

Workshop sobre Monitoramento de Qualidade da Água em Bacias Urbanas

Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Alto Iguaçu: Monitoramento e Modelagem



Heloise Garcia Knapik

Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes (*Orientador*)

Júlio Cezar Rodrigues de Azevedo (*Co-orientador*)

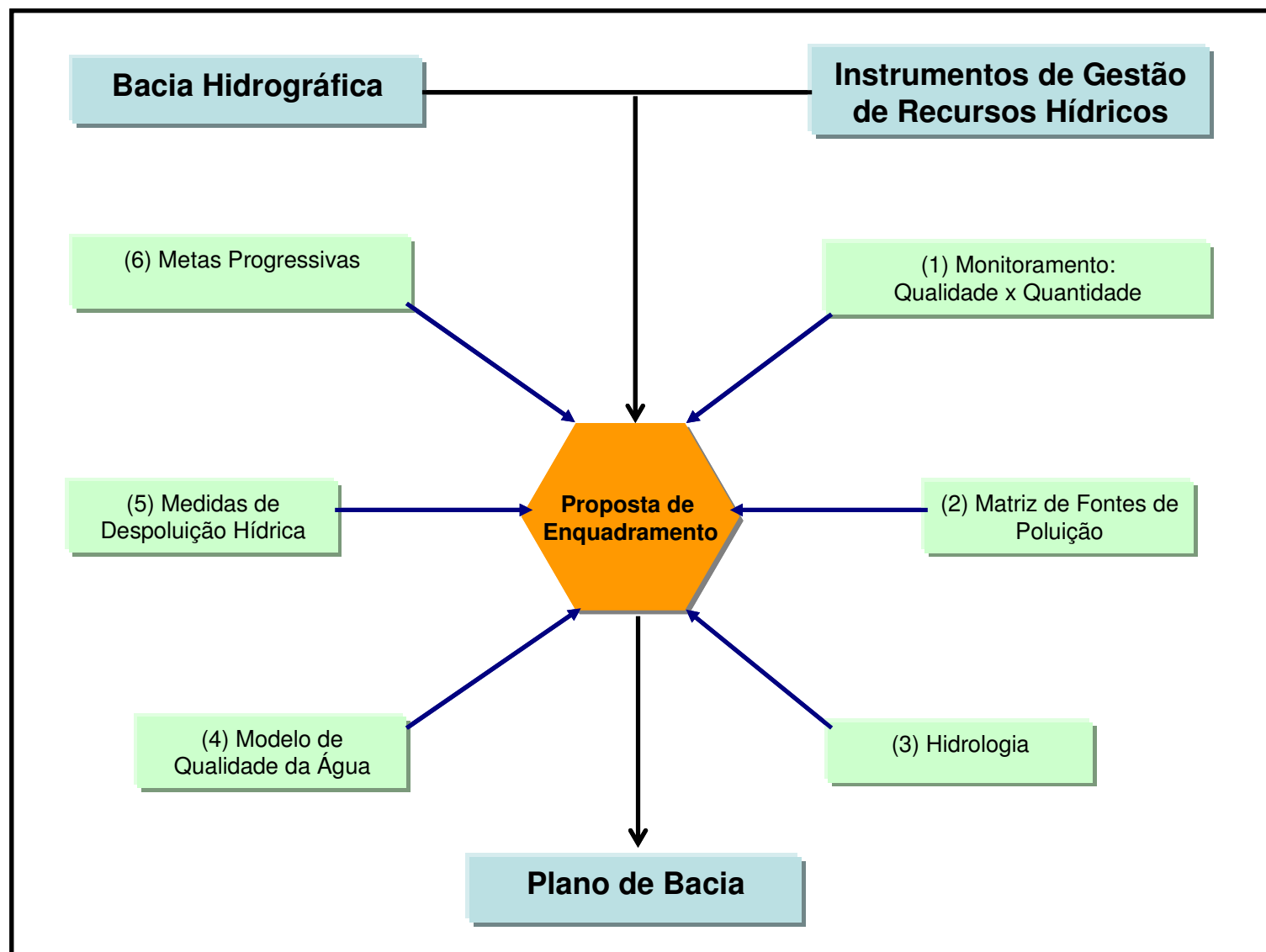
Evidências de interesse

- ∞ Avançar no **entendimento da dinâmica da poluição**, focando não só nos parâmetros tradicionais;
- ∞ Avançar nas estratégias de **implementação dos instrumentos** de Gestão de Recursos Hídricos;
- ∞ Se vale a pena tornar o problema mais **complexo**;
- ∞ Entender quais as implicações que essa abordagem pode ter na **Gestão dos Recursos Hídricos**.

Atividades desenvolvidas

- ∞ Continuidade e complementação dos dados do monitoramento já consolidado em projetos anteriores, com ensaios de espectroscopia de fluorescência e de ultravioleta visível, ano de 2008;
- ∞ Determinado experimentalmente o coeficiente de desoxigenação carbonácea, K_1 , e analisado o coeficiente de reaeração K_2 a partir de equações;
- ∞ Implementado e calibrado o modelo de qualidade de água QUAL2E para o oxigênio dissolvido, DBO, nitrogênio e fósforo;
- ∞ Simulado o modelo de qualidade de água com inclusão de cenários de despoluição hídrica no trecho do rio Iguaçu na região de Curitiba e Região Metropolitana, para analisar o impacto que as diferenças de simulação e calibração podem ter na questão de gestão de recursos hídricos, face às novas considerações da modelagem e a caracterização da matéria orgânica na bacia em estudo;

Abordagem metodológica





Monitoramento:
Qualidade x Quantidade

Monitoramento da Qualidade da Água

- ∞ 20 campanhas realizadas entre 2005 e 2006 (Projeto Bacias Críticas);
- ∞ 5 campanhas realizadas entre março e agosto de 2008;

Medições em campo

- ✓ OD
- ✓ Condutividade
- ✓ Temperatura
- ✓ pH
- ✓ Turbidez
- ✓ Profundidade Secchi
- ✓ Medição de nível

Medições em laboratório

- ✓ DBO, DQO, DOC
- ✓ Nitrito e Nitrato
- ✓ Nitrogênio Amoniacal e Orgânico
- ✓ Fósforo
- ✓ Sólidos dissolvidos, suspensos e sedimentáveis
- ✓ *Clorofila-a*
- ✓ *Desoxigenação - K_1*
- ✓ *Espectroscopia de Fluorescência e de Absorvância*



Monitoramento: Alguns resultados

- ∞ Perfis diferentes para a maioria dos parâmetros em relação aos pontos Olaria e P1 e os demais pontos: **influência da ocupação antrópica**;
- ∞ A **correlação linear simples** entre as variáveis também indicou a influência de esgotos do ambiente estudado (turbidez, profundidade secchi, vazão e sólidos);
- ∞ A forma **amoniacal** do nitrogênio foi predominante no trecho entre P2 e P6, indicando a presença de efluentes (poluição recente);
- ∞ A correlação linear positiva entre **N-NH₃**, **N-Org**, **DBO** e **S₂₉₈** também evidenciam a presença de efluentes domésticos;
- ∞ **Fósforo** apresentou elevadas concentrações no trecho entre P2 e P6, acompanhados de baixos valores de **clorofila-a**.

