



WORKSHOP SOBRE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS URBANAS

MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS E RESERVATÓRIOS

José Rodolfo Scarati Martins EP-USP

Curitiba 21 Outubro 2009

Resumo

- Demandas para a modelação de QA
- Processos a modelar em CH
- Modelos disponíveis
- Exemplos de produtos obtidos com a modelação

Preliminares...

Modelo x Protótipo

Modelo x Software

Modelo x Dados

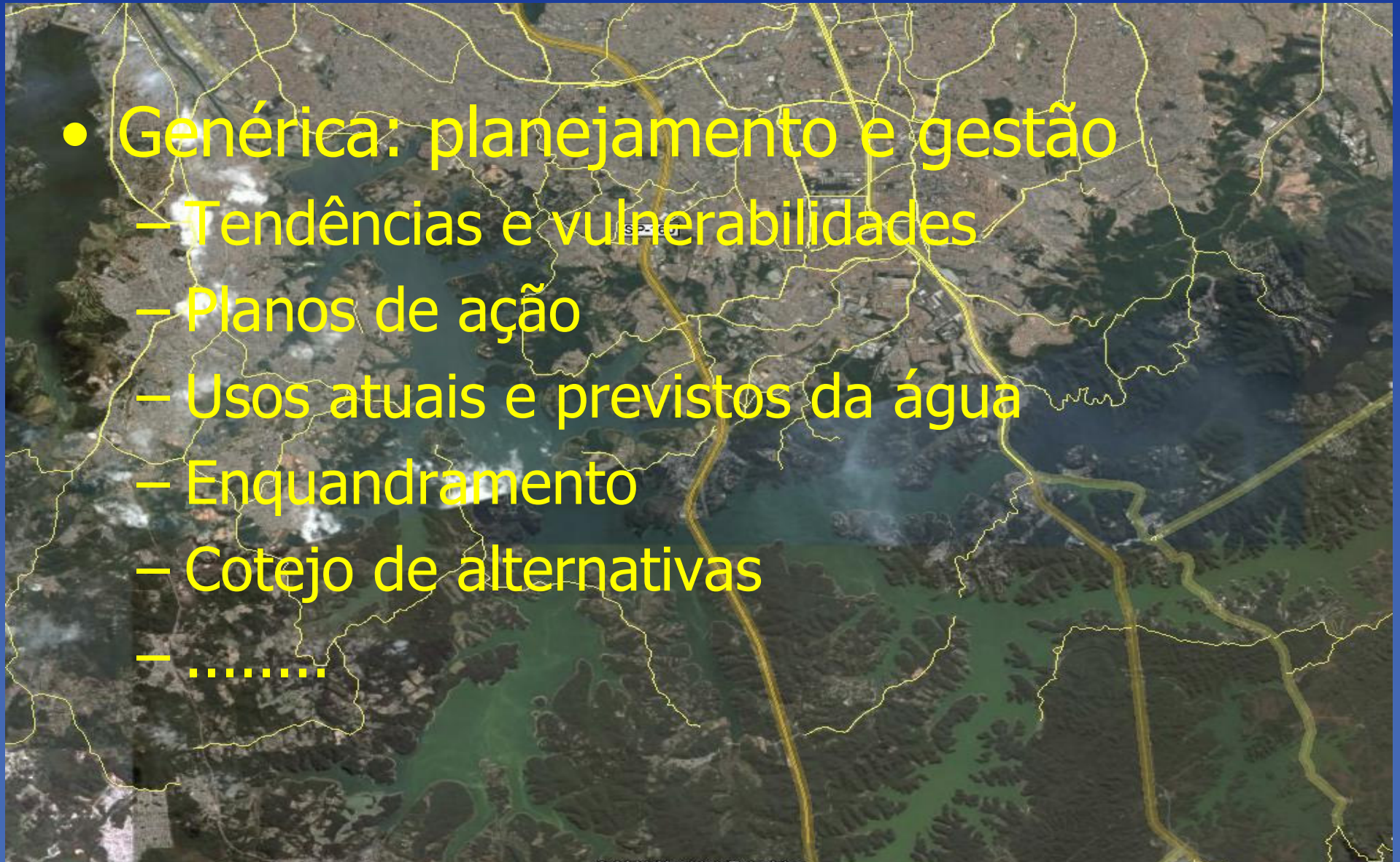
Modelo x Resultados

Modelo x Hipóteses

Modelo x Expectativas do Usuário

As demandas por modelação..

- Genérica: planejamento e gestão
 - Tendências e vulnerabilidades
 - Planos de ação
 - Usos atuais e previstos da água
 - Enquadramento
 - Cotejo de alternativas
 -



.....demandas.....

- Específica: impactos de empreendimentos
 - Grandes obras
 - Ocupação urbana
 - Acidentes Naturais
 -



Variáveis envol

- Oxigênio Dissolvido
- Demandas de Oxigênio
- Temperatura
- Nutrientes
- Fitoplancton & Vegetais
- Zooplancton & Animais
- Tóxicos & radioativos
- Sedimentos

Abordagem
clássica

Demanda Atual

Médio Prazo

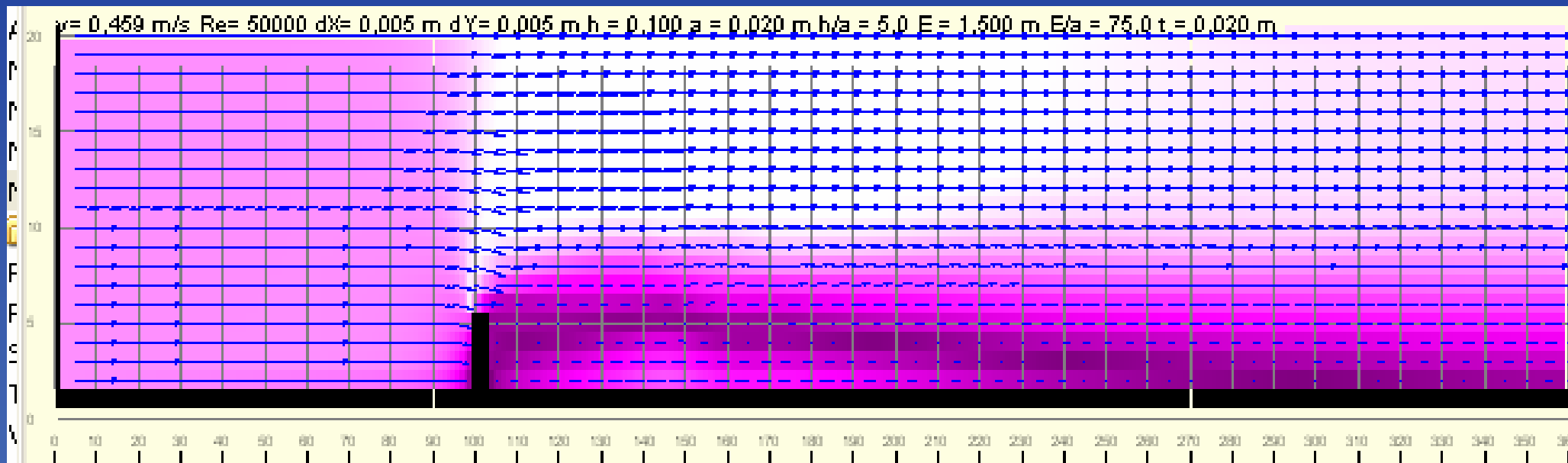
Desafios....

