

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. CALIBRAÇÃO DO MODELO

O modelo foi calibrado efetuando-se simulações do parâmetro “Oxigênio Dissolvido” – OD – até a obtenção de uma combinação ótima dos coeficientes de reação. Os fatores mais relevantes na alteração do nível de OD no rio são a “Demanda Bioquímica de Oxigênio” – DBO – e a “Demanda Sedimentar de Oxigênio” – SOD – devida aos sedimentos orgânicos, como fontes de promoção de *déficit* de OD. Em contrapartida, a reaeração atmosférica aparece como principal fonte de abastecimento de oxigênio ao sistema.

A Tabela 5 apresenta a combinação final entre os coeficientes de reação utilizada na simulação escolhida como calibração do modelo. Esta foi obtida após 16 tentativas, atingindo boa coerência com os dados observados.

Tabela 5: Coeficientes da calibração do modelo.

<b>SIMULAÇÃO 16 - CALIBRAÇÃO</b>				
Trecho	$k_1$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_2$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_3$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_4$ (mgO/ft <sup>2</sup> .dia)
1	0,5	Owens & Gibbs	0,35	2,0
2	1,0	Owens & Gibbs	0,2	2,0
3	0,5	Owens & Gibbs	0,2	0,5
4	1,0	Owens & Gibbs	0,2	2,0
5	2,0	Owens & Gibbs	0,35	5,0
6	2,0	Owens & Gibbs	0,2	0,5
7	5,0	Owens & Gibbs	0,2	0,5
8	0,5	Owens & Gibbs	0,2	0,5
9	1,0	Owens & Gibbs	0,2	0,5
10	0,5	Owens & Gibbs	0,2	2,0
11	1,0	Owens & Gibbs	0,1	2,0

O confronto entre o perfil de OD gerado pelo modelo e os dados observados em campo está apresentado na Figura 20. Observa-se que em alguns pontos não há concordância entre a simulação e a faixa de referência estabelecida para os pontos observados. Isto ocorre principalmente na cabeceira do rio, até a régua do DAEE em Analândia. Nesta região, como a vazão é muito baixa, os dados de campo ficam muito sujeitos à flutuações diárias de qualidade, o que compromete tanto as condições de contorno inseridas no modelo como a própria faixa de referência.

Ainda analisando o gráfico de OD, observa-se que na região industrial de Rio Claro, entre os kms 70 e 50, ocorre uma grande depressão de OD, devido à grande concentração de cargas pontuais – municipais e industriais – sendo despejadas muito próximas a esta região. Isso, por sua vez, se reflete na simulação para DBO com os parâmetros calibrados, onde a mesma região apresenta picos de DBO, o que é coerente com a tendência do OD.

Um forte indício de coerência do modelo com os dados observados está no km 10, na Captação de Piracicaba. Neste ponto, existe um grande número de dados medidos em campo, fazendo com que a média calculada e seu intervalo de confiança sejam bem confiáveis. Desta forma, o enquadramento da curva neste ponto reforça a qualidade da calibração.

Com relação ao gráfico da Figura 21, referente ao parâmetro DBO, a calibração não se mostrou tão eficiente no enquadramento à faixa de referência, que se apresenta mais aberta que a do parâmetro OD. A região de Rio Claro aparece como a de maior discrepância com a faixa referencial de campo. Isso se deve à alta densidade industrial e municipal de Rio Claro, que, através de despejos clandestinos e intermitentes, não permite que a média dos valores de qualidade seja estabelecida sem um alto desvio padrão. Isso acaba por comprometer também a simulação, uma vez que tanto as condições de contorno como as cargas pontuais são alimentadas ao modelo a partir de um universo pequeno, restrito aos dias de coleta ou fiscalização pela CETESB.

Foi considerado, para efeito de todas as calibrações, que as cargas das indústrias e ETEs que descartam efluentes ao longo dos tributários Córrego da Servidão e Ribeirão Claro, fossem computadas como um só ponto: a foz dos respectivos tributários com o Corumbataí. Esta é uma aproximação grosseira, uma vez que do ponto de descarte até a foz, o efluente sofre tanto uma diluição como um consumo de DBO pela própria reaeração atmosférica. A Tabela 6 apresenta as indústrias e/ou ETEs que foram agrupadas em um só ponto, para o Córrego da Servidão e o Ribeirão Claro.

