



# **Metodologia para Outorga de Lançamento de Efluentes na Bacia do Alto Iguaçu (ref. 2137/02)**

Dezembro/2006

## **EQUIPE TÉCNICA**

### **LACTEC**

Dra. Sandra Mara Alberti

Dra. Regina Tiemy Kishi

MSc. Luiza Helena Lopes Ribeiro

Mestrando Iuri Nahon

MSc. Nicole Brassac

MSc. Andrea Dalla Nora

Esp. Ana Teresa Calmon

Flavio Deisler

MSc. Dalton L. Brasil Pereira Filho

MSc. Fernando W. Machado

MSc. Nicolás Lopardo

Esp. Karina dos Santos

### **SUDERHSA**

Norberto Ramon

Enéas Machado

### **CONSULTORA**

Dra. Mônica Porto

# SITUAÇÃO

## SITUAÇÃO ATUAL

- Falta de dados e informações
  - Dados hidromorfológicos
  - Dados de qualidade da água
- Equipe técnica reduzida
  - Para análise das solicitações
  - Para controle
- Dificuldades na calibração de modelos
- Problema de poluição crescente



## AÇÃO ATUAL



- Direcionar monitoramento e coleta de dados para uma metodologia mais precisa
- Metodologia simplificada de análise, porém considerando também o corpo receptor
- Iniciar o quanto antes com as outorgas

## AÇÃO FUTURA

- Uso de Metodologia mais precisa, gradativamente sendo implantada.



# Proposta



PRINCIPAIS  
PROBLEMAS

VARIÁVEIS  
DE QUALIDADE

POLUIÇÃO  
ORGÂNICA

DBO, OD

Análise 1

POLUIÇÃO TÓXICA

TÓXICOS

Análise 2

EUTROFIZAÇÃO

Nutrientes: N, P

Análise 3

ASSOREAMENTO

SÓLIDOS

Análise 4

## MATRIZ DE VARIÁVEIS PARA O ENQUADRAMENTO

USOS POLUIDORES	Abastecimento Doméstico	Proteção do ecossistema / mananciais	Irrigação / aqüicultura	Usos Industriais	Harmonia Paisagística (Cênica)
Esgoto Urbano	OD, DBO, N, P, SST	OD, DBO, N, P, SST	OD, DBO, Coli, SST	DBO, SST	OD, DBO, N, P, SST
Despejos Industriais	DQO, DBO, tóxicos a selecionar	DQO, DBO, pH, tóxicos a selecionar	DQO, DBO, tóxicos a selecionar	DQO, DBO	OD, DBO, OG, N, P
Resíduos Sólidos	OD, DBO, SST	OD, DBO, SST	OD, DBO, Coli	OD, DQO, DBO, Coli	DQO, DBO
Ocupação inadequada	OD, DBO, N, P, ST	OD, DBO, N, P, ST			OD, DBO, N, P, ST



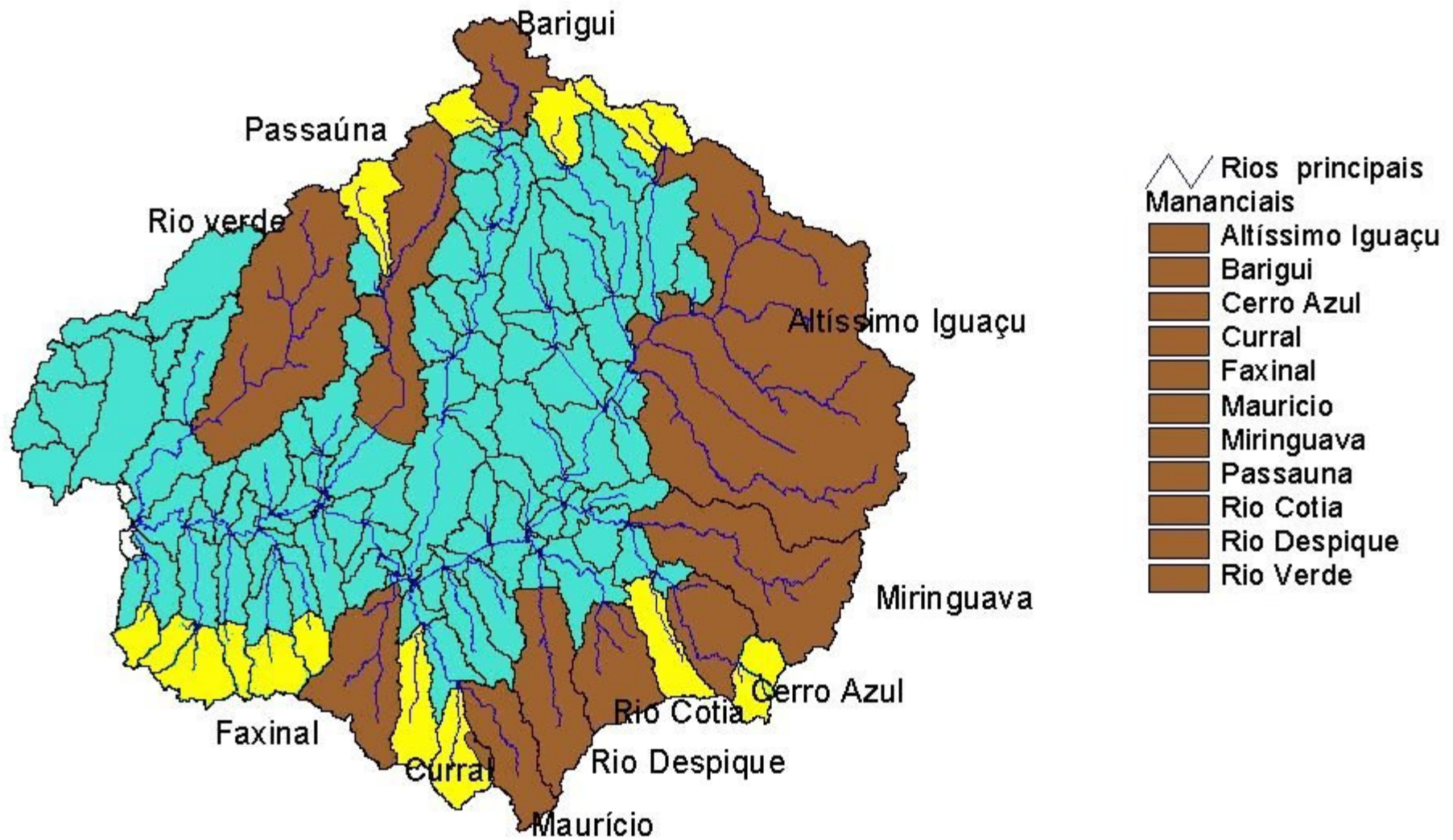
# Áreas sem lançamento

- Área de manancial:

(Lei Estadual 8935/89, Lei dos Mananciais, Lei Estadual 12.248/98)

- Área a montante de atuais barramentos para captação de água
  - Área a montante de futuros barramentos para captação de água
  - Área de proteção de cabeceiras
- Plano de informação com trechos onde estão restritos os lançamentos de efluentes:
    - Evitar futuros lançamentos
    - Reordenar os lançamentos existentes (lançamento mais a jusante e/ou redução de carga)