Processos em Rios e Lagos

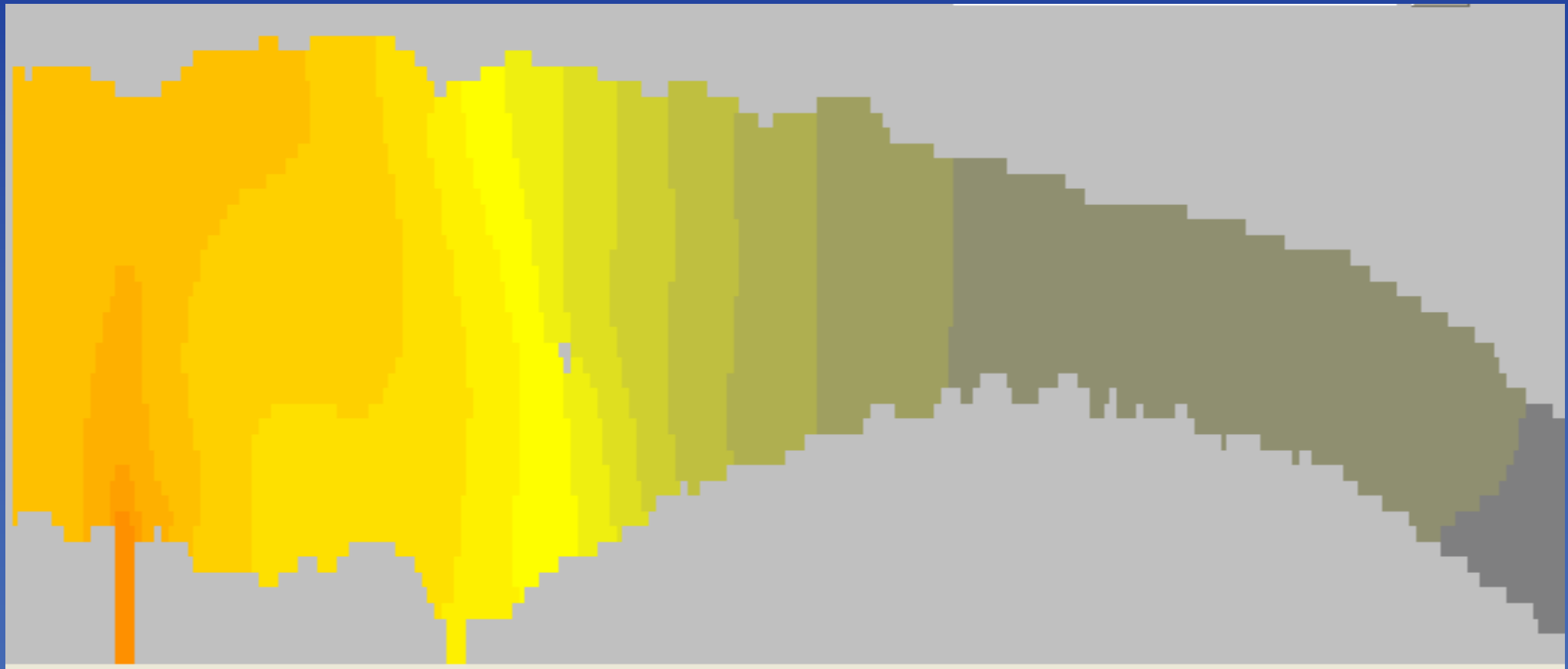
Os principais processos físicos e físico-químicos que afetam a evolução da concentração de constituintes presentes nos corpos aquáticos:

- Diluição Solubilização
- Advecção Arraste com o escoamento
- Dispersão Mistura turbulenta
- Sedimentação Precipitação, deposição
- Decaimento Consumo/crescimento através de processos químicos ou biológicos
- Segregação Térmica e/ou salina
Estratificação

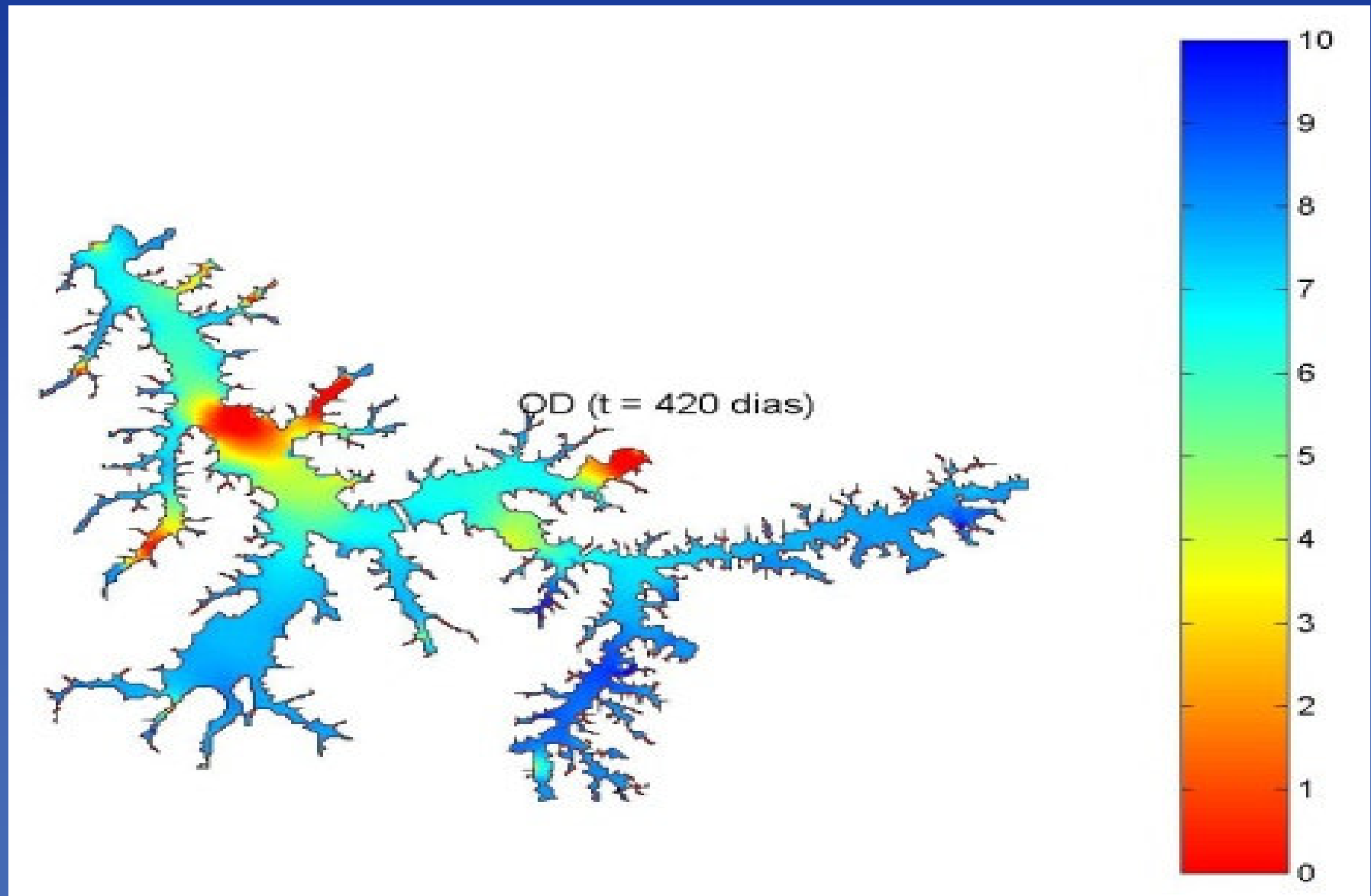
Advecção



Dispersão



Decaimento



O Modelo matemático

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

continuidade

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g \tau_{oy} - \frac{\tau_{wy}}{\rho} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \tau_{ox} - \frac{\tau_{wx}}{\rho} = 0$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g \tau_{oz} + (1 - \beta)(T - T_0) = 0$$