Determinação de K_1

∞ Aplicação da metodologia de *Winkler* em ensaios consecutivos durante 5 dias (determinação do consumo de OD);

∞ Amostra nos pontos P2 e P5, coletas 23, 24 e 25;

∞ Cálculo pelos **Métodos dos Mínimos Quadrados** e **Método de Fugimoto**.



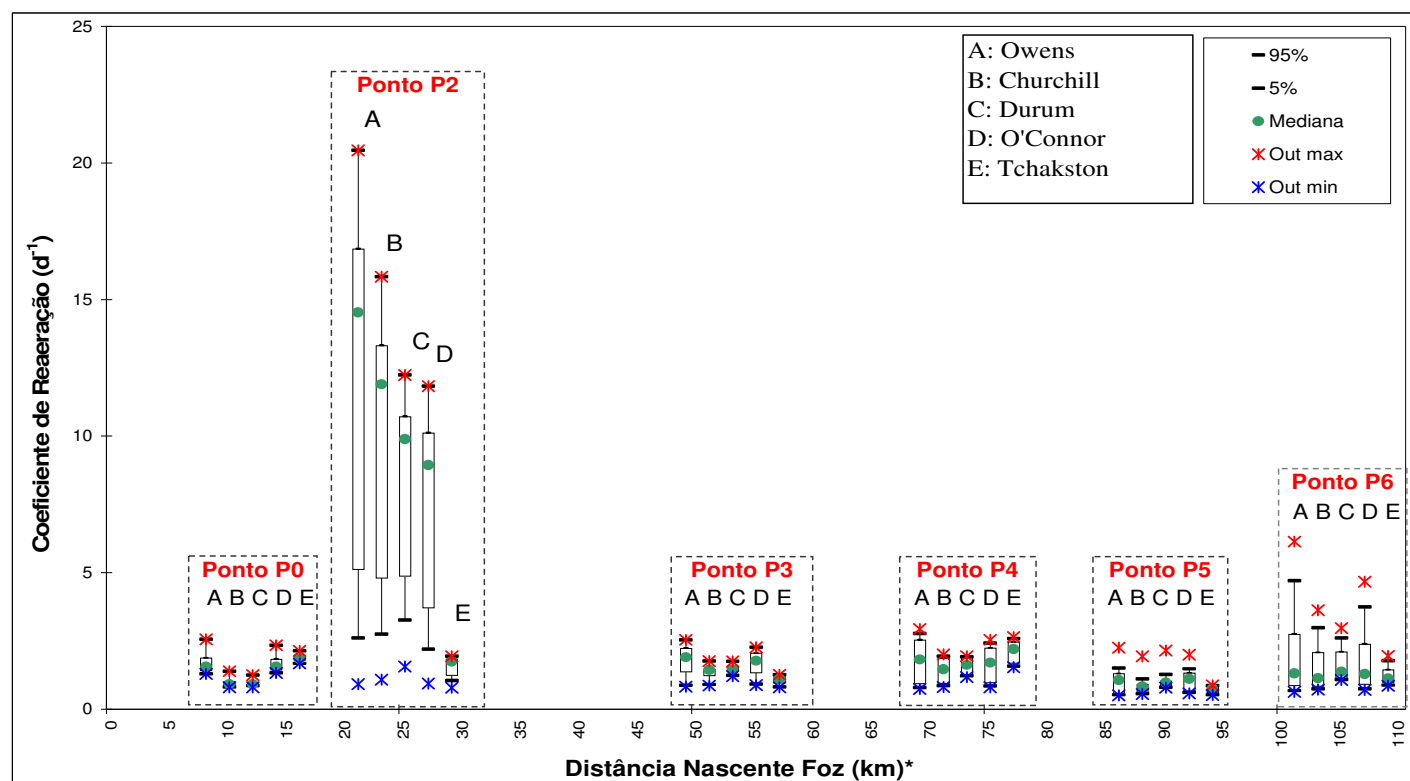
∞ Nas alíquotas com pouco volume de amostra pode ter ocorrido **produtividade primária** (grande oferta de nutrientes);

∞ As faixas de valores obtidas indicam que ainda é preciso avançar na sua determinação;

Determinação de K_2

∞ Teste das equações de Churchill *et al.* (1962), O'Connor e Dobbins (1958), Owens *et al.* (1964), Langbien e Durum (1964), Thackston e Krenkel (1966), e Tsvoglou e Wallace (1972);

∞ Análise das seções transversais (profundidade do canal e velocidade do escoamento) dos pontos de monitoramento e dos perfis de vazão nas campanhas de campo;



Monitoramento: Novas técnicas

Análises espectroscópicas

X

Origem da poluição

Espectroscopia de Ultravioleta visível

∞ Caracterização da matéria orgânica;

∞ Identificar possíveis fontes no ecossistema aquático:

- **Absortividade SUVA₂₅₄**

(*Westerhoft e Anning, 2000*)

{ $\approx 1,2$ L/mg.m indicam presença de esgotos (atividade biológica);
 $\approx 4,4$ L/mg.m indicam fonte alóctone pedogênico (ácidos fúlvicos).

- **Razão A₂₈₅/COD**

(*Rostan e Cellot, 1995*)

{ < 10 L/g indicam presença de matéria orgânica lábil
 ≈ 20 L/g indicam fonte alóctone pedogênico (ácidos fúlvicos).

- **Razão entre
comprimentos de onda**

{ E2/E3 – 250/ 365 nm (*Peuravuori e Pihlaja, 1997*)

E3/E4 – 300/ 400 nm (*Artirger et al., 2000*)

E4/E6 – 465/ 665 nm (*Senesi, 1989; Chen et al., 2002*)

Espectroscopia de Ultravioleta visível

Ponto	COD	SUVA254	A285/COD	Fonte provável
Olaria	6,87 ± 1,85	2,01 ± 0,76	13,94 ± 5,26	autóctone/ alóctone antrópico
P1	8,47 ± 3,95	1,82 ± 1,06	12,74 ± 7,52	autóctone/ alóctone antrópico
P2	8,68 ± 2,61	1,36 ± 0,55	9,26 ± 3,81	autóctone/ alóctone antrópico
P3	8,27 ± 3,70	1,81 ± 1,56	12,66 ± 10,87	autóctone/ alóctone antrópico
P4	8,42 ± 6,27	1,91 ± 1,74	13,31 ± 12,24	autóctone/ alóctone antrópico
P5	9,31 ± 5,76	1,33 ± 1,07	9,28 ± 7,50	autóctone/ alóctone antrópico
P6	8,01 ± 3,10	1,13 ± 0,20	7,79 ± 1,33	autóctone/ alóctone antrópico

Espectroscopia de Fluorescência

∞ Análise para excitação em 314 e 370 nm:

- **Pico do espectro (PW)**

(Westerhoft e Anning, 2000)