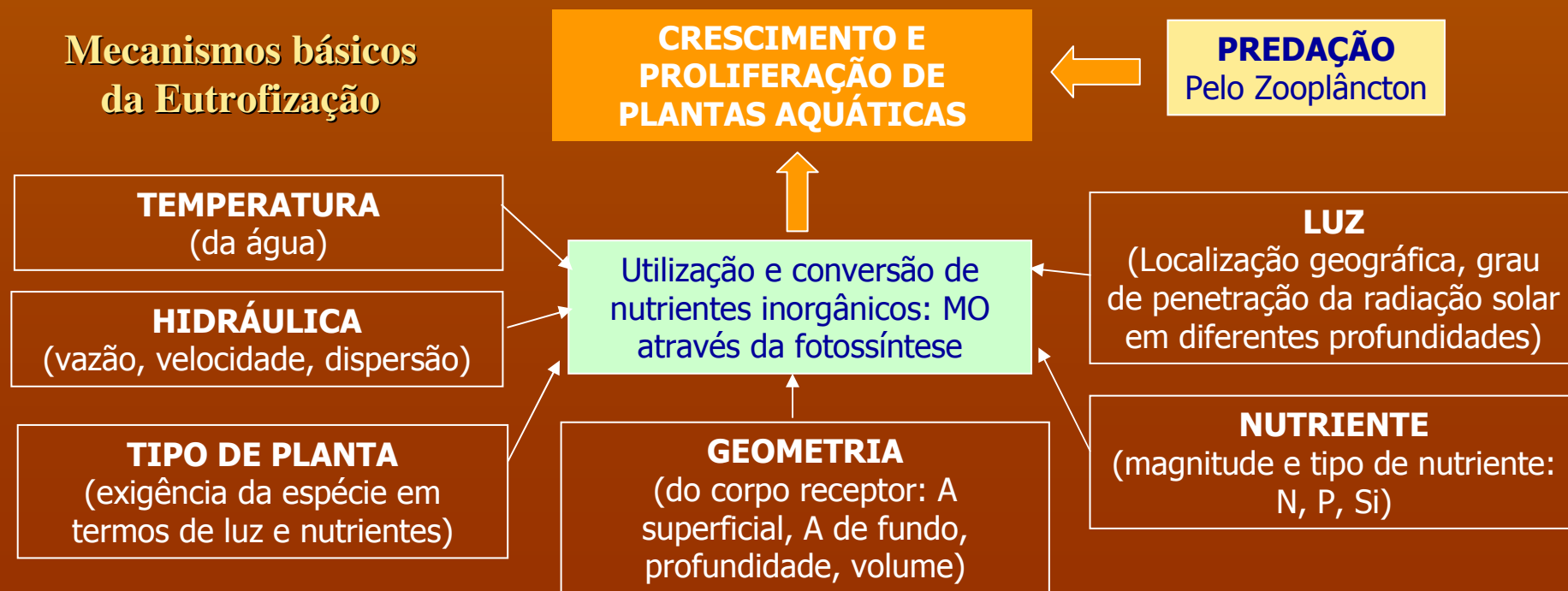
# Mananciais e cabeceiras



# Áreas sujeitas a eutrofização

**Resolução ANA 219/05:** a Superintendência de Outorga e Cobrança somente avaliará os parâmetros relativos à Temperatura, à Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e, em locais sujeitos à eutrofização, ao Fósforo ou ao Nitrogênio.

- Área de drenagem de reservatórios com tempo de residência alto

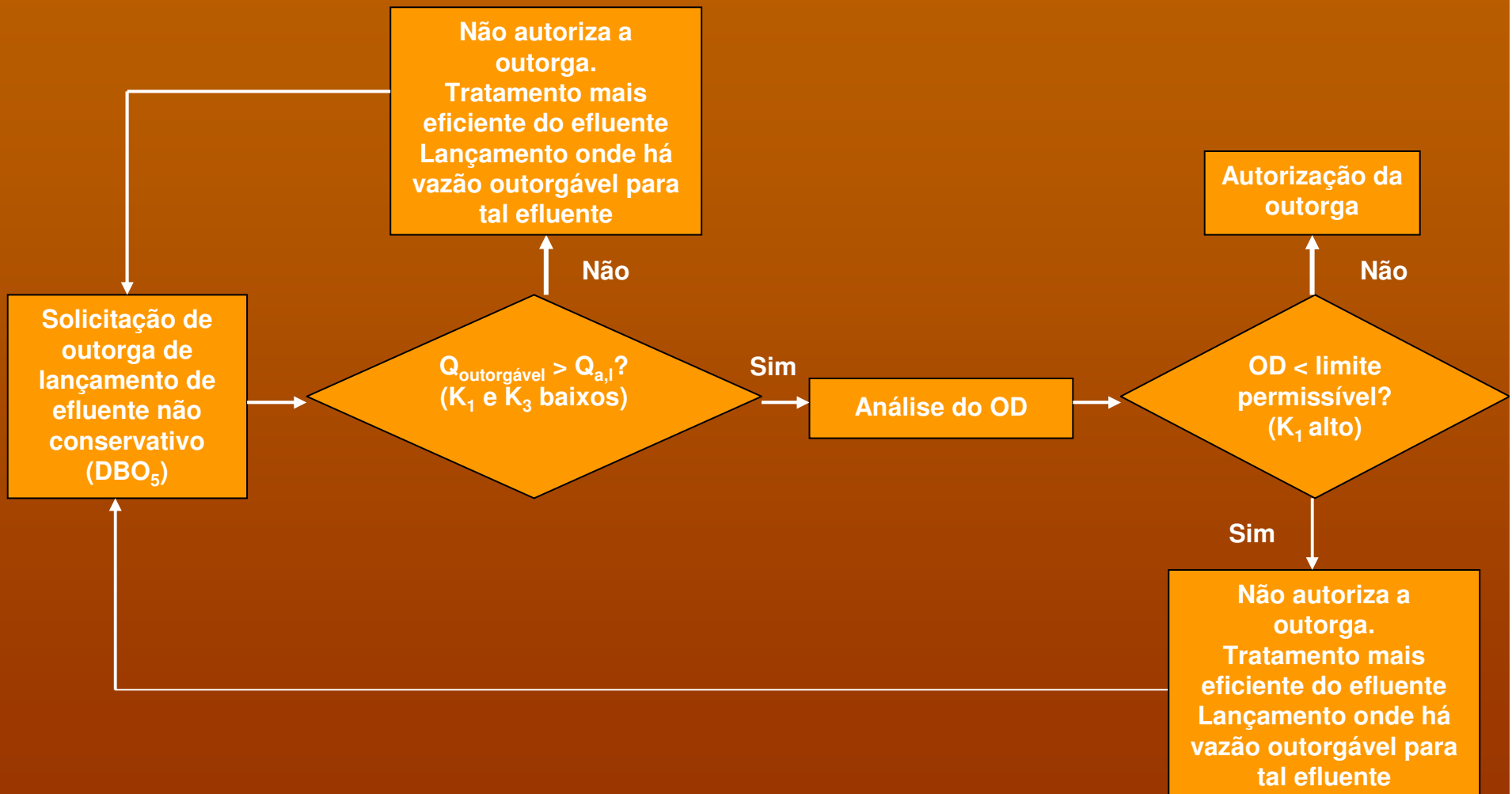






# Módulo: MATÉRIA ORGÂNICA

# Módulo: Matéria orgânica



# DBO

$$L = L_0 \cdot e^{-(K_1 + K_3) \cdot t}$$

$$L_0 = \frac{Q_r C_r + Q_e C_e}{Q_r + Q_e}$$



$$L = \left( \frac{Q_e C_e}{Q_r + Q_e} \right) e^{-(K_1 + K_3) \cdot t}$$

$$L = C_{\text{lim},i}$$

$$Q_r = Q_{a,l}$$

$$C_r = 0$$



$$Q_{a,l} = \left( \frac{Q_e C_e \cdot e^{-(K_1 + K_3) \cdot t}}{C_{\text{lim},i}} \right) - Q_e$$

$$F_c = \frac{C_{\text{lim},i}}{C_{\text{lim},l}}$$



$$Q_{a,l} = \left[ \left( \frac{Q_e C_e \cdot e^{-(K_1 + K_3) \cdot t}}{C_{\text{lim},i}} \right) - Q_e \right] \cdot F_c$$

# OD

$$OD_t = C_s - \left\{ \frac{K_1 \cdot L_{0U}}{K_2 - (K_1 + K_3)} \cdot (e^{-(K_1 + K_3) \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + (OD_{sat} - C_0) \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right\}$$



# Simplificações

## ■ Coeficiente de Desoxigenação ( $K_1$ )

Casos	Origem	$K_1$ (dia <sup>-1</sup> )
Valores na base “e”, a 20°C		
1º) $K_1$ - baixo (análise da DBO)	Rios com águas limpas	0,09
2º) $K_1$ - alto (análise do OD)	Água residuária concentrada	0,45

Parágrafo 1º do artigo 10 do CONAMA 357/05 diz que os limites de DBO estabelecidos para águas doces classes 2 e 3 poderão ser elevados, caso haja um estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstrando que as concentrações mínimas de OD previstas não sejam desobedecidas nas condições de vazão de referência.