Quantidade de movimento

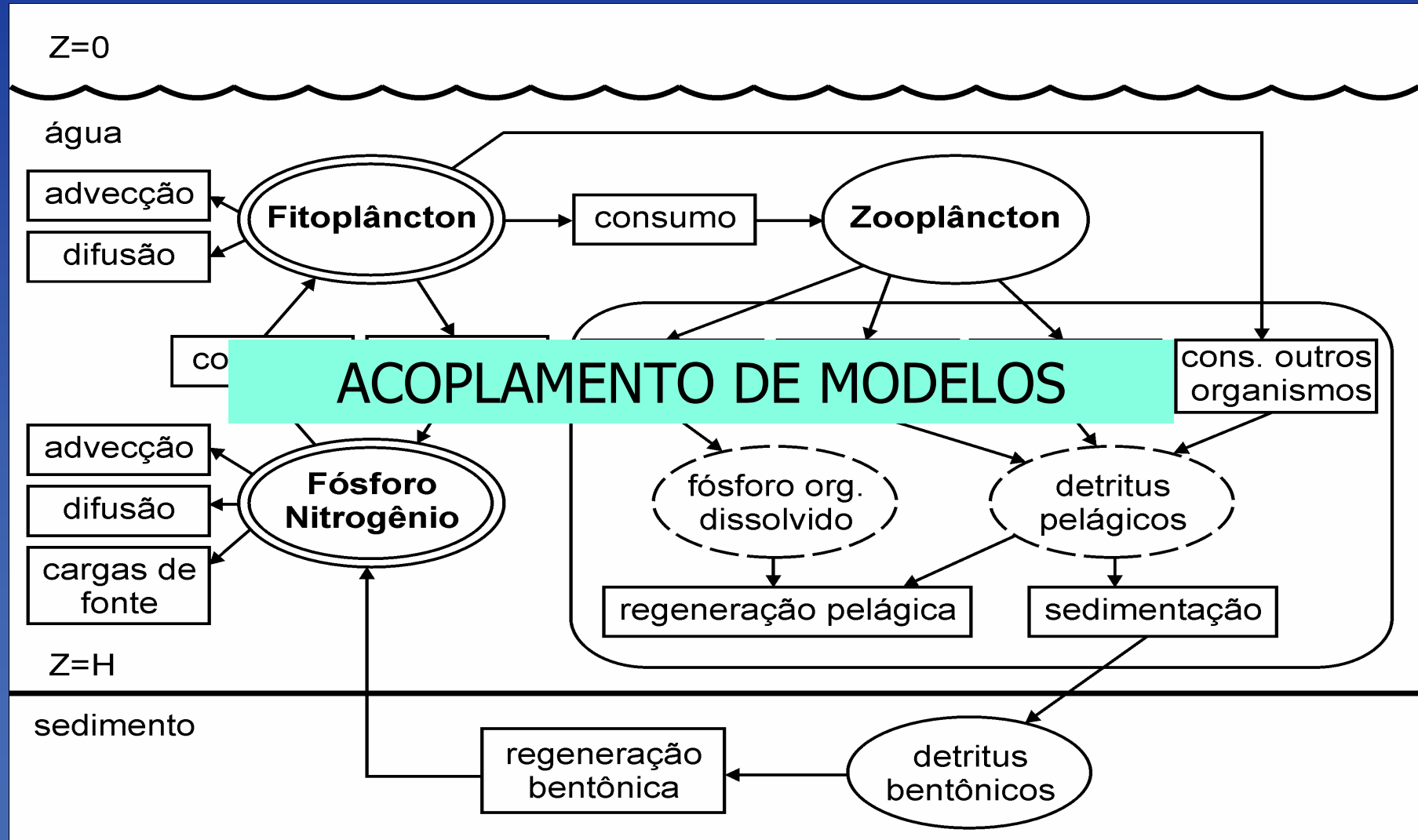
$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \Psi$$

temperatura

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) = \Theta$$

transporte

Compartimentos



Equações Cinéticas

$$\frac{\partial \text{Phyt}}{\partial t} = \underbrace{f_{\text{Phyt}}^{\text{PPH}}(\text{Phyt}, T, N, P, I)}_{\text{produção}} + \underbrace{f_{\text{Phyt}}^{\text{RES}}(\text{Phyt}, T)}_{\text{respiração}} + \underbrace{f_{\text{Phyt}}^{\text{MORT}}(\text{Phyt})}_{\text{mortalidade}} + \underbrace{f_{\text{Phyt}}^{\text{GRA}}(\text{Phyt}, T)}_{\text{consumo}} + \underbrace{f_{\text{Phyt}}^{\text{SED}}(\text{Phyt})}_{\text{sedimentação}}$$

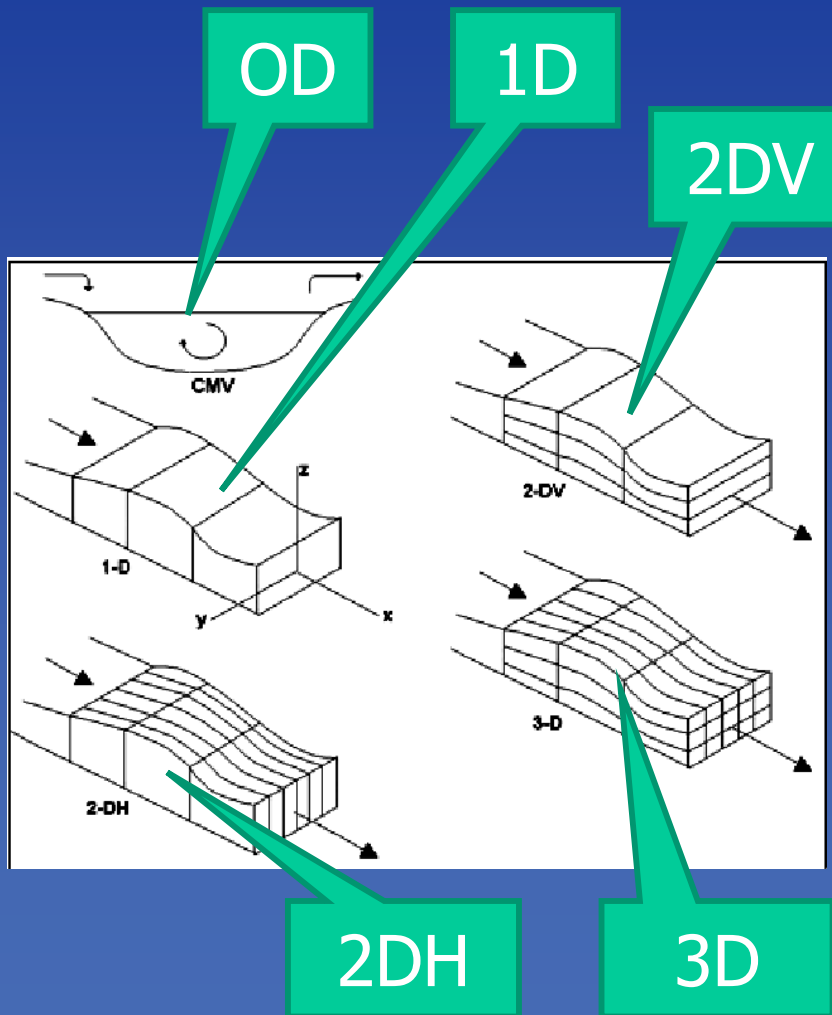
$$\frac{\partial NT}{\partial t} = \underbrace{f_{NT}^{\text{PPH}}(\text{Phyt}, T, N, P, I)}_{\text{assimilação}}$$

$$\frac{\partial PT}{\partial t} = \underbrace{f_{PT}^{\text{PPH}}(\text{Phyt}, T, N, P, I)}_{\text{assimilação}} + \underbrace{f_{PT}^{\text{SED}}(P)}_{\text{sedimentação}}$$

$$\frac{\partial OD}{\partial t} = \underbrace{f_{\text{DBO}}^{\text{MIN}}(T, \text{DBO})}_{\text{mineralização}} + \underbrace{f_{\text{O}_2}^{\text{NIT}}(T, OD)}_{\text{sedimentação}} + \underbrace{f_{\text{O}_2}^{\text{PP}}(\text{Phyt}, T)}_{\text{produção primária}} + \underbrace{f_{\text{O}_2}^{\text{RES}}(\text{Phyt}, T, F)}_{\text{respiração}} + \underbrace{f_{\text{O}_2}^{\text{SD}}(T, \text{Vento})}_{\text{reaeração}}$$

$$\frac{\partial \text{DBO}}{\partial t} = \underbrace{f_{\text{DBO}}^{\text{MIN}}(T, \text{DBO})}_{\text{mineralização}}$$

Representação espacial



- Compromisso entre as forçantes do fenômeno, dados disponíveis e as respostas desejadas
- Modelos simples podem dar respostas melhores em problemas onde os dados são limitados
- Não existem limites tecnológicos, em geral as limitações estão nos dados