< 450 nm: carbono orgânico autóctone;

> 450 nm: carbono orgânico alóctone pedogênico;

∞ Análise para excitação em 370 nm:

- **Razão FR 450/500 nm**

(Westerhoft e Anning, 2000)

< 1,5: fonte alóctone;

> 1,8: fonte autóctone;

∞ Análise para espectro sincronizado:

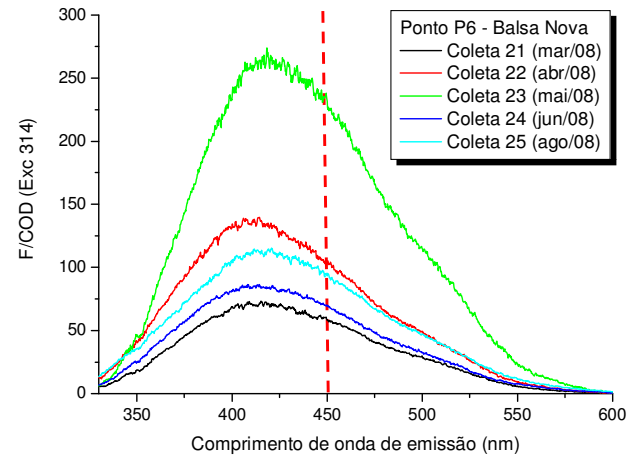
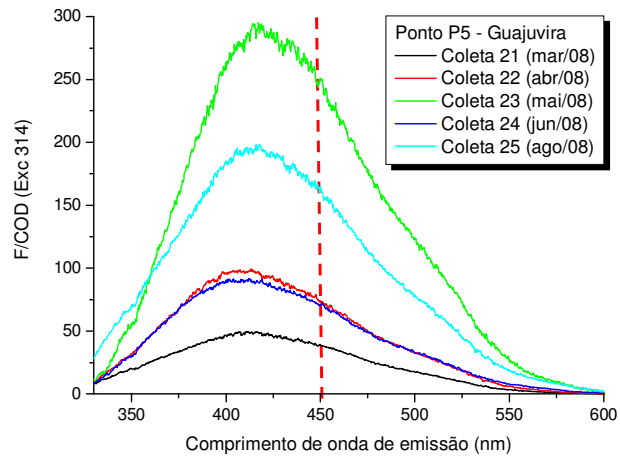
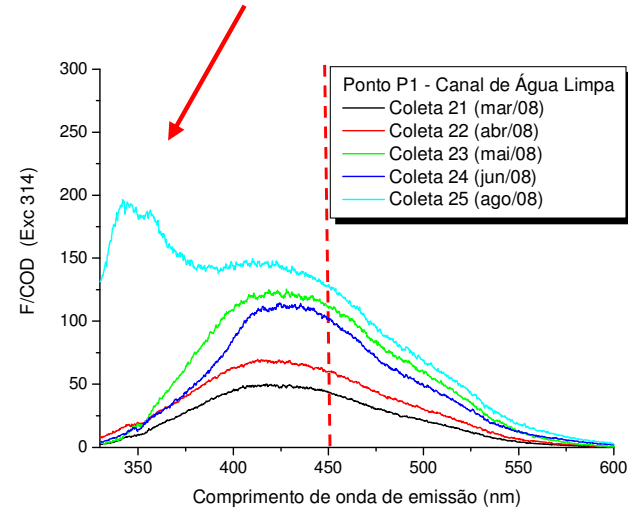
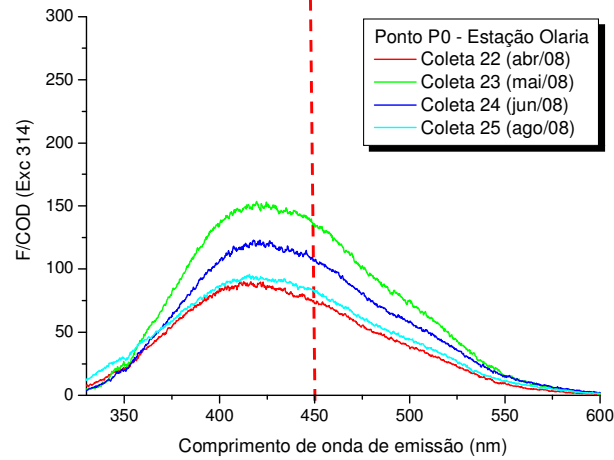
- **Região 280- 298 nm**

(Peuravuori et al., 2002)

Característico de esgoto doméstico

Espectroscopia de Fluorescência

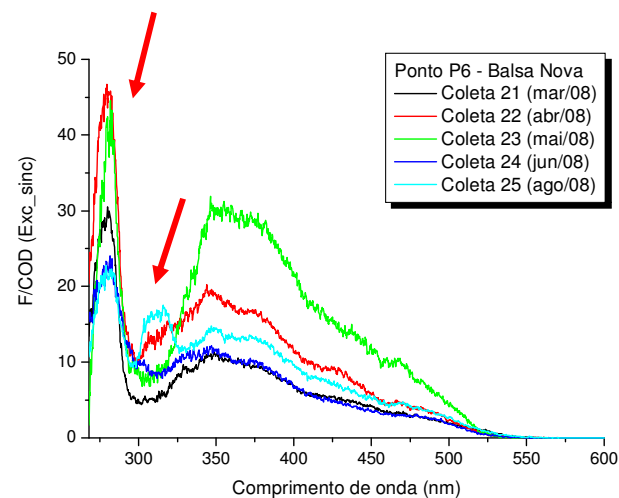
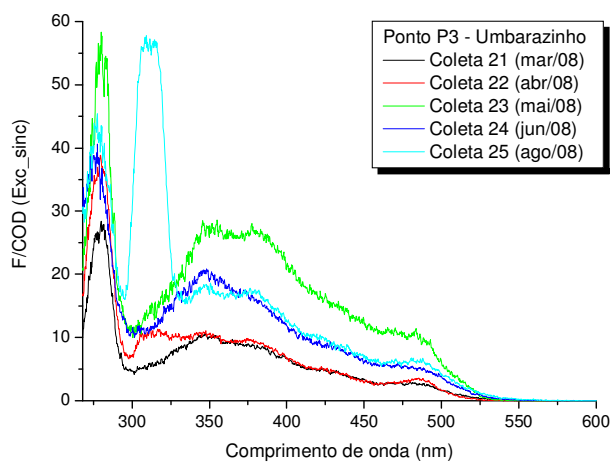
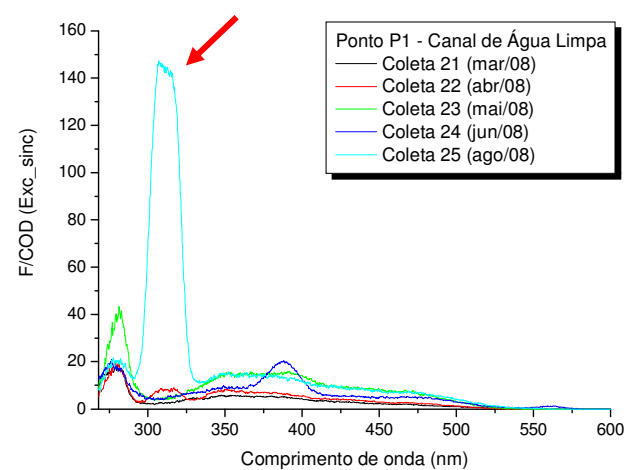
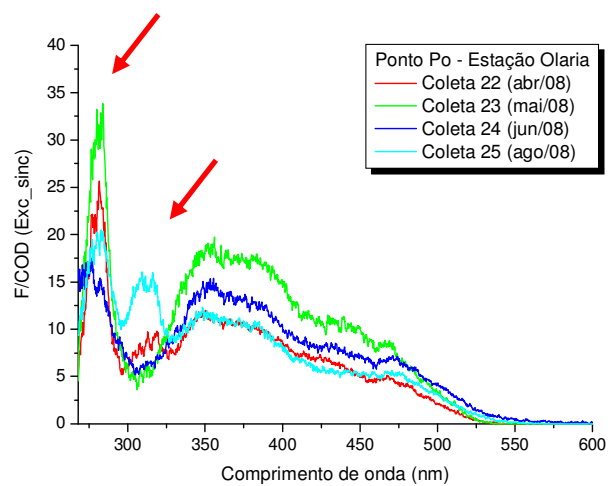
Autóctone ← → Alóctone pedogênico



