáveis de qualidade da água simuladas foram oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes fecais. O modelo foi calibrado para dois cenários de vazão: média e alta. Das simulações podem ser obtidas as seguintes conclusões:

As concentrações de oxigênio dissolvido observadas e calculadas, nos dois eventos simulados, superaram o limite de 6 mg/L, estabelecido para a Classe 1, da Resolução 20/86 do CONAMA. As elevadas concentrações de OD calculadas nos dois períodos foram resultantes das baixas cargas orgânicas afluentes à bacia, confirmadas pelos baixos valores de DBO. O modelo apresentou boas previsões das concentrações de oxigênio dissolvido apresentando um coeficiente de correlação entre os resultados observados e calculados de 0,92.

A qualidade da água, com relação a DBO, também ficou dentro da Classe 1 da Resolução 20/86 do CONAMA, 3 mg/L. O coeficiente de correlação entre os valores calculados e observados, para a DBO, foi de 0,71.

As concentrações de coliformes fecais situaram-se, na maioria dos pontos dentro dos limites da classe 2 da Resolução 20/86 do CONAMA, 1000 NMP/100mL. As simulações de vazões médias apresentaram aumento das concentrações de coliformes fecais, principalmente na entrada dos afluentes que recebem lançamentos de esgotos domésticos. Houve boa concordância entre os resultados observados e calculados de coliformes fecais que apresentaram coeficiente de correlação de 0,81.

Analisando-se os dois cenários de vazão simulados, observou-se um aumento do conteúdo orgânico e bacteriológico com a diminuição da vazão. Conclui-se que, embora a contribuição das cargas difusas agropecuárias seja maior em termos de matéria orgânica e coliformes fecais do que as pontuais, o efeito deletério sobre a qualidade dos recursos hídricos é mais intensa a partir do lançamento dos esgotos sanitários, por estarem concentradas em pontos específicos da bacia e junto às áreas urbanas pois a totalidade dos municípios inseridos na bacia não dispõem de tratamento dos esgotos sanitários de forma adequada, enquanto que a carga oriunda dos animais é absorvida pelo solo e dispersa na extensa área de pecuária existente, sendo, portanto pouco concentrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BROWN, L.P. & BARNWELL, T.º The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user's manual Athens: EPA. 183 p., 1987.
2. CRH/RS: CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí : relatório do cenário atual. Porto Alegre, 1998a. 312 p.
3. CRH/RS: CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí : relatório do cenário futuro. Porto Alegre, 1998b. 82 p.
4. PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Caracterização das vazões do Rio Ibicuí/RS - XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 1999. Anais. Belo Horizonte, 1999.
5. RAUCH, W. et al. River water quality modelling: I. State of the art. Water Science Technology, v.38, n.11, pp. 237-244., 1998.
6. SHANAHAN, P.; HENZE, M.; KONCSOS, L. *et al.* River water quality modeling: II. Problems of the art. Water Science Technology, v.38, n. 11, p. 245-252, 1998.