Plug-ins

- Topologia do sistema: bases de dados topográficos e batimétricos, cota-volume, gerador de grids e malhas
- Hidrologia: chuva, vazões
- Meteorológicos: radiação, vento, temperatura do ar
- Cargas: concentradas, difusas, atmosféricas
- Gerador de Resultados

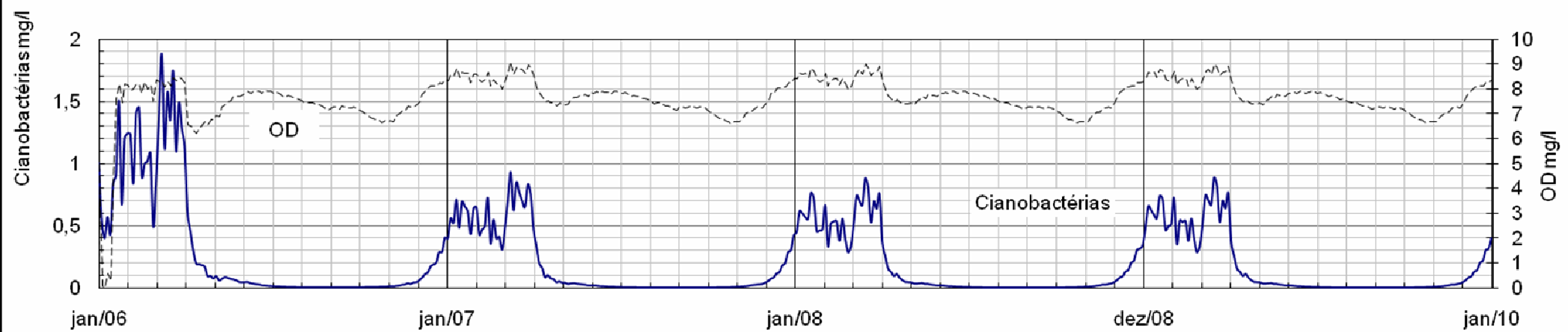
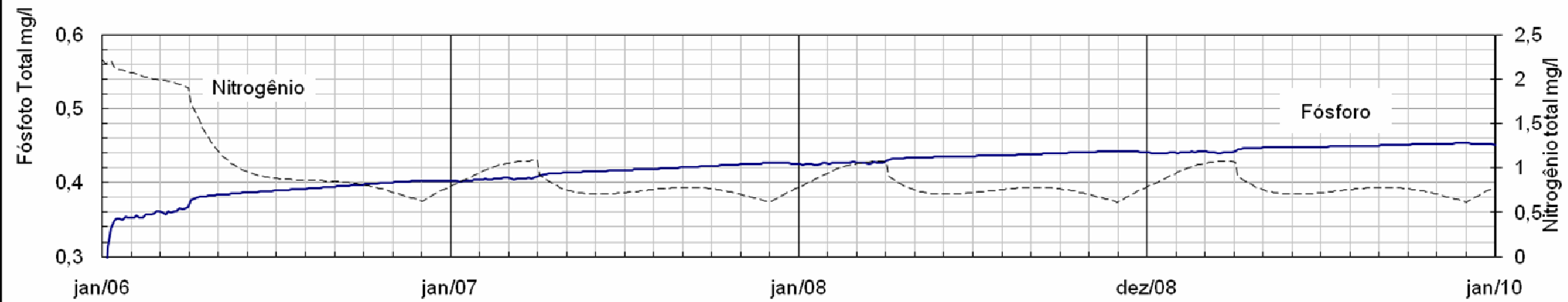
Aplicações Usuais

- Zero D: segmentos de rios, lagos e reservatórios, todos os processos (AQUATOX, AQUASIM)
- 1 D: rios, estuários sem estratificação, despreza-se a dispersão (QUAL 2K)
- 2 DV: estuários e reservatórios com estratificação(CE-QUAL-W2)
- 2 DH: lagos e estuários rasos (CORMIX, ELCOM)
- 3 D: caso geral onde a circulação vertical e horizontal são importantes (ELCON, CFD)

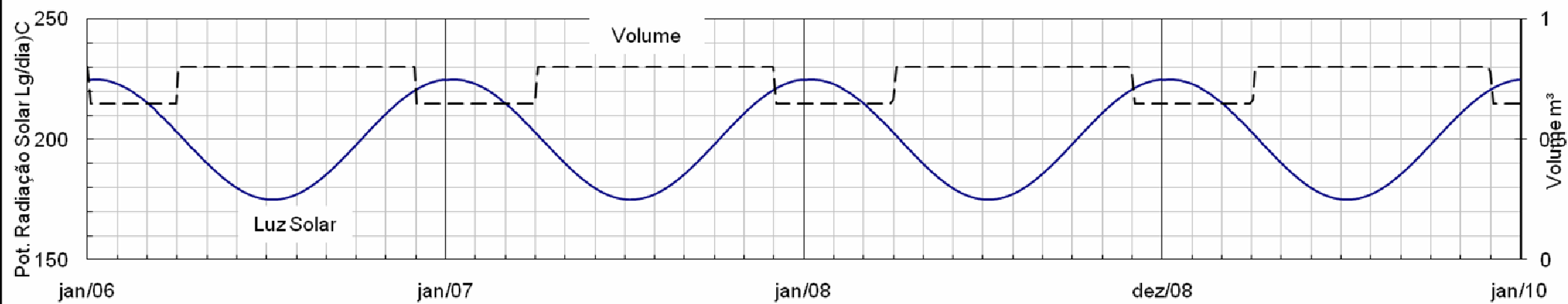
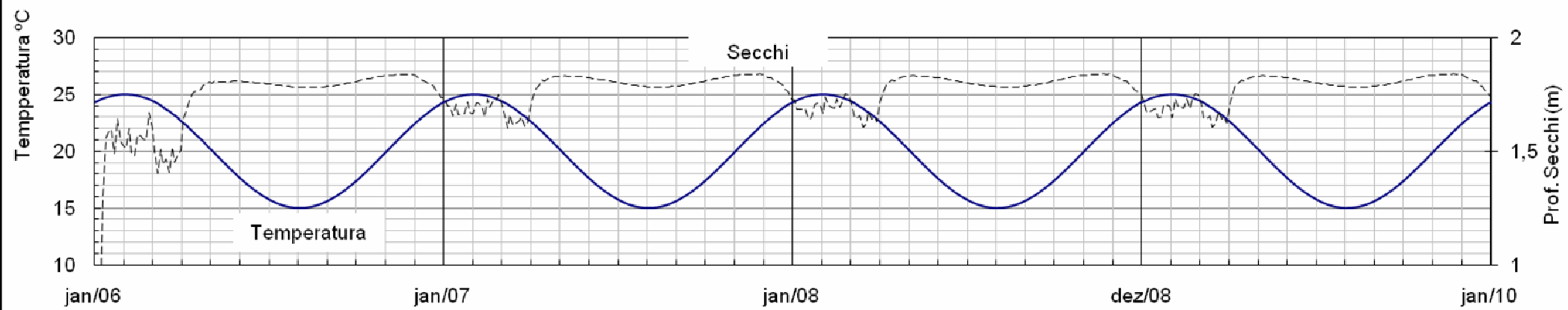
Aquatox (Park & Clough, 2009)

- Curva Cota x Área x volume
- Prof. Média e máxima
- Comprimento no sentido principal
- Velocidade e tempo de retenção
- Purga
- Profundidade de mistura
- Dispersão vertical
- Temperatura
- Luz e tempo de insolação
- Vento
- Algas