Espectroscopia de Fluorescência

Ponto	COD	FR	IF370	S298	S480	Fonte provável
Olaria	6,87	1,56	62,19	7,41	5,31	autóctone/ alóctone antrópico e pedogênico
	± 1,85	± 0,09	± 13,85	± 2,24	± 1,11	
P1	8,47	1,67	57,42	12,06	4,24	autóctone/ alóctone antrópico e pedogênico
	± 3,95	± 0,23	± 22,05	± 18,51	± 2,40	
P2	8,68	1,80	68,08	9,67	3,96	autóctone
	± 2,61	± 0,09	± 16,90	± 8,48	± 0,94	
P3	8,27	1,80	64,78	11,23	5,54	autóctone
	± 3,70	± 0,08	± 49,07	± 6,98	± 2,94	
P4	8,42	1,83	91,84	14,88	6,00	autóctone
	± 6,27	± 0,09	± 48,89	± 6,25	± 3,09	
P5	9,31	1,79	81,84	11,73	4,81	autóctone
	± 5,76	± 0,10	± 53,45	± 5,06	± 3,04	
P6	8,01	1,70	76,55	8,74	4,22	autóctone/ alóctone antrópico e pedogênico
	± 3,10	± 0,05	± 45,38	± 2,23	± 1,90	

Espectroscopia de Fluorescência



Espectroscopia de UV-vis e de Fluorescência

Fonte autóctone

Produtividade
primária

X

Clorofila-a



Fonte alóctone antrópica

Esgoto

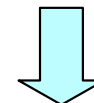
X

N₋NH₃ e
Fósforo



COD x Absorvância₂₅₄ (r = 0,0187):

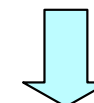
COD não é proveniente de fonte alóctone pedogênica



Hipótese: esgoto (alóctone antrópico) ou produtividade primária (autóctone)

COD x IF_{370/450} (r = -0,7293):

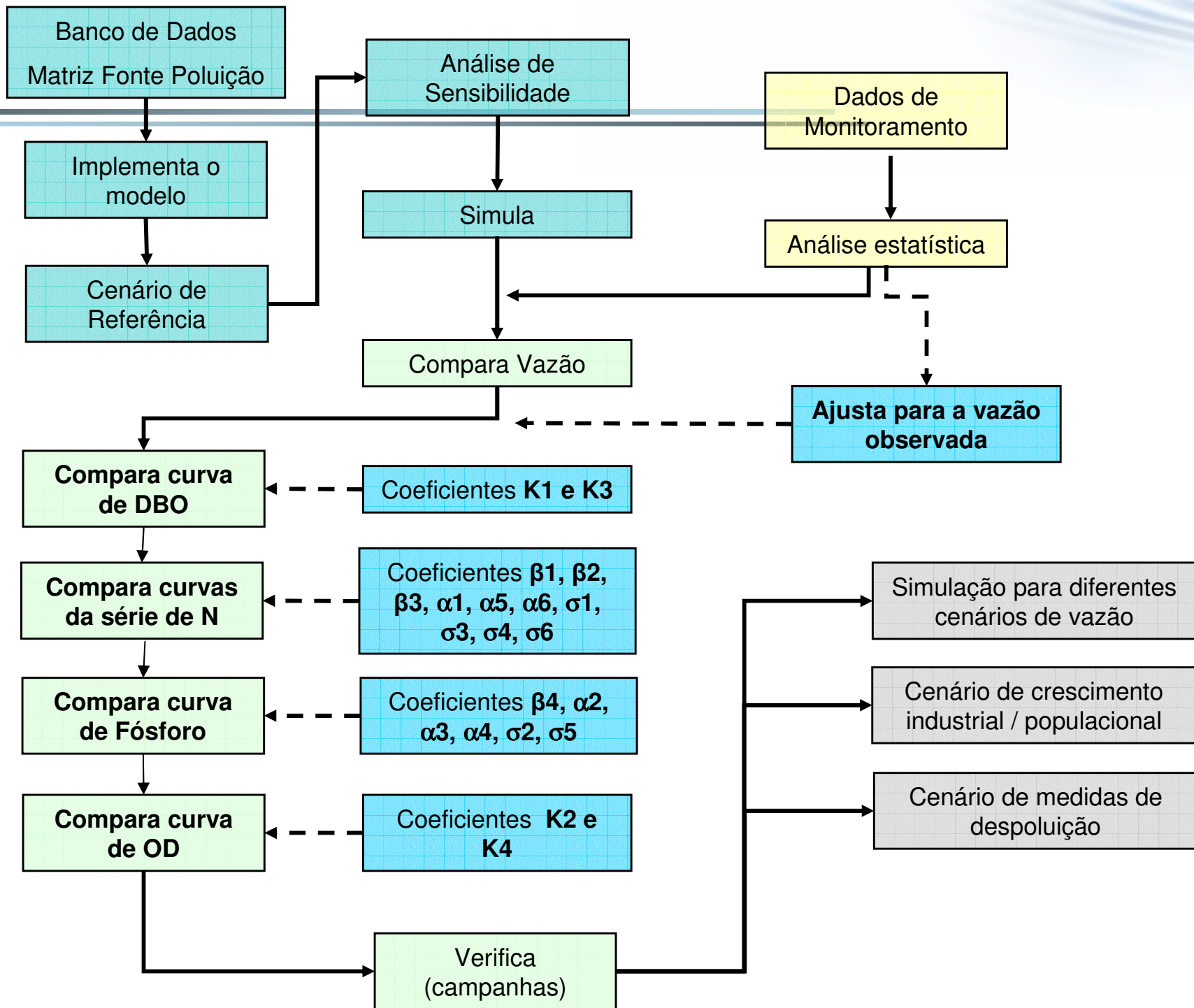
Correlação (+) indicaria substâncias húmicas;