Tabela 6: Agrupamento de fontes pontuais como um só lançamento na foz dos tributários Servidão e Ribeirão Claro.

DESCRIÇÃO DO PONTO	MUNICÍPIO	LANÇAMENTO	KM RIO	QUAL2E
AGROCERES	RIO CLARO	Córr. Servidão	CO58,977	Foz com Servidão
TATUZINHO - 3 FAZENDAS	RIO CLARO	Rede Pública	CO58,977	
ATOFINA	RIO CLARO	Afluente Rib.Claro	CO58,977	
UNIROYAL	RIO CLARO	Rede Pública	CO58,977	
OWENS CORNING FIBERGLASS	RIO CLARO	Rede Pública	CO58,977	
FRICOOK - ABATEDOURO	RIO CLARO	Rede Pública	CO53,405	Foz com Ribeirão Claro
RICLAN	RIO CLARO	Rede Pública	CO53,405	
FRICOOK - GRAXARIA	RIO CLARO	R.Corumbataí	CO53,405	
IPÊ AGRO AVÍCOLA	RIO CLARO	Rib.Cachoeira	CO53,405	
CROSFIELD	RIO CLARO	Rib.Claro	CO53,405	
RIBEIRÃO CLARO	RIO CLARO	R.Corumbataí	CO53,405	
CÓRREGO SÃO JOAQUIM	STA GERTRUDES	Rib.Claro	CO53,450	

O modelo se mostrou bastante sensível ao coeficiente de desoxigenação, ou decaimento da DBO, o  $k_1$ . Foram testadas no total 8 combinações e o resultado foi sensivelmente alterado em função de pequenas modificações. Já o coeficiente de demanda bionômica (SOD),  $k_2$ , para a mesma ordem de grandeza de variação do  $k_1$  se mostrou mais resistente a alterações, ou seja, menos sensível. Isso pode estar associado ao fato de que a matéria orgânica sob a forma de sedimento ser mais refratária do que a matéria orgânica dissolvida.

Nos trechos 5, 6 e 7, situados na região de maior concentração de descargas – Rio Claro – os valores estimados para  $k_1$  foram maiores do que para os demais trechos. Esta estimativa está de acordo com a literatura (GOSH & MCBEAN, 1998), que prevê que em regiões a jusante de cargas pontuais os valores de  $k_1$  são mais pronunciados e atingem valores mais baixos e estáveis à medida em que os poluentes são carregados ao longo do rio e a matéria orgânica tende a decantar. Por esta razão, nestas regiões estáveis para  $k_1$ , os valores de  $k_4$  tendem a ser mais acentuados devido a uma maior presença de matéria orgânica decantada.

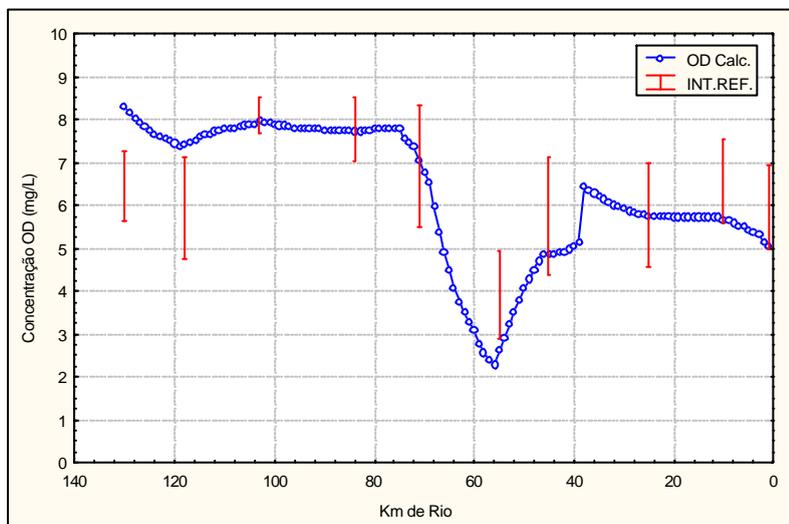


Figura 20: Calibração do modelo para o Rio Corumbataí – OD.