Produtos



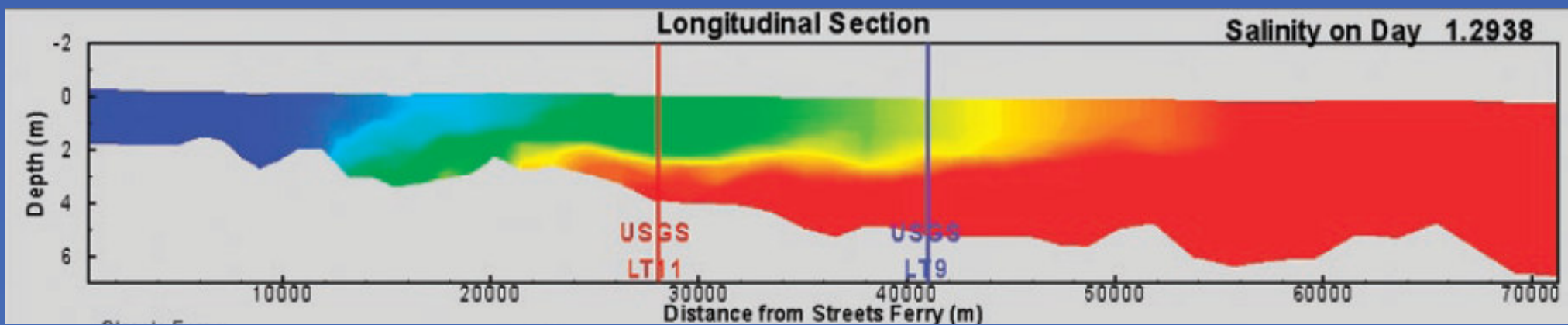
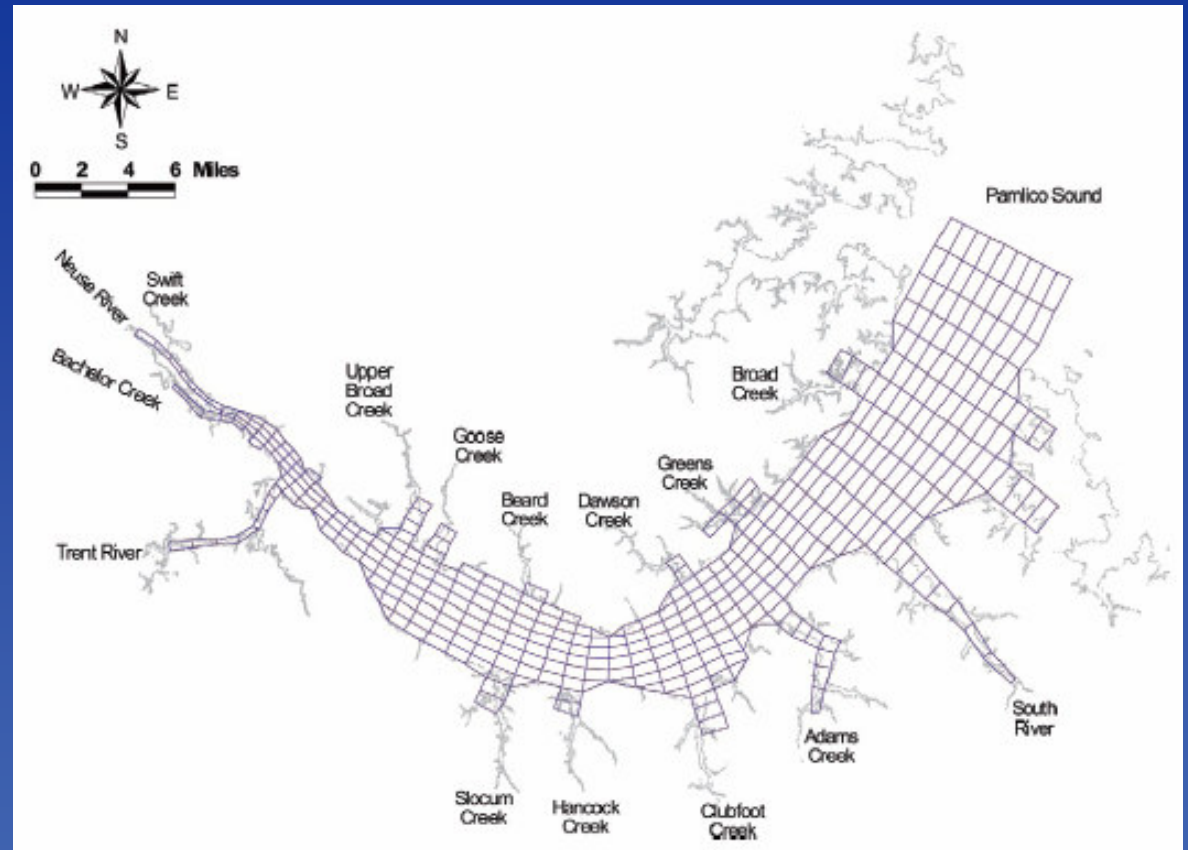
Resultados



1,2 e 3D – EFDC (EPA, 2008)

- Interface GIS
- Gerador automático de grid e malha
- Integrado com outros modelos EPA, como o BASINS e o WASP (modelos geradores de carga)
- Software de interface pouco lógica

EFDC : Produtos



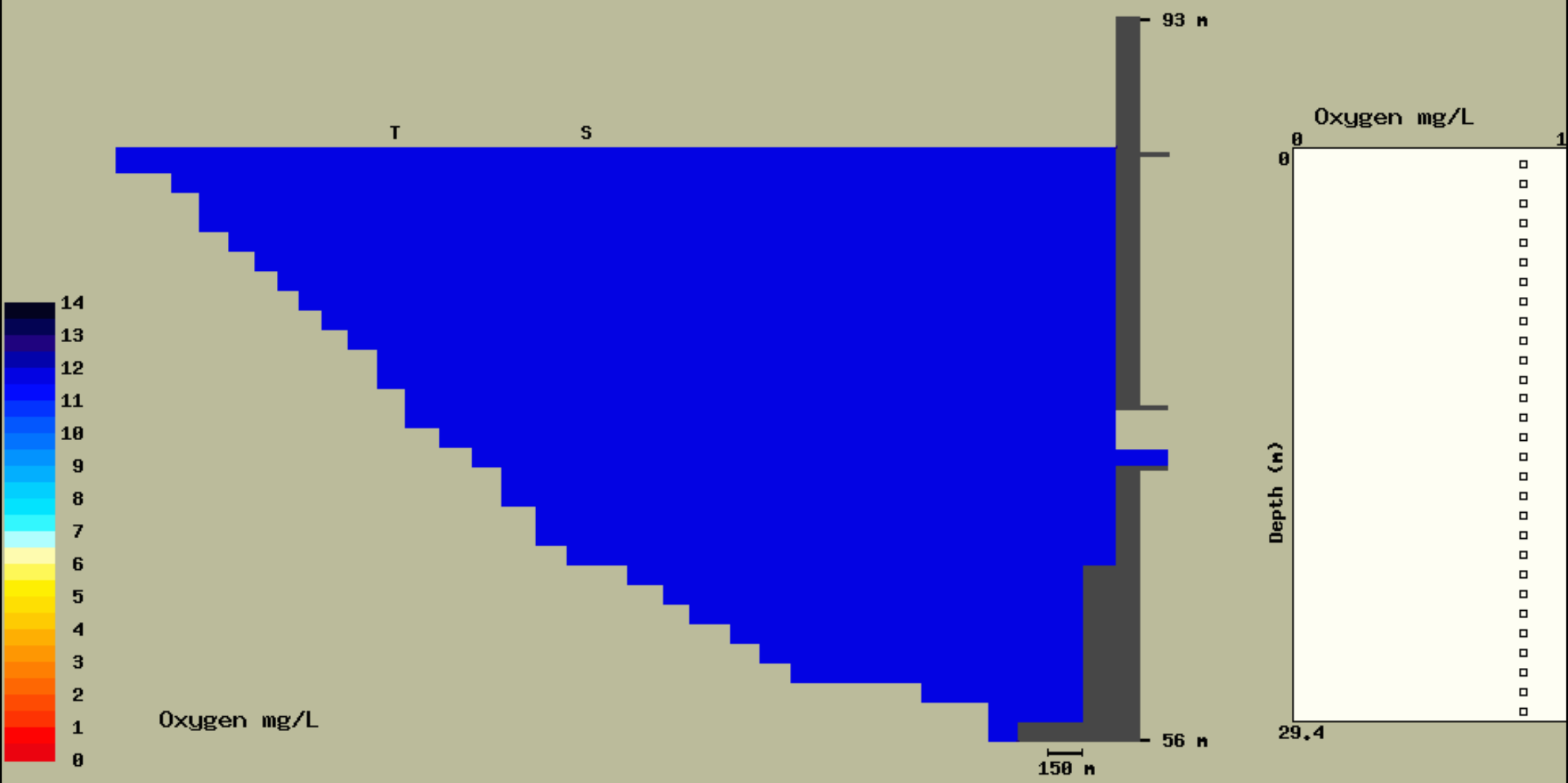
2 DV:CE-QUAL-W2 (Cole & Wells, 2008)