Hipótese: esgoto (alóctone antrópico) ou produtividade primária (autóctone)

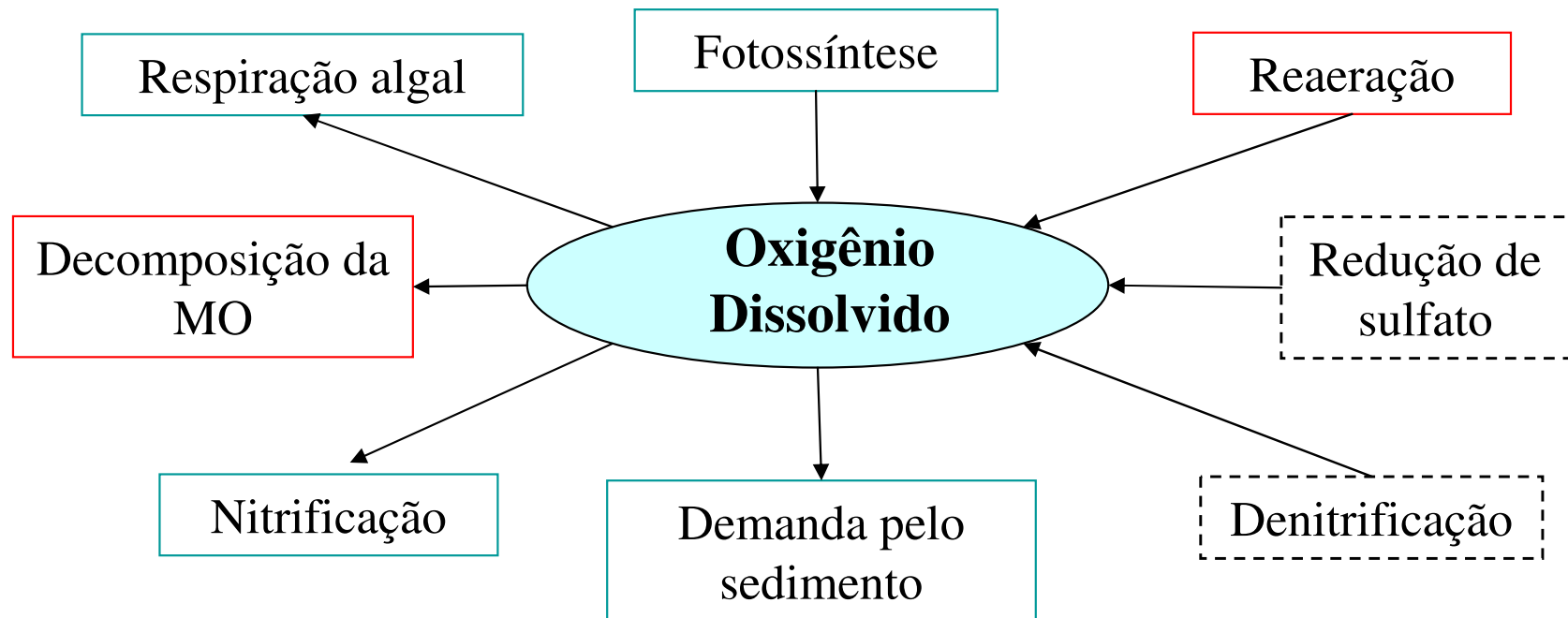


Modelagem, Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo QUAL2E

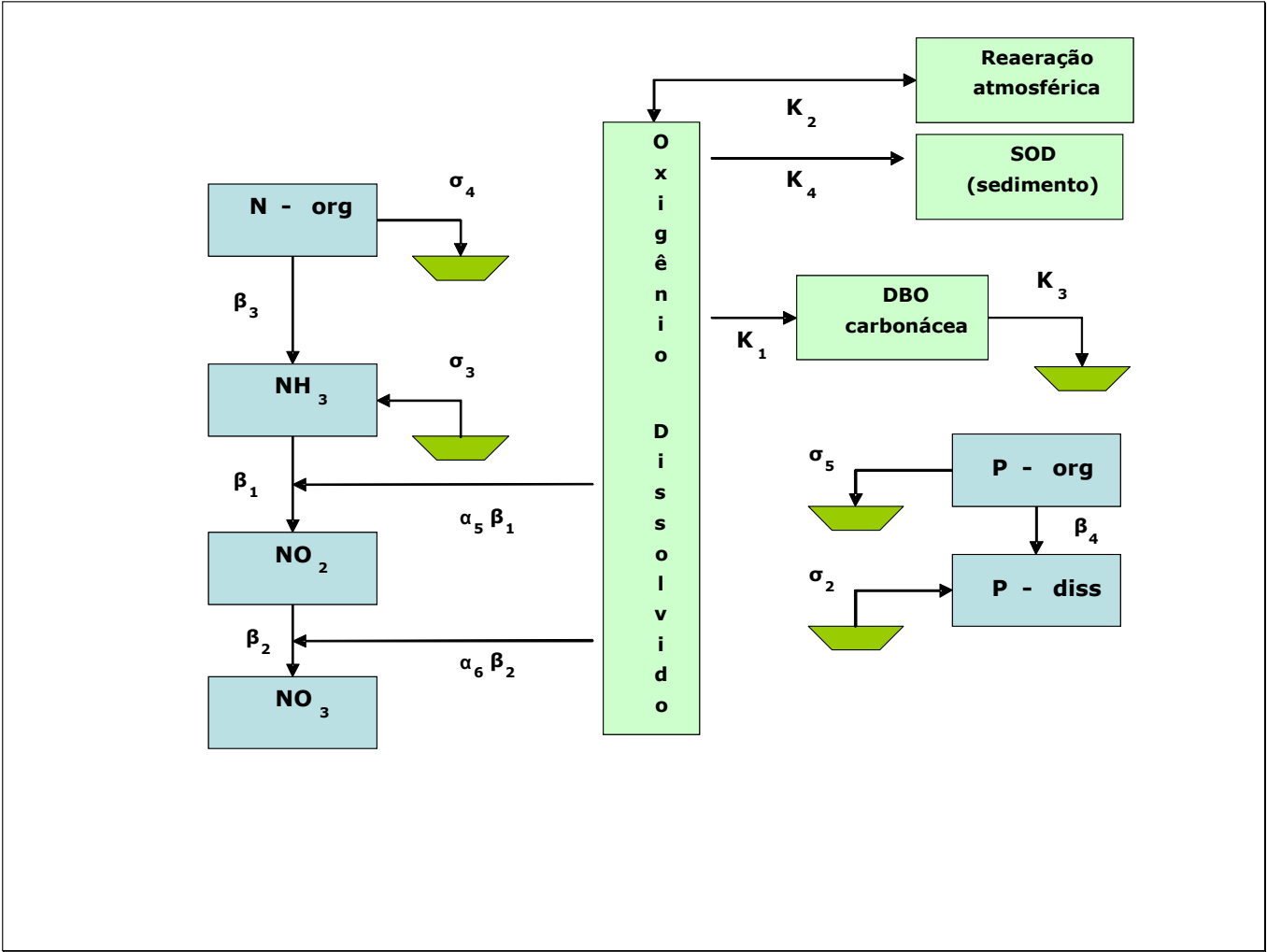


O modelo QUAL2E

∞ Utilização da formulação matemática proposta por Streeter – Phelps (1925), Brown e Barnwell (1985) e Chapra (1997);