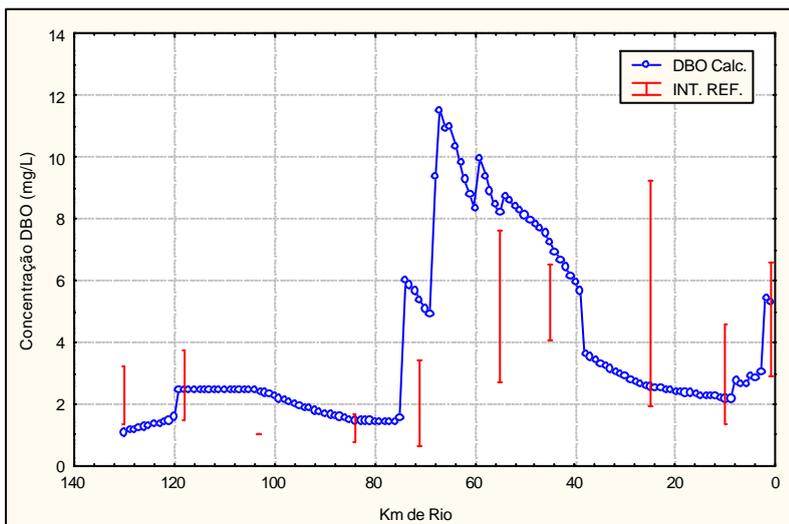


Figura 21: Calibração do modelo para o Rio Corumbataí – DBO.

A resposta do parâmetro DBO ao modelo se mostrou menos favorável, como ilustra a Figura 21. Sobretudo na região de Rio Claro, onde o número de cargas pontuais é muito grande, a curva gerada pelo modelo não se enquadrava aos dados observados. A variável DBO é muito mais dinâmica no sistema do que o OD e, portanto, muito mais vulnerável a oscilações temporais.

Foi aplicada uma análise de sensibilidade aos coeficientes de reação, respeitando as respectivas faixas sugeridas pelo manual do Qual2E. Os resultados estão apresentados nas Figuras 22, 23 e 24 para  $k_3$ ,  $k_4$  e  $k_2$ , respectivamente. Observa-se que  $k_3$  é o menos sensível dos coeficientes, visto que sua faixa foi variada entre os valores máximo e mínimo permitidos pelo modelo e a resposta da curva não foi significativa. A resposta do modelo à variação de  $k_4$ , por sua vez, foi mais significativa, mostrando que a demanda bentônica exerce bastante influência neste sistema. Quanto ao coeficiente de reaeração  $k_2$ , observa-se, pela Figura 24, que a sensibilidade é maior na região de Rio Claro, onde o efeito da reaeração se torna mais relevante devido à alta carga de poluentes despejada na região. Porém, tanto a correlação de O'Connor & Dobbins quanto a de Churchill não foram mais eficientes do que a de Owens & Gibbs para a modelagem desta região e do rio como um todo.

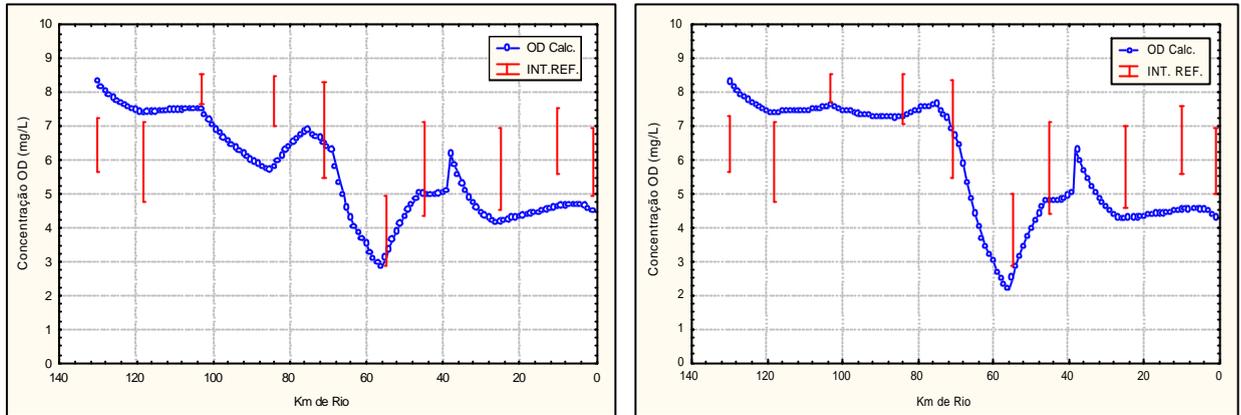


Figura 22: Sensibilidade do modelo quanto ao coeficiente  $k_4$  na curva gerada pelo modelo.