- Hidrodinâmico
- Bidimensional vertical médio-horizontal
- Qualquer número de constituintes genéricos
- Nutrientes
- Matéria orgânica
- Quase 3D

Henry Hagg Lake, OR

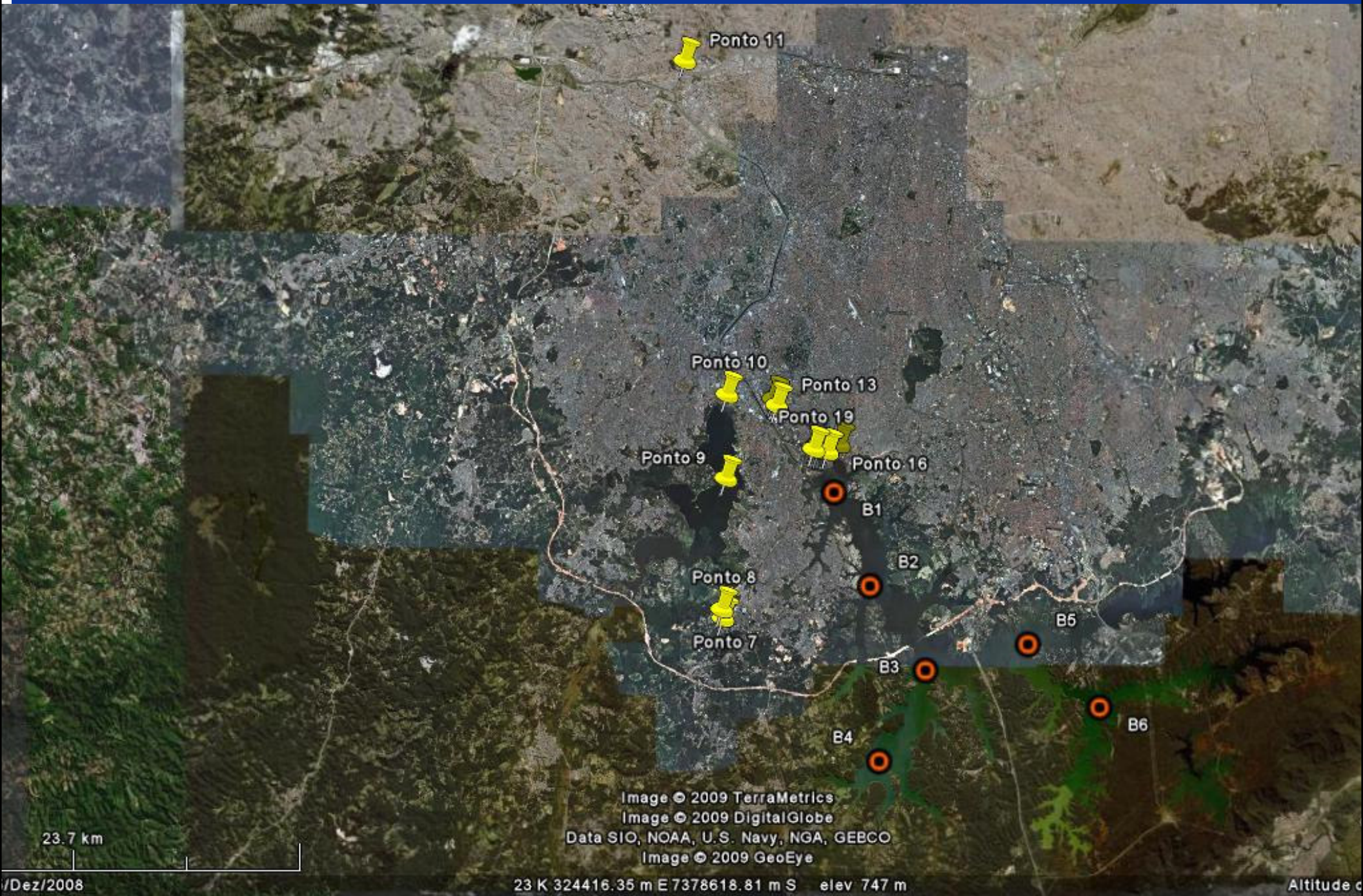
January 1, 2000

day 1.1



2 DH: O Reservatório Billings

- Histórico
 - 1923 – Início (Billings e Henry Borden)
 - 1928 – Projeto Serra (Reversão)
 - 1980 – Reservatório do Rio Grande
 - 1990 – Artigo 46
 - 2000 – Captação da SABESP
 - 2009 – Lei Específica