# Critérios de outorga (SUDERHSA)

## Vazão outorgável

$$Q_{\text{outorgável}} = 0,5 (Q_{95\%}) - Q_{\text{não disponível}}$$

$Q_{95\%}$ : vazão natural com permanência de 95% do tempo na seção i.

$Q_{\text{não disponível}}$ : somatória das vazões outorgadas a montante e a jusante

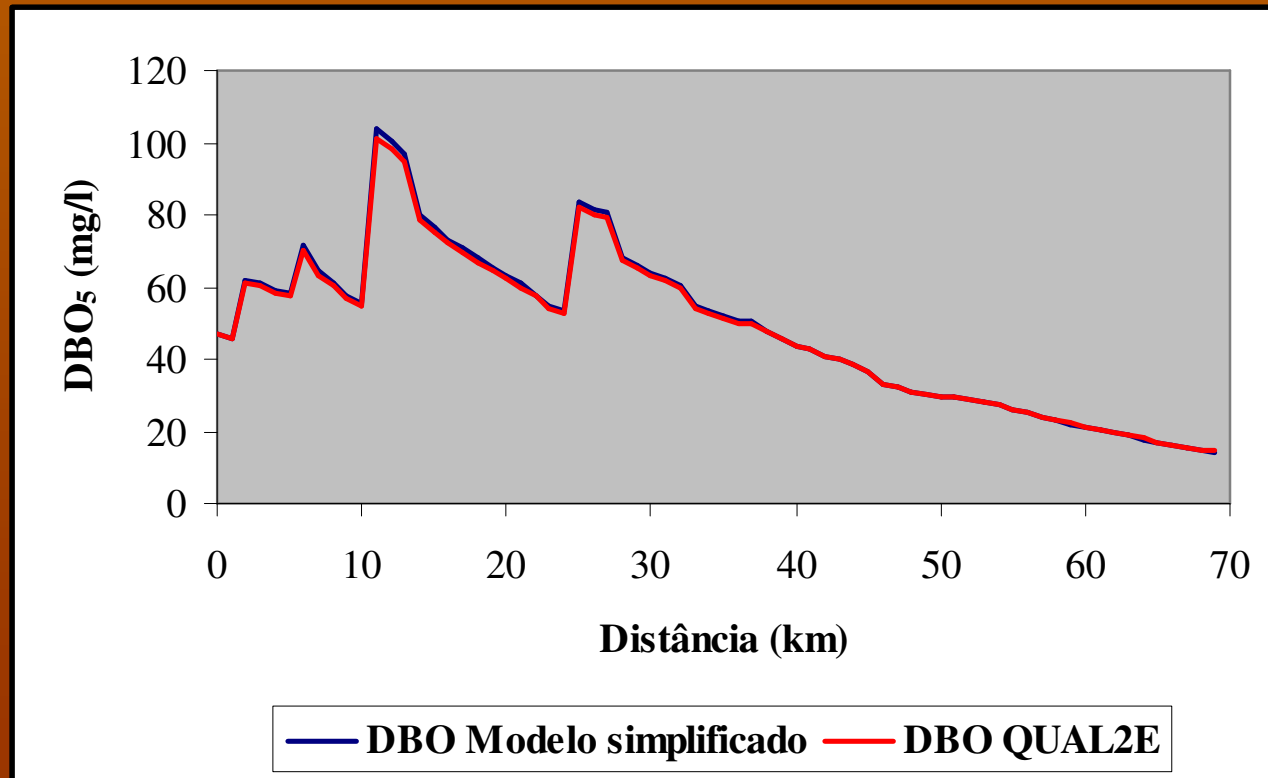
# Verificação do Modelo do sistema

- Comparação com modelo Qual2E calibrado

Usando mesmos  
coeficientes:

$$K_1 = 0,1 \text{ dia}^{-1}$$

$$K_3 = 1,2 \text{ dia}^{-1}$$



# Verificação dos coeficientes

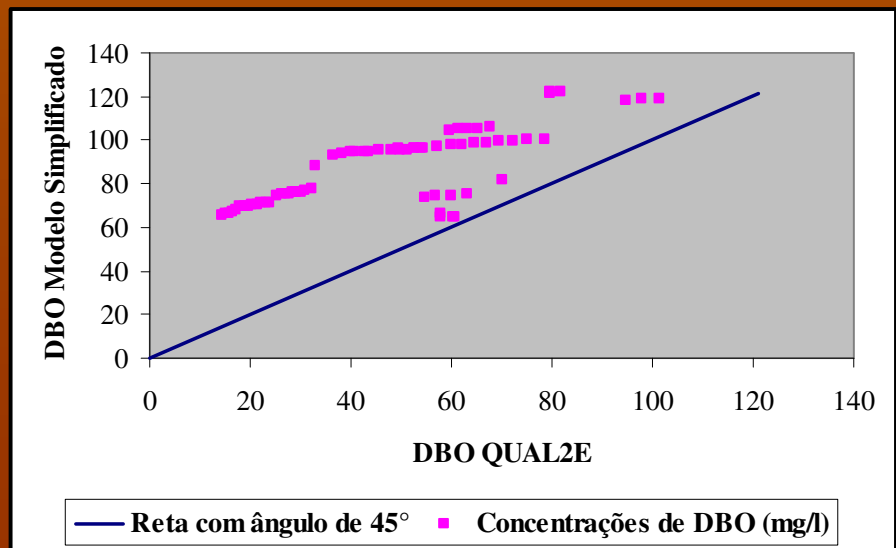
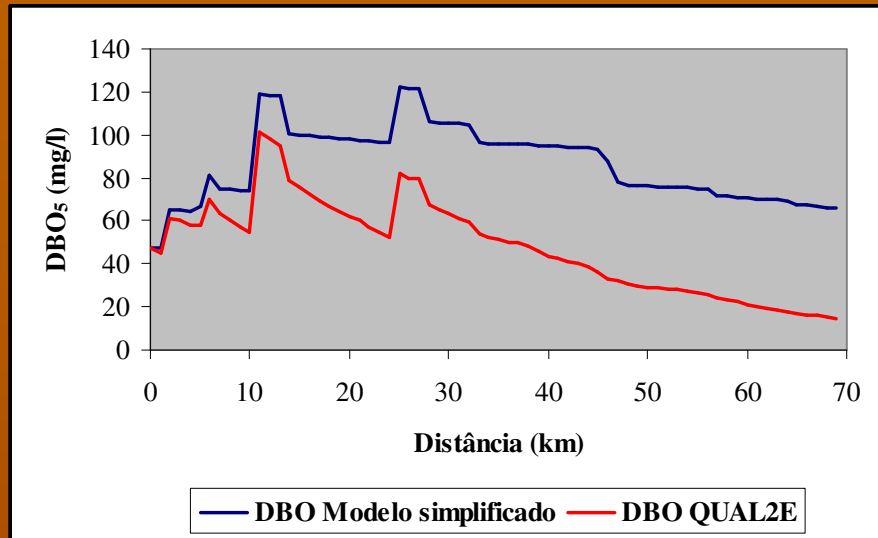
$$K_1 = 0,09 \text{ dia}^{-1}$$

$$V_s = 0,04 \text{ m/d} \quad K_3 = 0,05 \text{ dia}^{-1}$$

$$\text{RMS} = 42 \text{ mg/L}$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