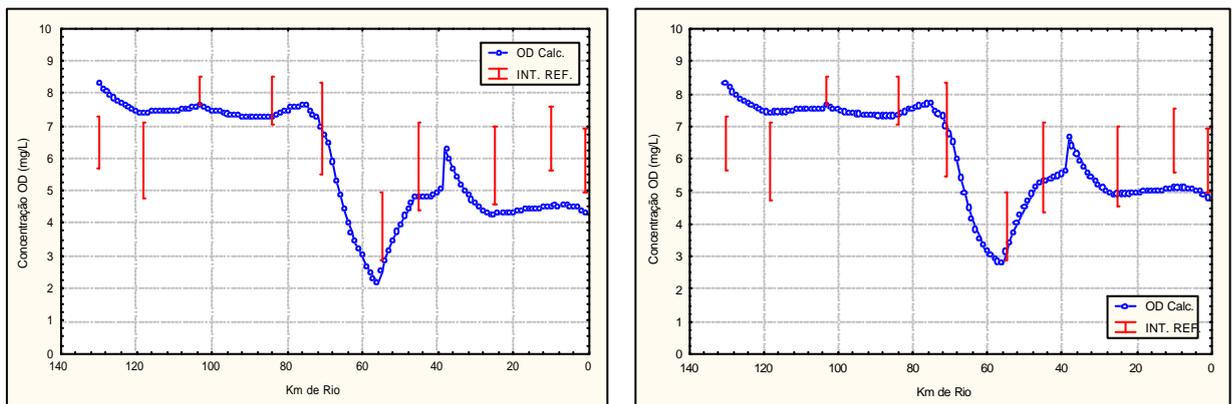
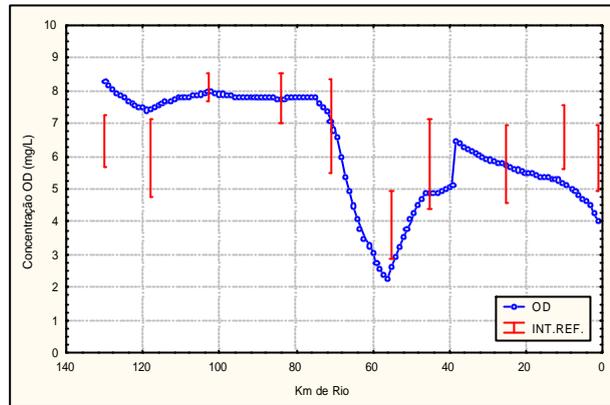
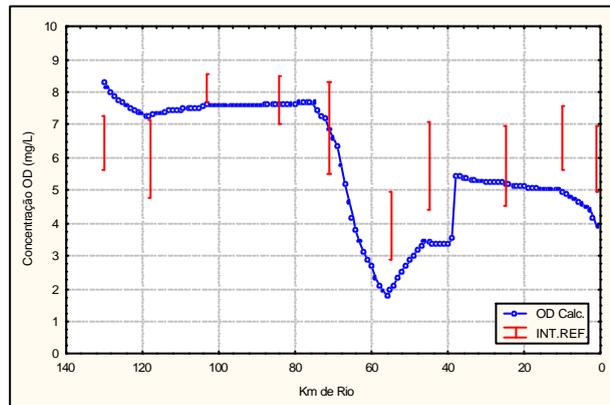