330000

340000

350000

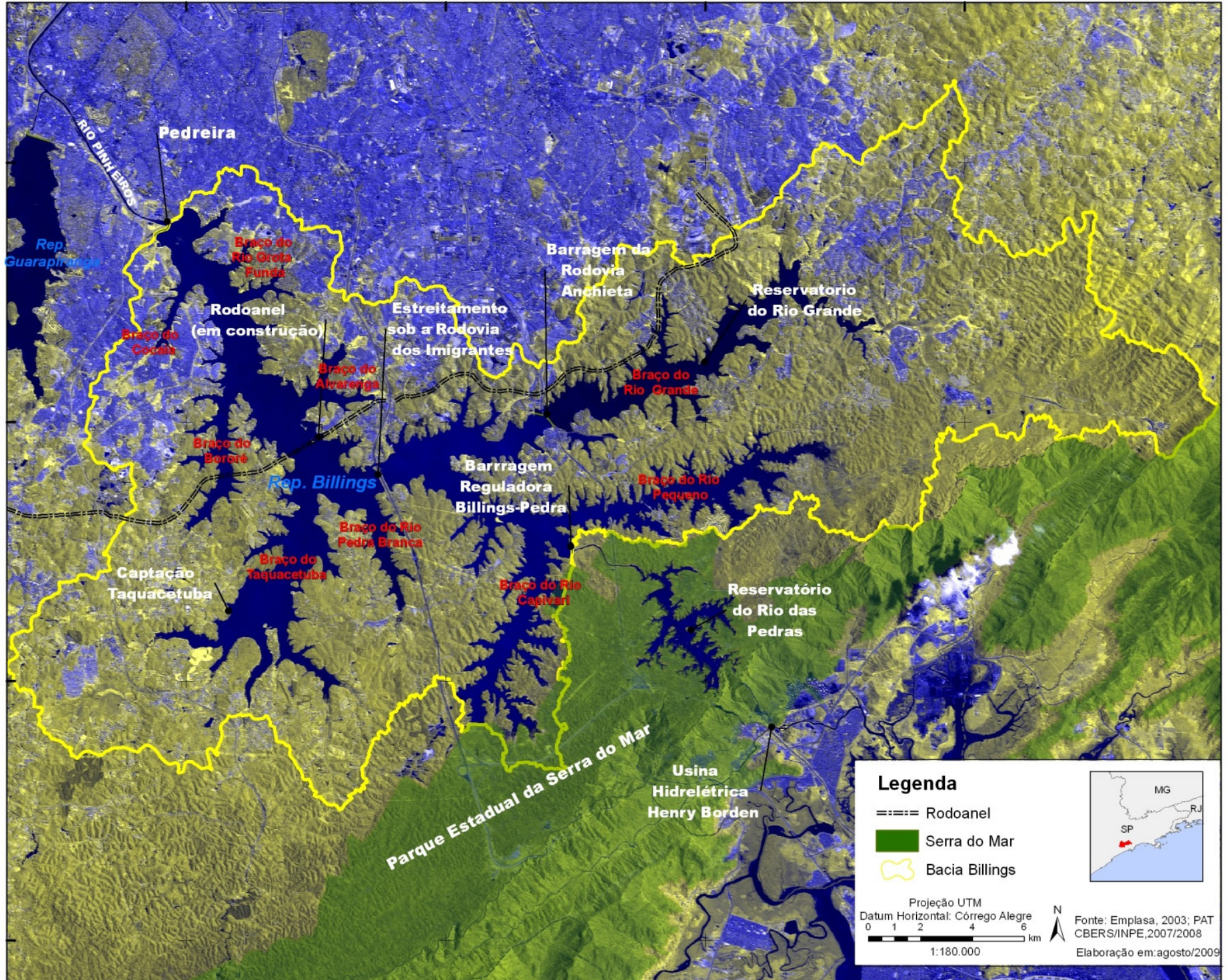
360000

0000

0000

0000

0000



Legenda

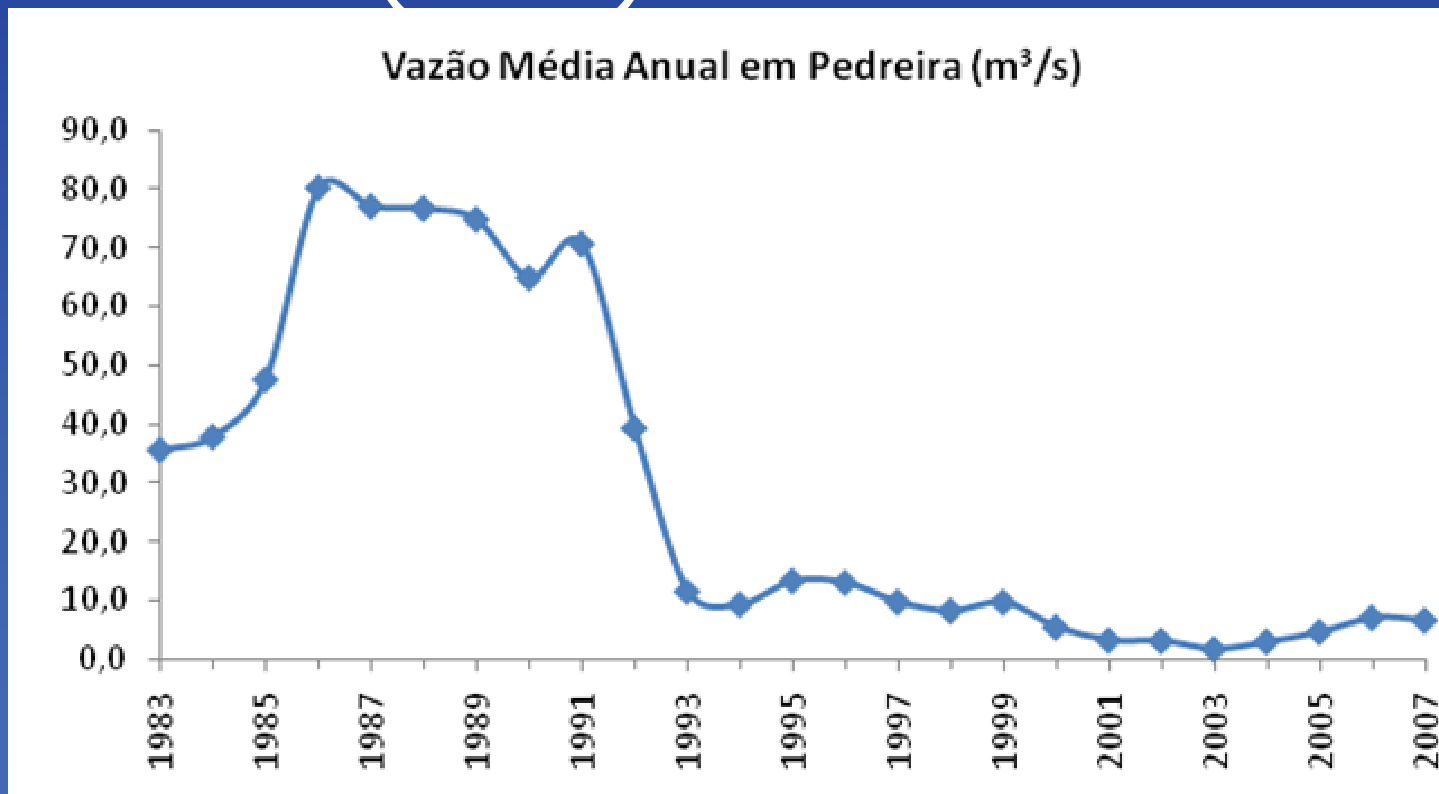
- ==== Rodoanel
- Serra do Mar
- Bacia Billings

Projeção UTM
 Datum Horizontal: Córrego Alegre
 0 1 2 4 6 km
 1:180.000

Fonte: Emplasa, 2003; PAT CBERS/INPE, 2007/2008
 Elaboração em: agosto/2009

O Reservatório Billings

- Histórico (cont.)