Situação crítica  
Cenário conservador





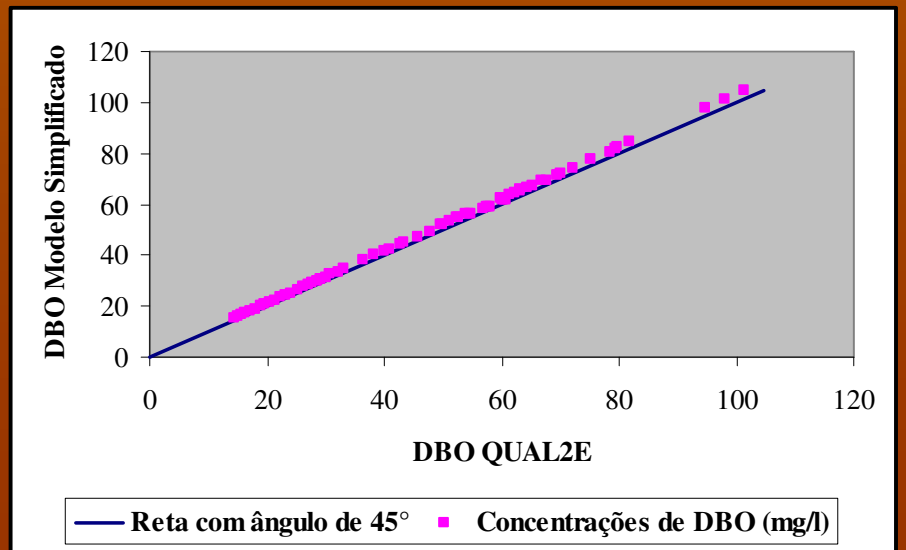
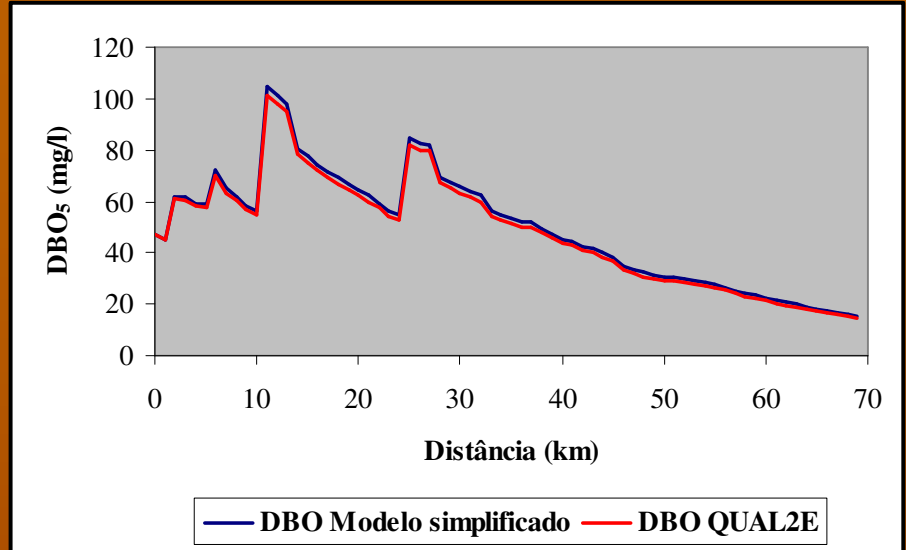
# Verificação dos coeficientes

$$K_1 = 0,09 \text{ dia}^{-1}$$

$$V_s = 0,94 \text{ m/d}$$

$$K_3 = 1,15 \text{ dia}^{-1}$$

$$\text{RMS} = 2 \text{ mg/L}$$



# Aplicação do sistema de outorga

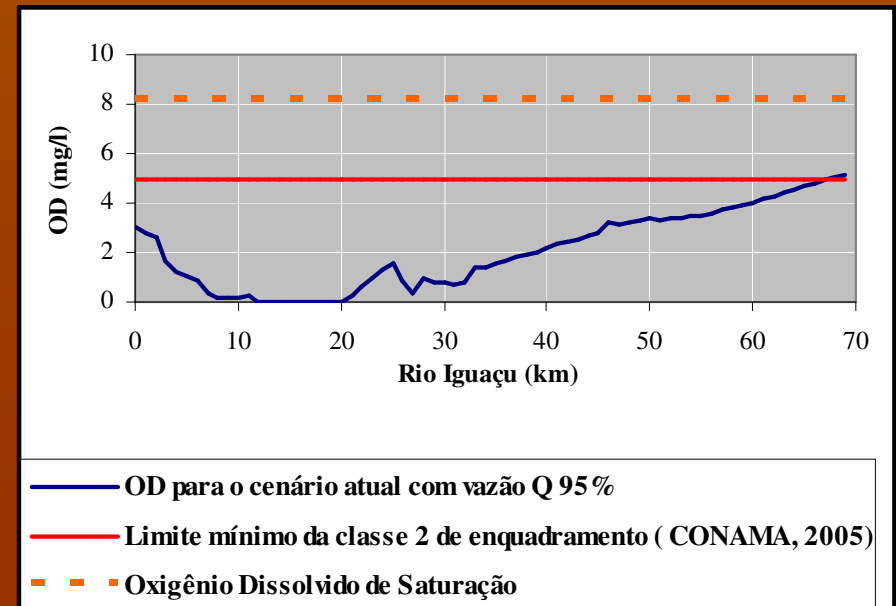
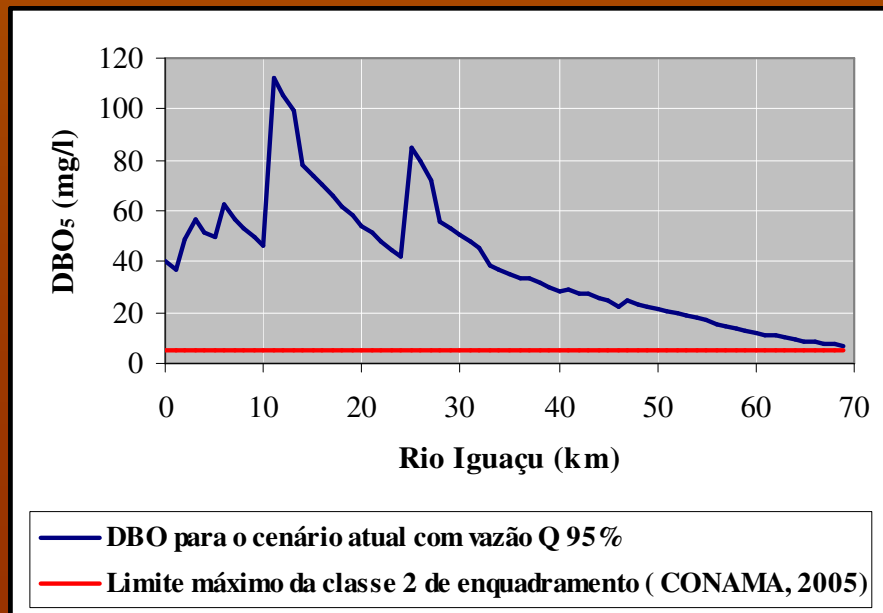
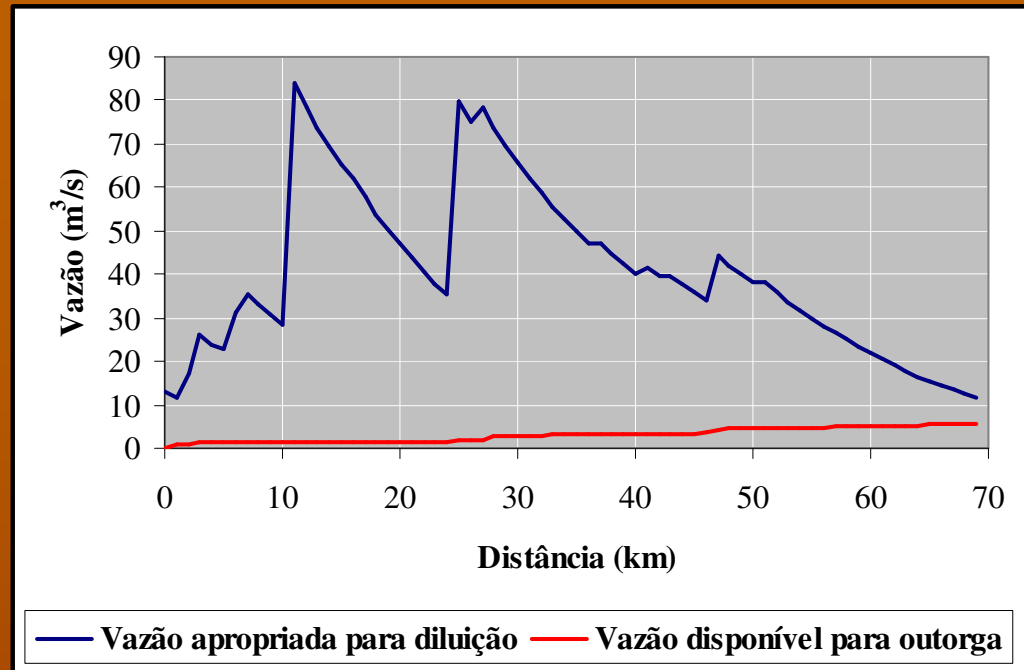
Coeficientes selecionados:

$$K_1 = 0,09 \text{ dia}^{-1}$$

$$V_s = 0,94 \text{ m/d}$$

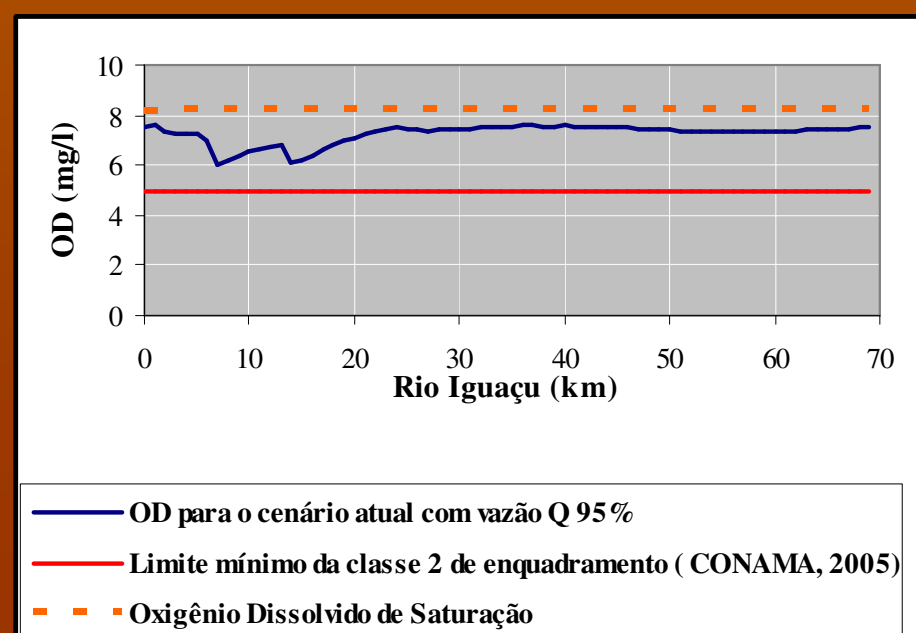
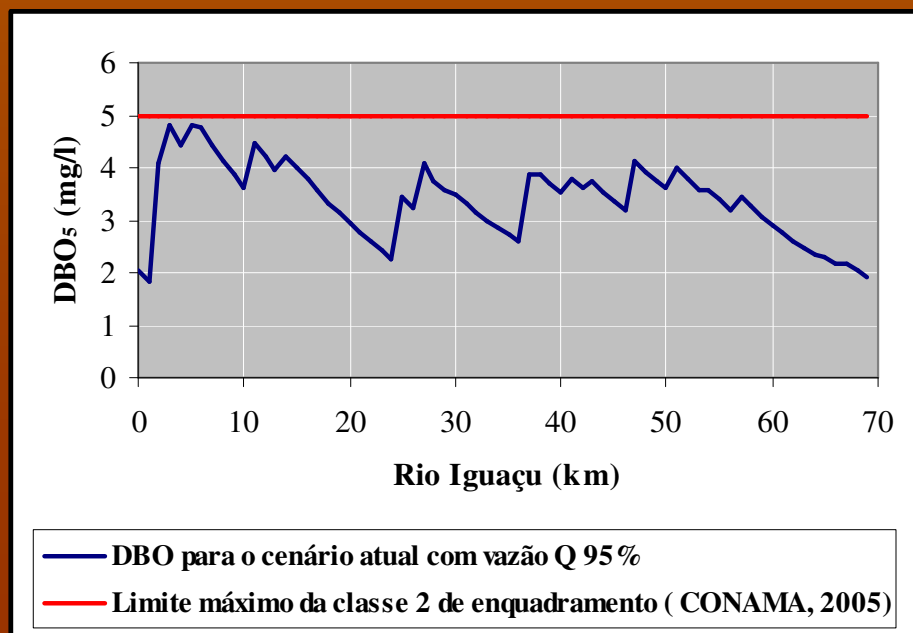
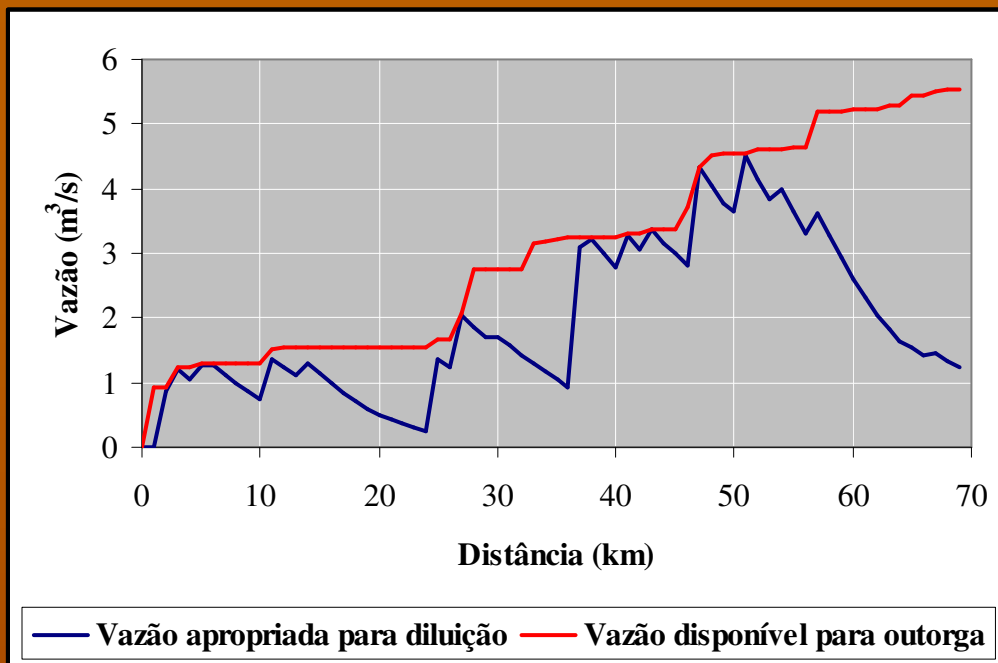
**Q95%**