Balanço de massa



Modelagem da DBO

$$\frac{d[DBO_R]}{dt} = -K_1[DBO_R] - K_3[DBO_R]$$

Modelagem do Fósforo

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \frac{\sigma_2}{d} - \alpha_2 \mu A$$

Modelagem de Algas

$$\frac{dA}{dt} = \mu A - \rho A - \frac{\sigma_1}{H} A$$

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) - K_1[DBO_R] - \frac{K_4}{H} - \alpha_5 \beta_1 N_1 - \alpha_6 \beta_2 N_2 + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A$$

Modelagem do Nitrogênio

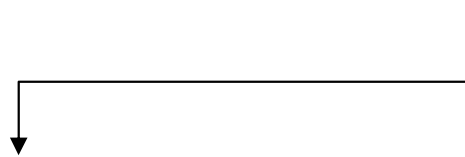
$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \frac{\sigma_3}{d} - F_1 \alpha_1 \mu A$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1 - F) \alpha_1 \mu A$$

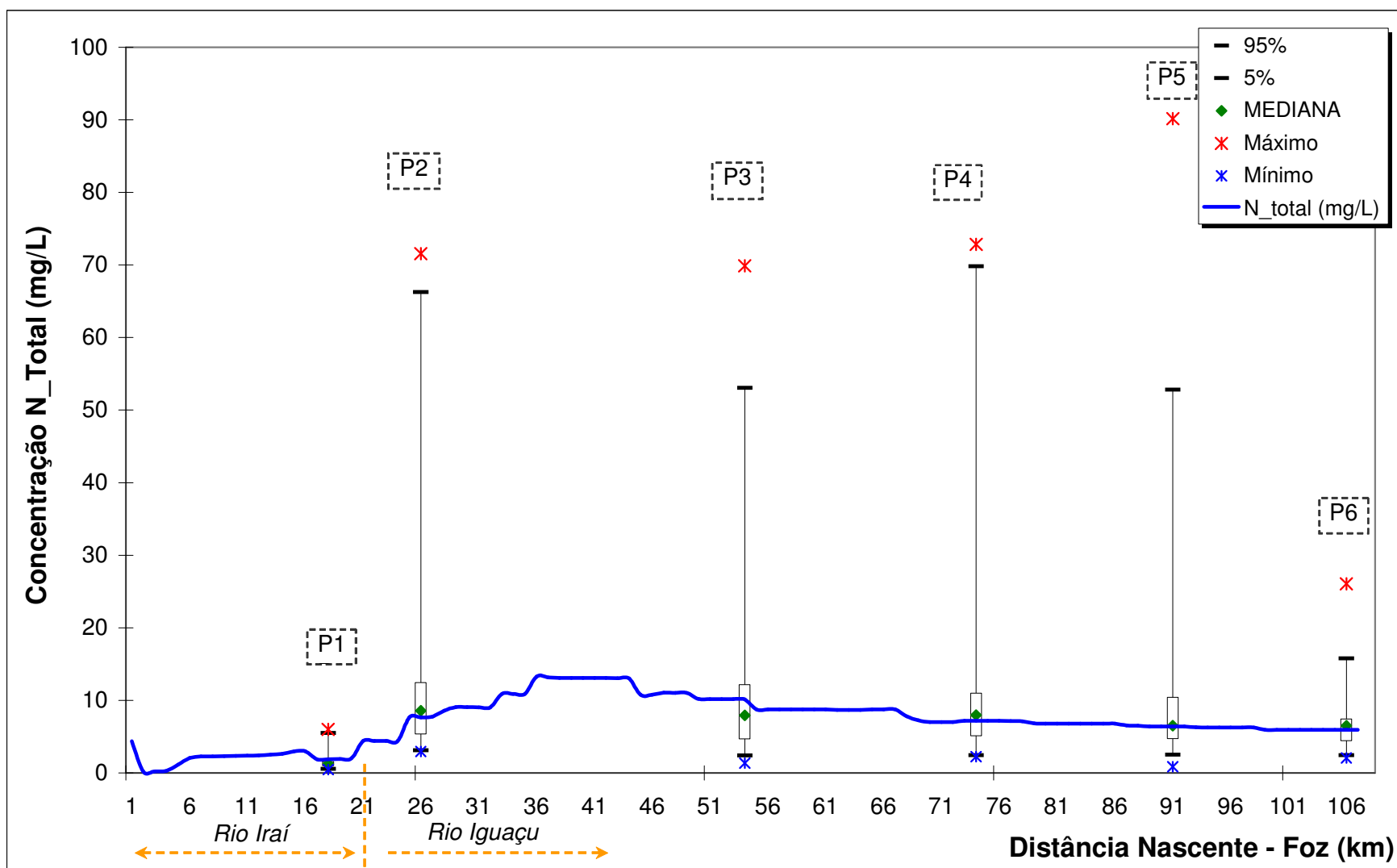
Modelagem do Oxigênio Dissolvido



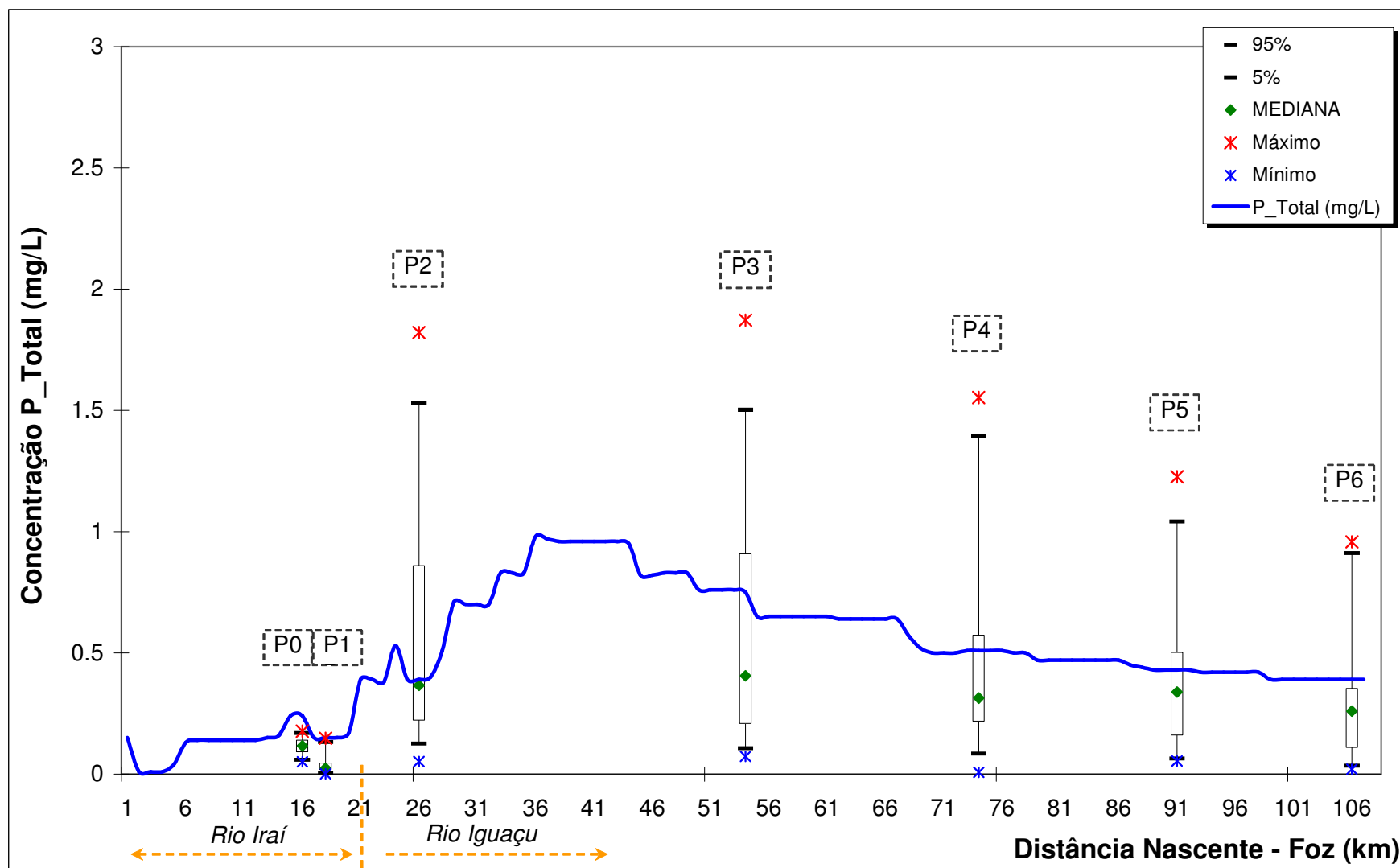
Análise de Sensibilidade