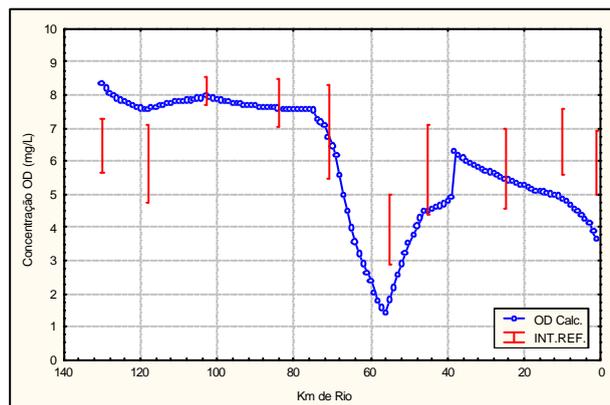
Figura 23: Sensibilidade do modelo quanto ao coeficiente  $k_3$  na curva gerada pelo modelo



(a)



(b)



(c)

Figura 24: Sensibilidade do modelo quanto ao coeficiente de reaeração  $K_2$ : (a) Owens & Gibbs; (b) O'Connor & Dobbins; (c) Churchill.

A simulação gerada para o trecho do Passa Cinco incluído no sistema é apresentada na Figura 25. O Passa Cinco é um manancial de águas limpas e funciona como um diluidor de águas para a carga proveniente do médio curso do Corumbataí.

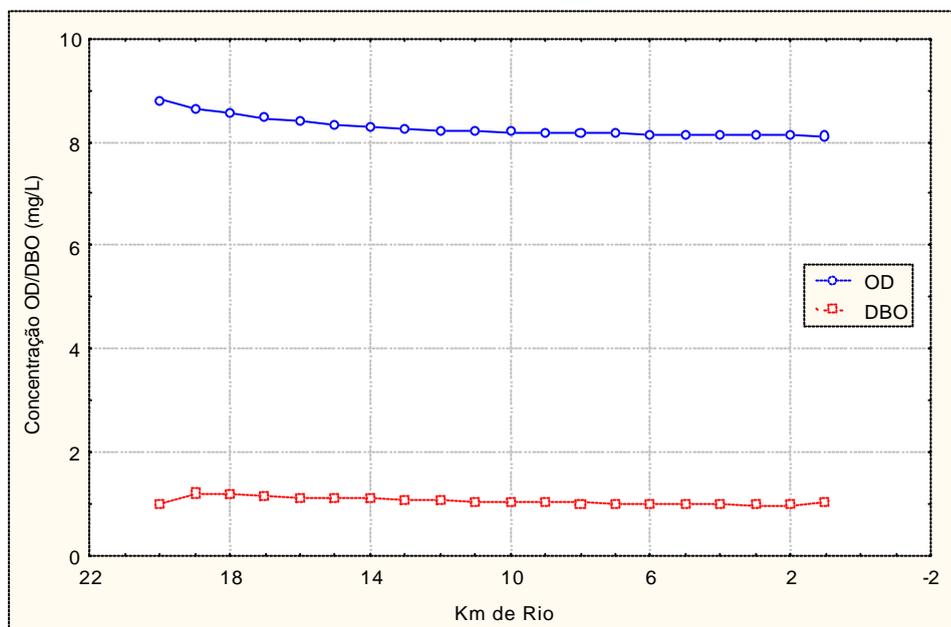


Figura 25: Resultado da calibração para o tributário Passa Cinco – curvas de OD e DBO.

## 5.2. VALIDAÇÃO DO MODELO:

A curva referente à calibração foi validada para um outro conjunto de dados, referentes a 2002. A Tabela 7 apresenta as principais alterações nas vazões e cargas de efluentes industriais/municipais entre os anos de 1999 e 2002.

Na região de Piracicaba, onde 3 grandes indústrias reduziram a carga de DBO descartada, ocorre um deslocamento para cima da curva de OD simulada, gerando um melhor enquadramento da simulação com os dados observados (Figura 26). Os parâmetros calibrados, portanto, se mostraram bem adequados na reprodução de um cenário diferente do sistema, revelando a eficiência dos mesmos na representação do sistema. Da mesma forma, a curva de DBO também se manteve enquadrada nos dados de campo (Figura 27).

Ambas a regiões de Rio Claro e Piracicaba sofreram um menor *déficit* de OD no ano de 2002, o que está refletido em ambas as curvas.

Tabela 7: Principais alterações de cargas poluentes entre os anos de 1999 (calibração) e 2002 (validação).