**Cargas atuais - 2005**

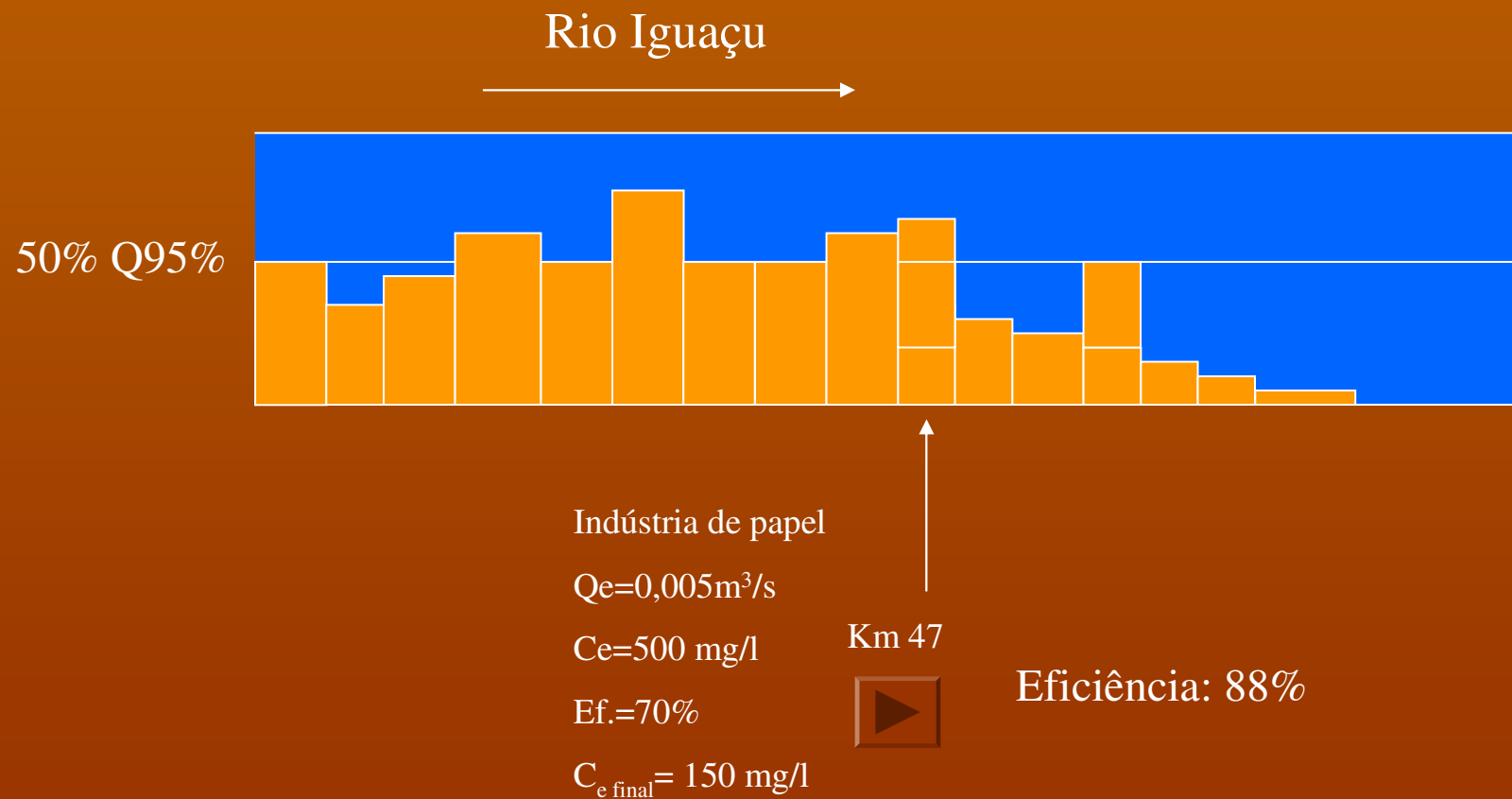


km	Fontes Pontuais	Vazão	OD	DBO	Eficiência atual (%)	Eficiência p outorga (%)
0	Bloco I	1.824	3.07	47		95
2	População	0.103	0.00	338		86
3	Atuba	0.870	0.00	66		91
5	População	0.019	0.00	338		70
6	População	0.156	0.00	338		97
7	ETE Atuba Sul	0.720	0.00	227	77	98
11	Belém	1.120	0.00	258		98
14	ETE Belém	0.823	0.00	222	97	97
25	Padilha	0.780	0.00	303		97
27	Bloco III	0.370	0.00	123		81
28	Bloco IV	0.960	5.00	5		0
30	População	0.002	0.00	338		0
33	Bloco V	0.670	6.00	4		0
37	População	0.034	0.00	338		0
38	População	0.005	0.00	338		0
41	Divisa	0.140	0.00	130		78
43	Mascate	0.100	0.00	133		78
46	Mauricio	0.510	6.00	4		0
47	Barigui	1.960	1.67	34		78
48	Faxinal	0.180	5.00	7		0
50	Ralfs Costeira	0.005	0.00	123		0
51	ETE Cachoeira	0.160	0.00	84		50
53	Witmarsum	0.002	0.00	89		0
54	População	0.007	0.00	338		0
57	Passaúna	0.590	4.00	15		0
65	Rio das Onças	0.270	6.00	8		0
67	Pianduva	0.120	5.00	12		0

# Aplicação do sistema de outorga atendendo aos critérios de outorga



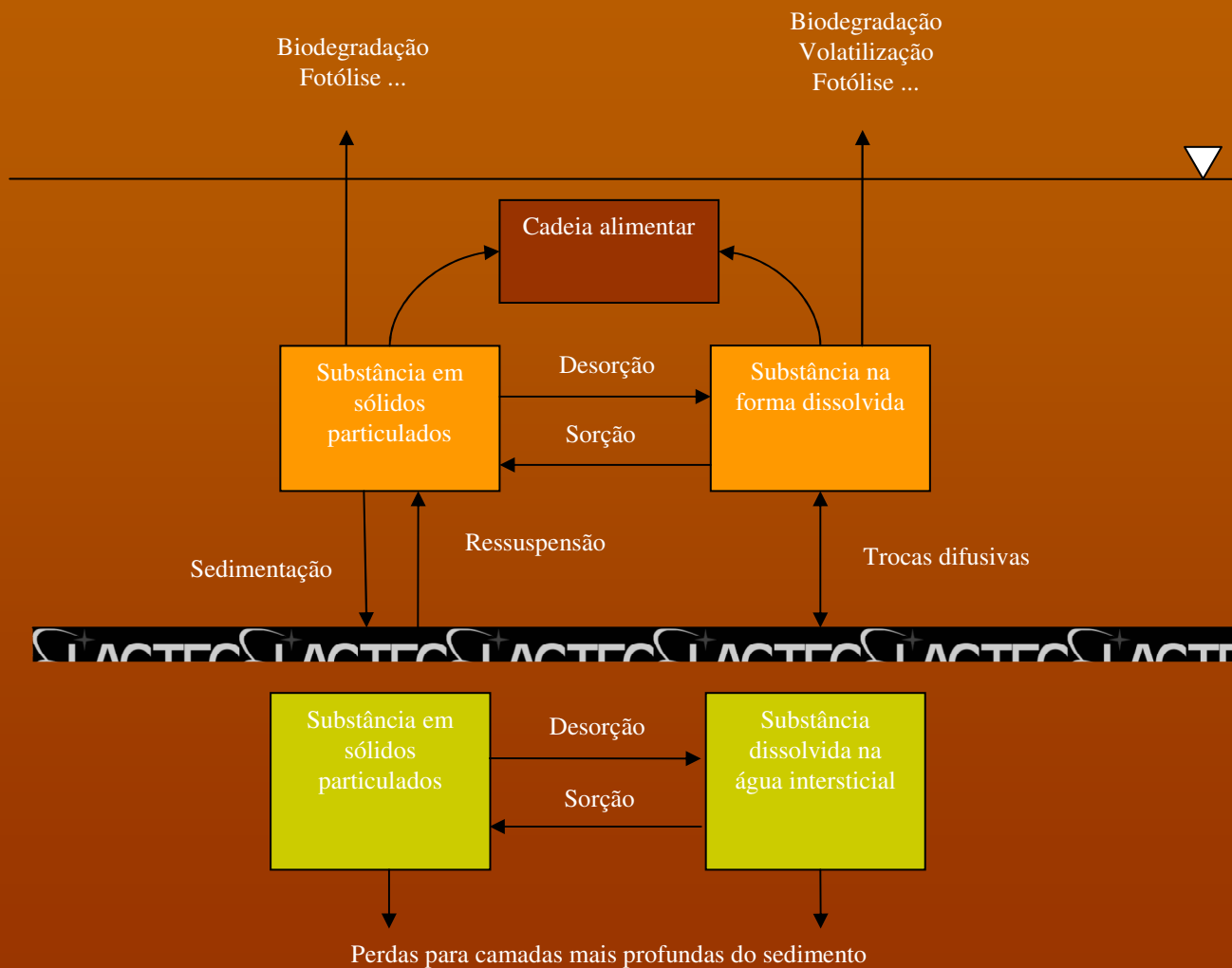
# Exemplo de aplicação do sistema





# Módulo: TÓXICOS

# Principais processos



$$0 = -U \frac{dC_1}{dx} - k_1 C_1 - \frac{v_v}{H_1} F_{d1} C_1 - \frac{v_s}{H_1} F_{p1} C_1 + \frac{v_d}{H_1} (F_{d2} C_2 - F_{d1} C_1) + \frac{v_r}{H_1} C_2$$

# Proposta

EFEITO DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS  
À SAÚDE HUMANA E AO MEIO AMBIENTE