K_1	Desoxigenação carbonácea (d^{-1})
K_2	Reaeração atmosférica (d^{-1})
K_3	Sedimentação <i>DBO</i> (d^{-1})
K_4	Demanda de oxigênio pelo sedimento (g/m^2d)
β_1	Oxidação amônia (d^{-1})
β_2	Oxidação nitrito (d^{-1})
β_3	Decaimento <i>N_Org</i> para <i>N_NH₃</i> (d^{-1})
β_4	Decaimento <i>P_Org</i> para <i>P_Diss</i> (d^{-1})
σ_2	Taxa de aporte de <i>P_Diss</i> por fauna bentônica (g/m^2d)
σ_3	Taxa de aporte de <i>N_NH₃</i> por fauna bentônica (g/m^2d)
σ_4	Sedimentação de <i>N_Org</i> (d^{-1})
σ_5	Sedimentação de <i>P_Org</i> (d^{-1})
α_5	Taxa de consumo de oxigênio por unidade de <i>N_NH₃</i> oxidado (mg_O/mg_N)
α_6	Taxa de consumo de oxigênio por unidade de nitrito oxidado (mg_O/mg_N)

Calibração Nitrogênio Total



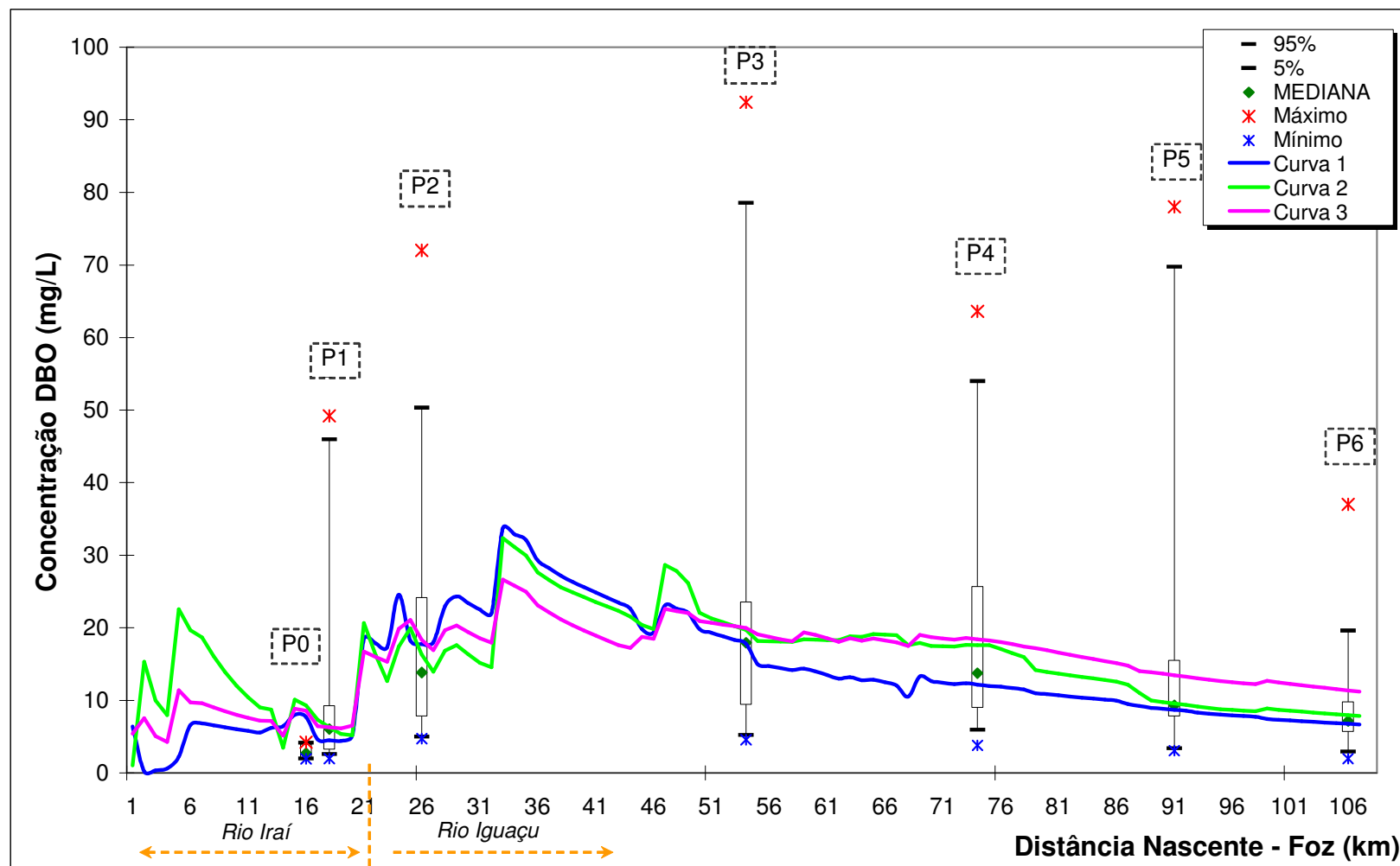
Calibração Fósforo



Comparação – Calibração DBO

Curvas 1 e 3 – Variação dos coeficientes por tentativa e erro;