DESCRIÇÃO DO PONTO	MUNICÍPIO	KM RIO	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)		DBO (mgO <sub>2</sub> / L)	
			1999	2002	1999	2002
BAIRRO JARDIM DAS FLORES	RIO CLARO	73	212	212	300	60
COMAPA	RIO CLARO	67	74	60	579	189
BAIRRO DAS PALMEIRAS	RIO CLARO	65	39	39	300	60
COSAN – FILIAL COSTA PINTO	PIRACICABA	8	154	154	224	0
BUTILAMIL	PIRACICABA	3	3	3	112	103
SALUSA	PIRACICABA	1	30	30	265	0

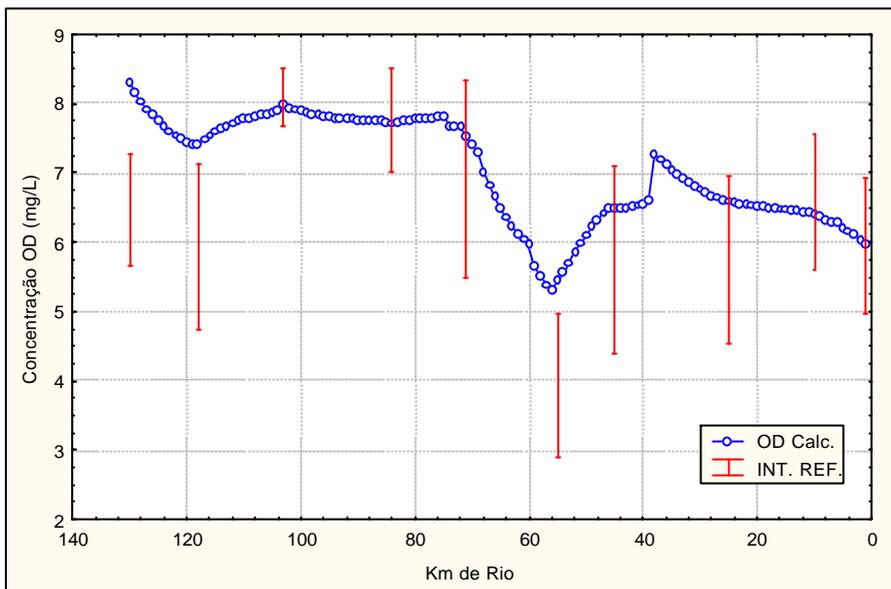


Figura 26: Validação do modelo para OD –Cenário: ano de 2002.

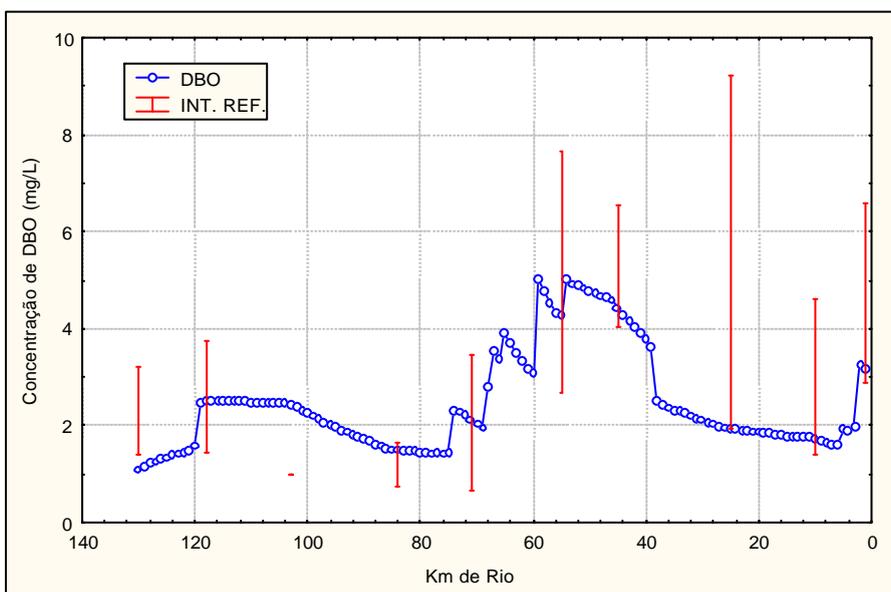


Figura 27 Validação do modelo para DBO –Cenário: ano de 2002.