## CARGA

Carga máxima admissível:  $Q_{95\%} * C_{limite}$

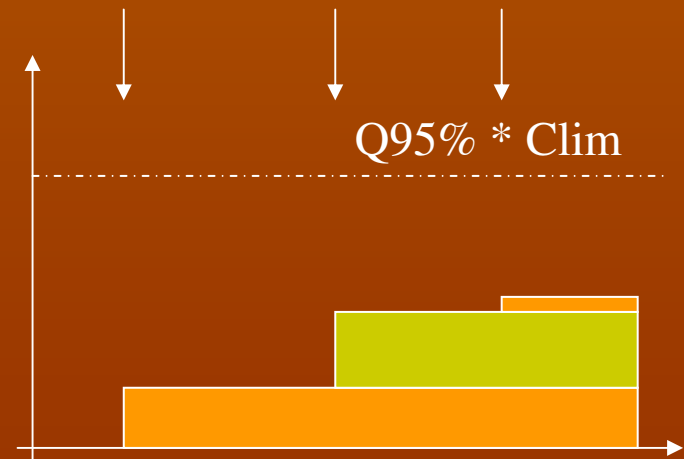
Método da Vazão de Diluição não seria adequado

$$C = \frac{Q_r C_r + Q_e C_e}{Q_r + Q_e}$$

$$L = C_{lim,i}$$

$$Q_r = Q_{a,l}$$

$$Q_{a,i} = \frac{[Q_e (C_e - C_{lim,i})]}{C_{lim,i} - C_{rio}}$$





# Em andamento

- Análise: **Comportamento “real”** do metal pesado em relação a essas cargas

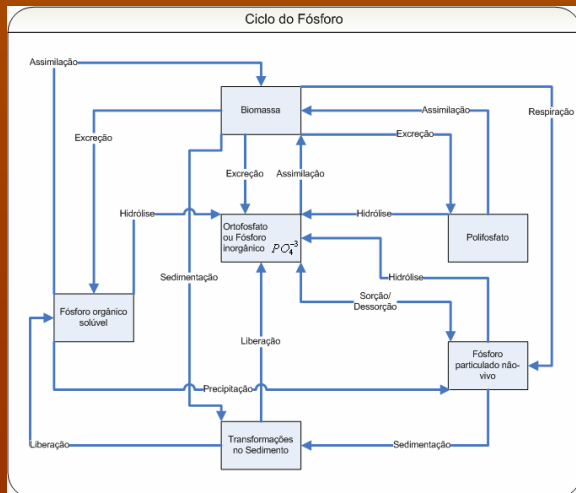
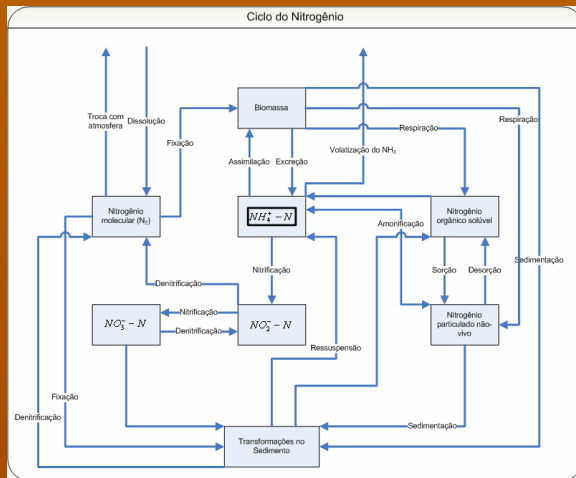
$$0 = -U \frac{dC_1}{dx} - \frac{v_T}{H_1} C_1$$

- Está a favor da segurança?
- Não está subestimando demais a capacidade do corpo receptor?
- **Água ou Sedimento?**



# Módulo: NUTRIENTES

# Módulo: Nutrientes



Nutrientes	Processos
Nutrientes inorgânicos dissolvidos	Fotossíntese
	Excreção
	Transformações químicas (e.g. oxidação de NH₃)
	Hidrólise de nutrientes orgânicos dissolvidos
	Decomposição de detritos
Nutrientes orgânicos dissolvidos	Decomposição do sedimento e liberação/emissão para a coluna d'água
	Excreção
	Hidrólise
	Decomposição de detritos
Nutrientes orgânicos particulados	Decomposição do sedimento e liberação/emissão para a coluna d'água
	Excreção
	Mortalidade do plâncton
	Decomposição
Nutrientes do sedimento	Sedimentação/assentamento
	Comunidade de zooplâncton
	Sedimentação/assentamento de detritos
	Sedimentação/assentamento de algas
	Decomposição do sedimento e liberação/emissão para a coluna d'água

## Nutrientes inorgânicos dissolvidos

$$\frac{dS}{dt} = \underbrace{-V_s}_{\text{FOTOSSÍNTESE}} + \underbrace{f_1 e_s}_{\text{EXCREÇÃO}} + \underbrace{k_1 S'}_{\text{TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA DE NUTRIENTES}} - \underbrace{k_2 S}_{\text{TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA DE NUTRIENTES}} + \underbrace{k_{org} S_{org}}_{\text{HIDROLISE}} + \underbrace{f_2 k_{det} S_{det}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}} + \underbrace{f_3 k_{sed} S_{sed}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}}$$

## Nutrientes orgânicos dissolvidos

$$\frac{dS_{org}}{dt} = \underbrace{(1-f_1)e_s}_{\text{EXCREÇÃO}} - \underbrace{k_{org} S_{org}}_{\text{HIDROLISE}} + \underbrace{(1-f_2)k_{det} S_{det}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}} + \underbrace{(1-f_3)k_{sed} S_{sed}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}}$$

## Nutrientes orgânicos particulados

$$\frac{dS_{det}}{dt} = \underbrace{e_p}_{\text{EXCREÇÃO}} + \underbrace{M_p}_{\text{PLANCTON}} - \underbrace{k_{det} S_{det}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}} - \underbrace{k_{sed} S_{sed}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}} - \underbrace{G_z}_{\text{EXCREÇÃO ZOOPLANCTON}}$$

## Nutrientes do sedimento

$$\frac{dS_{sed}}{dt} = \underbrace{k_s S_{det}}_{\text{SEDIMENTAÇÃO}} + \underbrace{A_s}_{\text{ALGAS}} - \underbrace{k_{sed} S_{sed}}_{\text{DECOMPOSIÇÃO}}$$

# Proposta

RIO

RESERVATÓRIO

Rio	Reservatório
Completamente misturado tanto lateralmente (y) quanto verticalmente (z) (modelagem unidimensional)	Mistura completa (nos três eixos - x, y, z)
Regime uniforme permanente (vazão, volume e velocidade constantes)	Regime uniforme permanente (vazão, volume e velocidade constantes)
Decaimento de primeira ordem constante no trecho	Decaimento de primeira ordem constante no trecho
Cargas constantes no trecho	Cargas constantes no trecho
Estado de equilíbrio dinâmico para o nutriente modelado	Estado de equilíbrio dinâmico para o nutriente modelado
Considera-se que o mecanismo de transporte dominante é o advectivo	Considera-se como um reator completamente misturado

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - KC + S_d$$

$$C = C_m e^{-\frac{K}{U}x} + \frac{S_d}{K} \left( 1 - e^{-\frac{K}{U}x} \right)$$

$$C = C_m \cdot \frac{1}{1 + K \cdot q_m^{-1}}$$

# Taxas de decaimento

Taxa de decaimento para NT ( $\text{dia}^{-1}$ )

Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Mississippi	Baía de Chesapeake	NASQAN	New England	Nova Zelândia	Carolina do norte
< 1					0,223	0,051
> 1						0,002
< 2,8				0,710		
< 5,66		0,759				
5,66 – 28,3		0,302				
> 28,3		0,067				
< 28,3	0,455		0,384			
28,3 – 283,0	0,118		0,123			
283,0 – 850	0,051		0,041			
> 850,0	0,005					



# SOFTWARE

# Dados de entrada

MODELO PARA ANÁLISE DE OUTORGAS DE EFLUENTES

Dados de Entrada Diagrama Unifilar Análise Resultados Ajuda

Sair Executar

Dados de entrada Diagrama Unifilar Análise Resultado Gráfico de Parâmetros Gráfico de Vazões

Abrir banco de dados  
Ler banco de dados  
Cria banco de dados vazio

Tipo de Dados

- Cadastro de Drenagem
- Classificação dos Trechos
- Dados de Drenagem
- Lançamentos Pontuais
- Lançamentos Distribuidos DBO
- Lançamentos Distribuidos OD
- Lançamentos Distribuidos N
- Lançamentos Distribuidos F
- Captações
- Reservatórios