Curva 2 – Calibração através de algoritmo genético: Kondageski (2008);

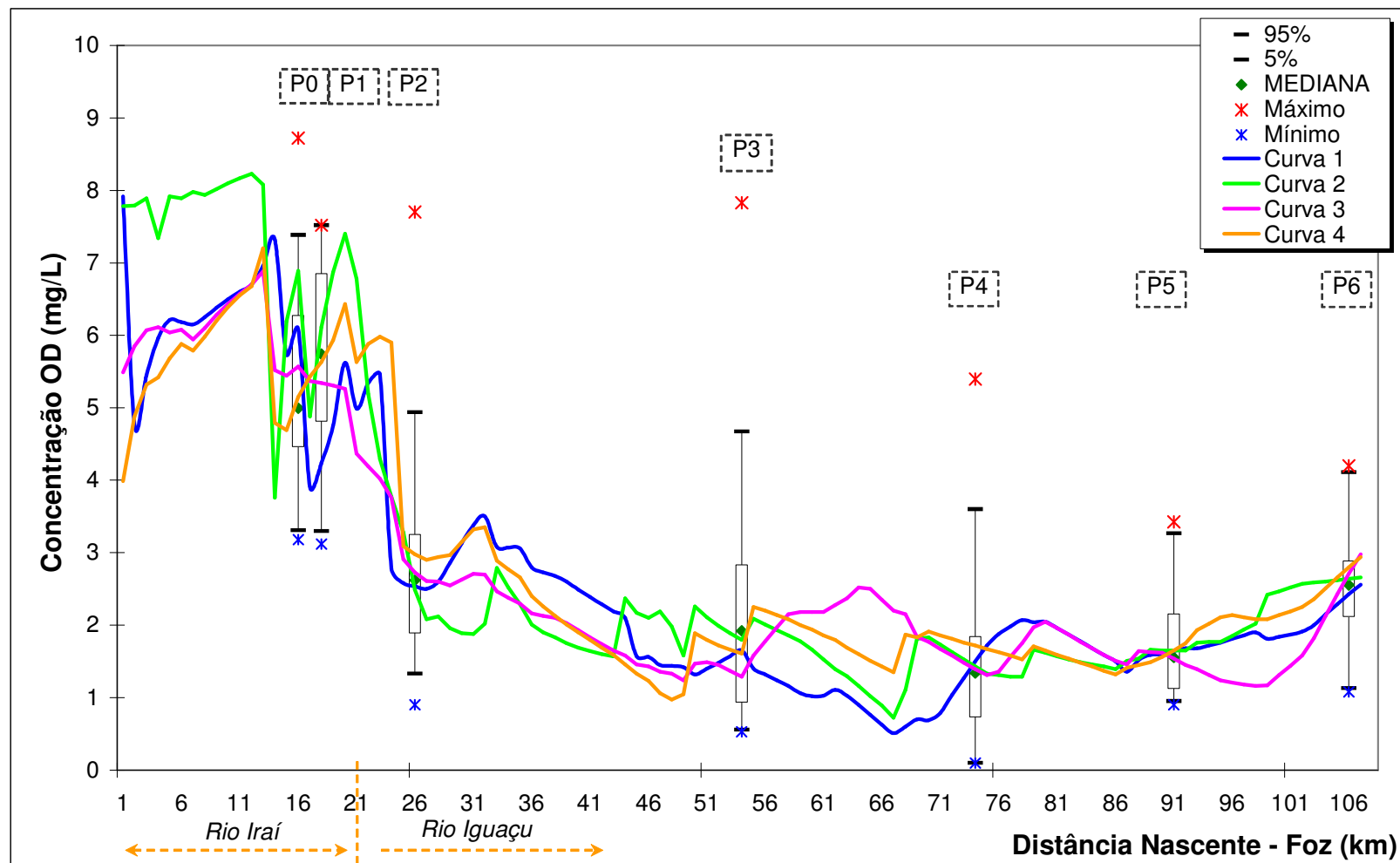


Comparação – Calibração OD

Curva 1 – Inclusão da modelagem de nitrogênio e fósforo;

Curva 2 - Calibração através de algoritmo genético: Kondageski (2008);

Curva 3 e 4 - Calibração através de tentativa e erro para simulação de OD e DBO: Porto *et al.* (2007)





Considerações Finais

Conclusões

Monitoramento de Campo

- ∞ O monitoramento de campo se mostrou importante e fundamental para o processo de calibração, visto a necessidade de se ter dados conjuntos de **QUANTIDADE** e **QUALIDADE**;
- ∞ A condição de **pouca vazão + muita gente** contribui para a baixa diluição dos poluentes, com melhora progressiva nos pontos P5 (Guajuvira) e P6 (Balsa Nova);
- ∞ Origem **alóctone antrópica** do carbono orgânico dissolvido (efluentes) = análise conjunta de parâmetros tradicionais de qualidade de água + espectroscopia.
- ∞ O rio Iguaçu, para a maior parte do trecho em estudo, encontra-se com padrões de qualidade fora de **Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05**, no entanto, em condições ainda possíveis de recuperação;

Conclusões

Calibração e Simulação do Modelo

- ∞ Modelagem implica calibração = **dados!!!**
- ∞ A combinação dos coeficientes utilizados na calibração do modelo **não é única**, indicando que é necessário avançar na sua determinação em campo;
- ∞ A **simulação para DBO, nitrogênio e fósforo** confirmam o estado de degradação da qualidade da água, reflexo também da qualidade da água nos afluentes Palmital, Atuba, Belém, Padilha e Barigüi.
- ∞ **Monitoramento + Modelagem** = ferramentas conjuntas para a gestão de recursos hídricos.

Estudos futuros...

- ∞ Avançar na otimização da matriz de fontes de poluição: atualização do cadastro de usuários, áreas de uso e ocupação do solo;
- ∞ Avançar no monitoramento, com a inclusão de novos parâmetros, nos procedimentos de coleta e determinação em laboratório, com a diminuição de incertezas e padronização dos métodos;
- ∞ Investigar a atividade biológica e o processo de reaeração, através da determinação dos coeficientes K_1 e K_2 ;
- ∞ Avançar nos procedimentos de calibração através de rotinas computacionais, com base em técnicas de otimização e inteligência artificial;
- ∞ Desenvolver um modelo de qualidade de água mais flexível.

Workshop sobre Monitoramento de Qualidade da Água em Bacias Urbanas

Muito Obrigada!!!

Heloise G. Knapik
heloise.dhs@ufpr.br