ID Rio	Código Rio	Nome Rio	Distância	Altitude	Profundidade média	Velocidade média	Coef. Manning	Largura	
			(km)	(m)	(m)	(m/s)		(m)	
1	0	Rio1	70,000	872,000	0,684	0,141	0,0900	15,470	1
1	0	Rio1	59,100	869,000	0,000	0,000	0,0700	14,000	1
1	0	Rio1	59,000	869,000	0,000	0,000	0,0700	12,000	2
1	0	Rio1	58,900	869,000	0,000	0,000	0,0700	13,000	1
1	0	Rio1	50,100	865,000	0,000	0,000	0,0700	20,000	1
1	0	Rio1	49,900	865,000	0,000	0,000	0,0700	21,000	2
1	0	Rio1	38,000	863,535	0,613	0,333	0,0760	40,574	1
1	0	Rio1	33,100	862,000	0,000	0,000	0,0500	30,000	2
1	0	Rio1	33,000	862,000	0,000	0,000	0,0500	30,000	2
1	0	Rio1	29,900	862,000	0,000	0,000	0,0500	29,000	1
1	0	Rio1	28,100	861,900	0,000	0,000	0,0500	30,000	2
1	0	Rio1	28,000	861,900	0,000	0,000	0,0500	30,000	2
1	0	Rio1	25,100	860,000	0,000	0,000	0,0500	32,000	2
1	0	Rio1	25,000	860,000	0,000	0,000	0,0500	35,000	2

Teste Arquivo de dados: D:\Dalton\_NB\Empresa\_NB\Projetos\_NB\0002\_LACTEC\_QA>Edit\Program\_DBO\Dados\Dados\_teste\_Nicolas56.xls

# Cargas

**MODELO PARA ANÁLISE DE OUTORGAS DE EFLUENTES**

Dados de Entrada Diagrama Unifilar Análise Resultados Ajuda

Sair Executar

Dados de entrada Diagrama Unifilar **Análise** Resultado Gráfico de Parâmetros Gráfico de Vazões

Simulação

Pontual

Comprimento do rio

Discretização do rio (km)

Lançamentos Distribuídos

GroupBox2

Temperatura:  °C

pH:

k1-20°C (DBO):  1/dia

k1-20°C (OD):  1/dia

$\theta$  (1):

Vsed (DBO):  m/s

Vsed (OD):  m/s

$\theta$  (3):

Lançamentos Pontuais

Cadastrados

Nenhum  
Rio1 - 59  
Rio1 - 33  
Rio1 - 25  
Rio1 - 18  
Rio2 - 11  
Rio3 - 31  
Rio3 - 3

Novos

Nenhum

Excluídos

Nenhum

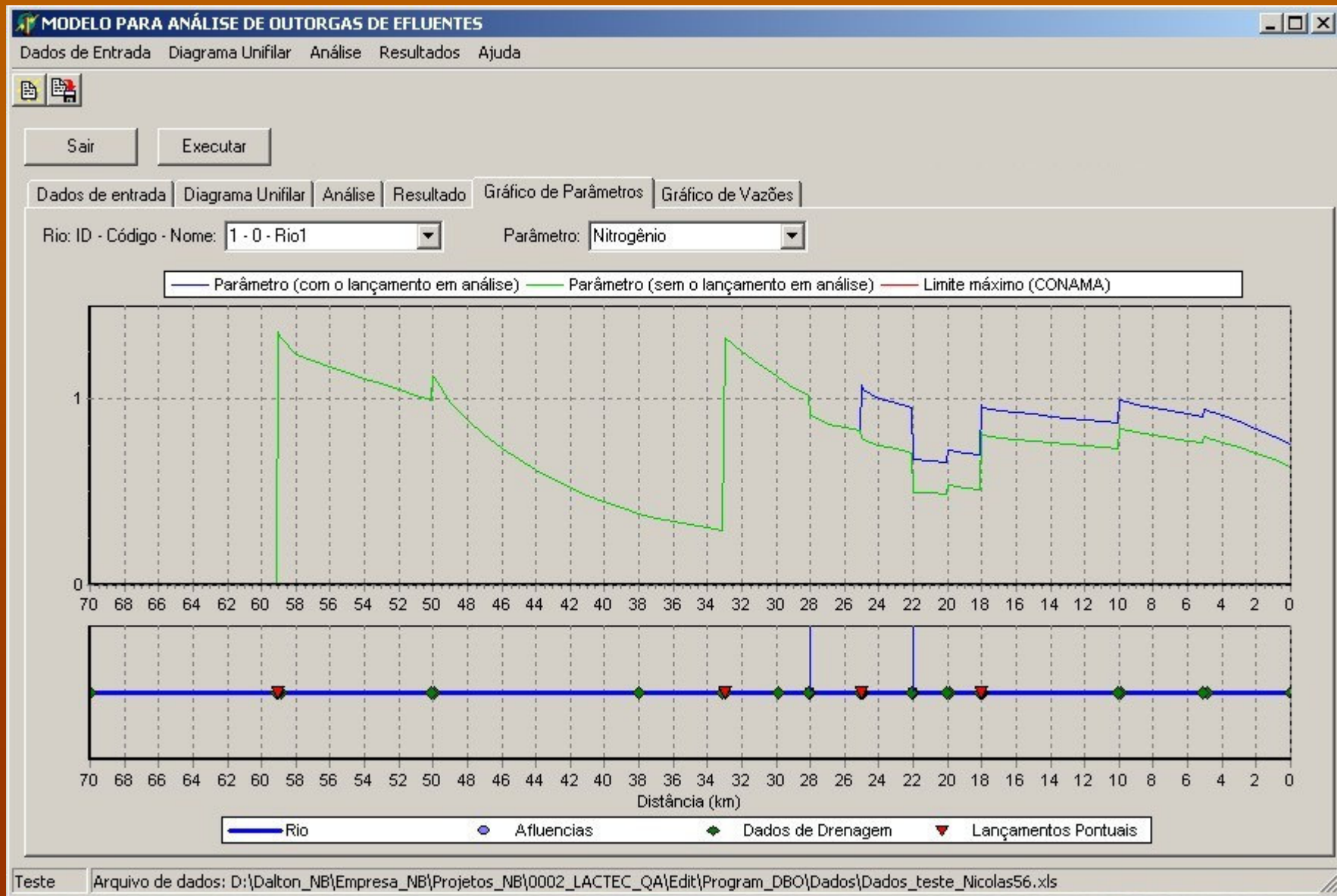
> Analise >> Excluído < Todos Excluído > < Analise << Todos

Teste

Teste Arquivo de dados: D:\Dalton\_NB\Empresa\_NB\Projetos\_NB\0002\_LACTEC\_QA\Edit\Program\_DBO\Dados\Dados\_teste\_Nicolas56.xls



# Situação por variável



# Dificuldades

- Falta de informações para serem inseridas no programa;
  - Tentativa: Regionalização de parâmetros hidrológicos;
  - Solução: inserção de vazões e seções transversais;
  - Justificativa: Evita que o programa tente substituir o hidrólogo na tomada de decisões.
- Vazões naturais: não existe estudo separando a vazão natural do rio e a dos usuários já instalados;
  - Tentativa: Regionalização de parâmetros hidrológicos;
  - Solução: separar vazão natural da vazão correspondente aos lançamentos de efluentes, quando necessário;
- Uso de parâmetros críticos na cinética das variáveis
  - Superestimando impacto
  - Solução: Verificar com modelos já calibrados ou com dados de campo gradativamente.

# Relatório do parecer técnico

Dentro limitações  
do modelo

- Situação da bacia:  $Q_{disp}$
- Em situações desfavoráveis de outorga:
  - Necessidade de aumentar eficiência de tratamento, comparando/considerando com o BAT
  - Localização com disponibilidade de água para diluição para a descarga

# Considerações finais

- **Monitoramento:**
  - estudos hidrológicos
  - estudo de comportamento da qualidade da água
- **Medida preventiva:**
  - direcionamento e
  - controle das descargas futuras
- **Medida corretiva:**
  - Metas progressivas:
    - vazão de referência,
    - comprometimento de redução de carga gradativa
  - Realocação do empreendimento ou do lançamento de efluente
    - (Custos sociais e econômicos!)