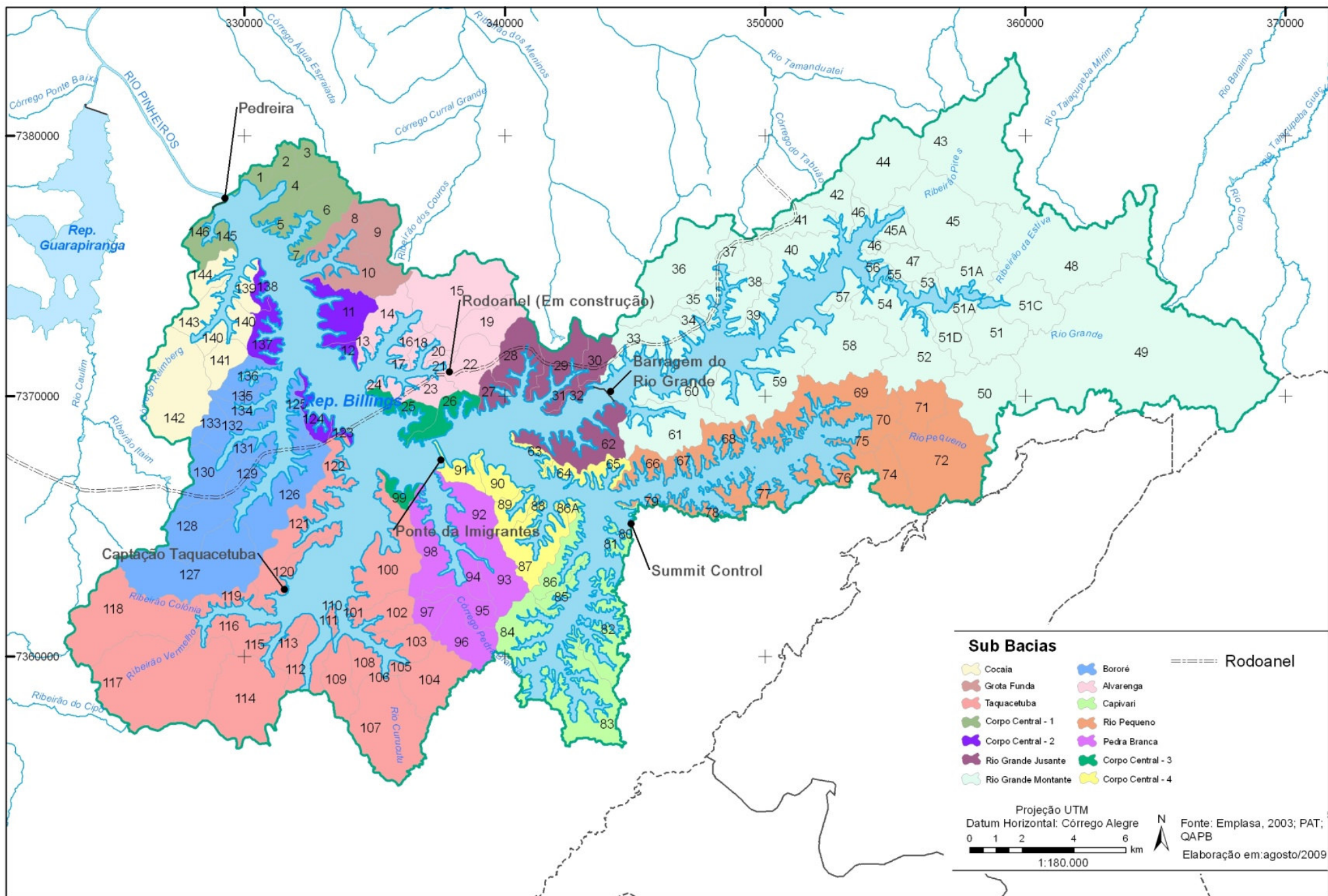
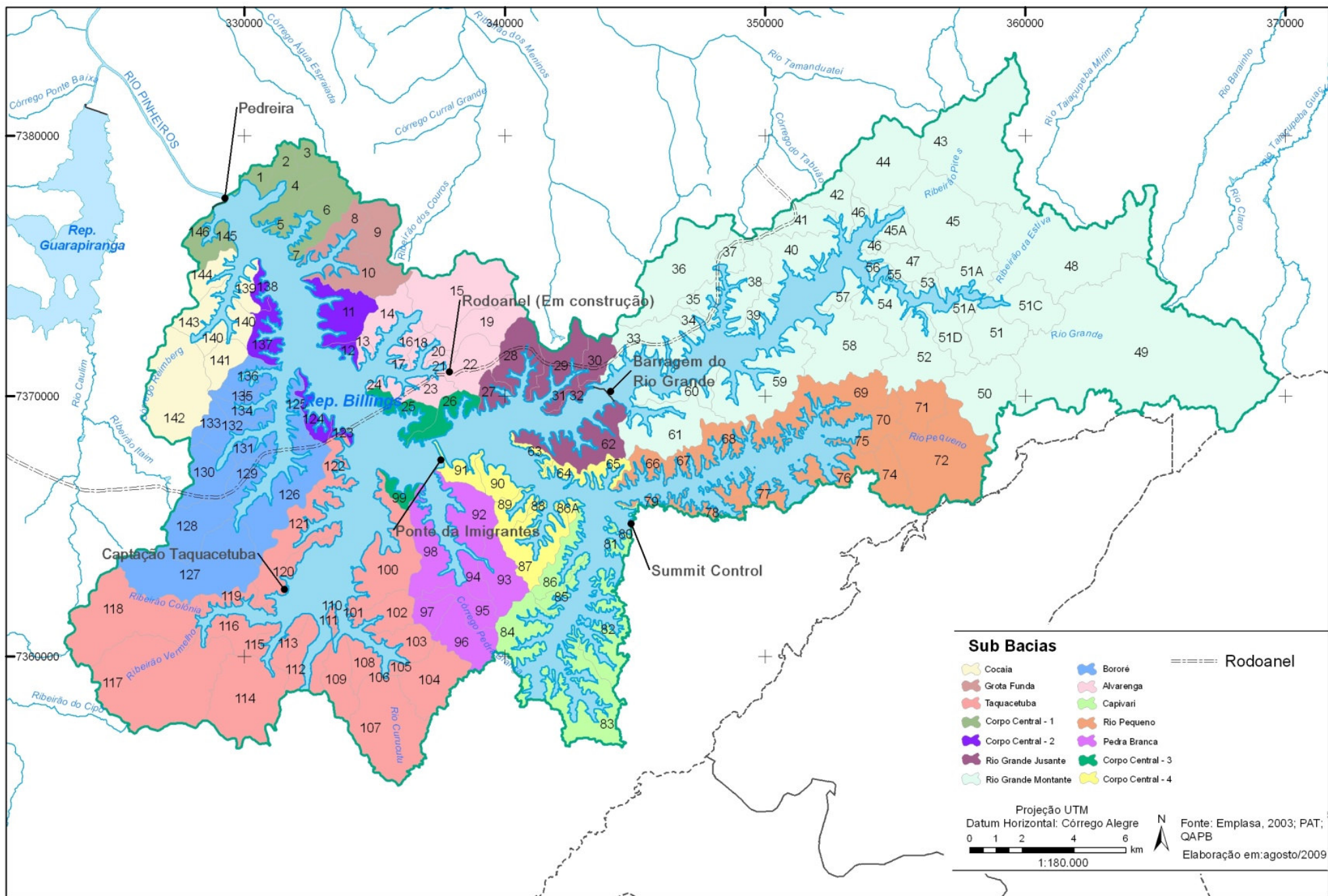
O Reservatório Billings

- Hoje
 - Usos Múltiplos
 - Geração de energia;
 - Abastecimento público;
 - Controle de cheias;
 - Lazer, pesca, agricultura, criação de animais, etc.

CONFLITOS

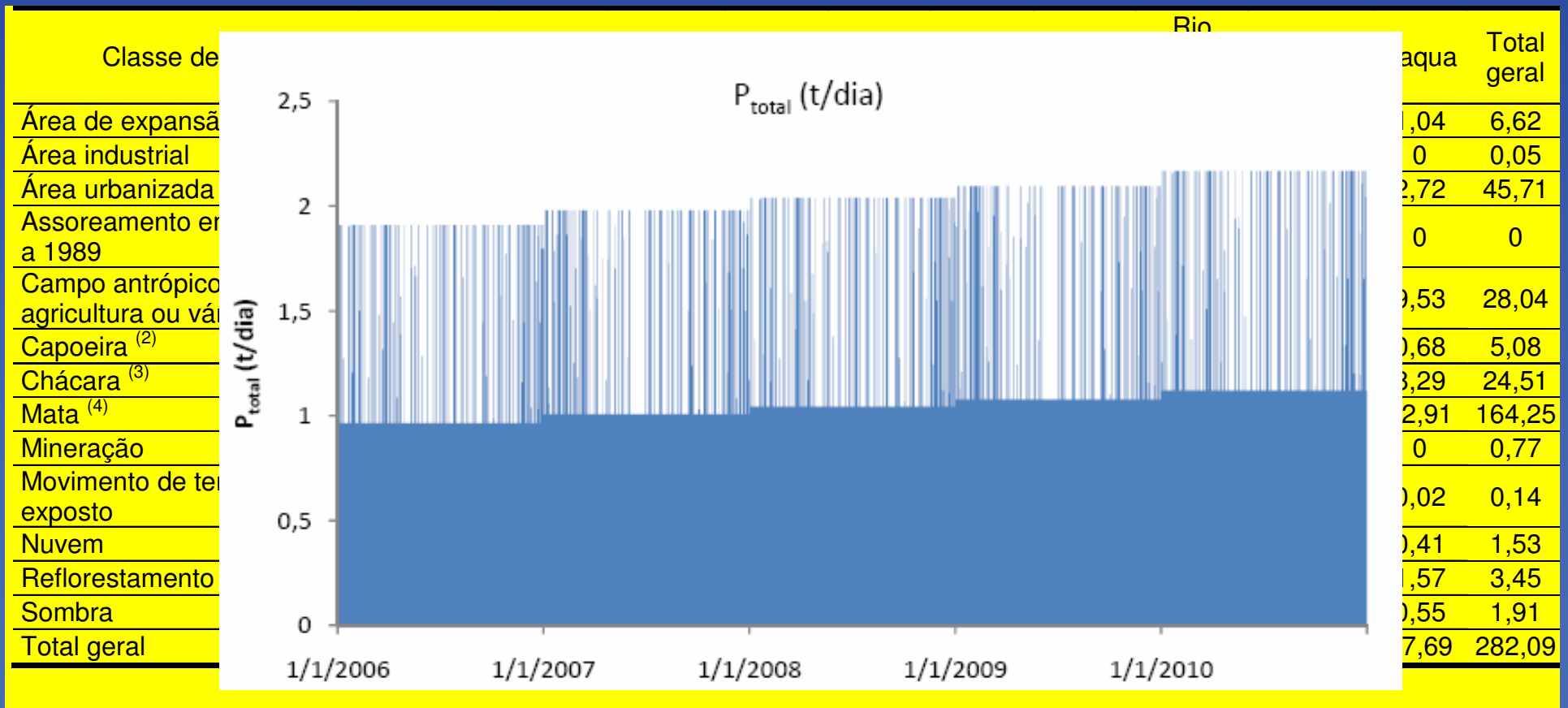
Quantidade e Qualidade

Flotação



O Reservatório Billings

- Bacia
 - Uso do solo

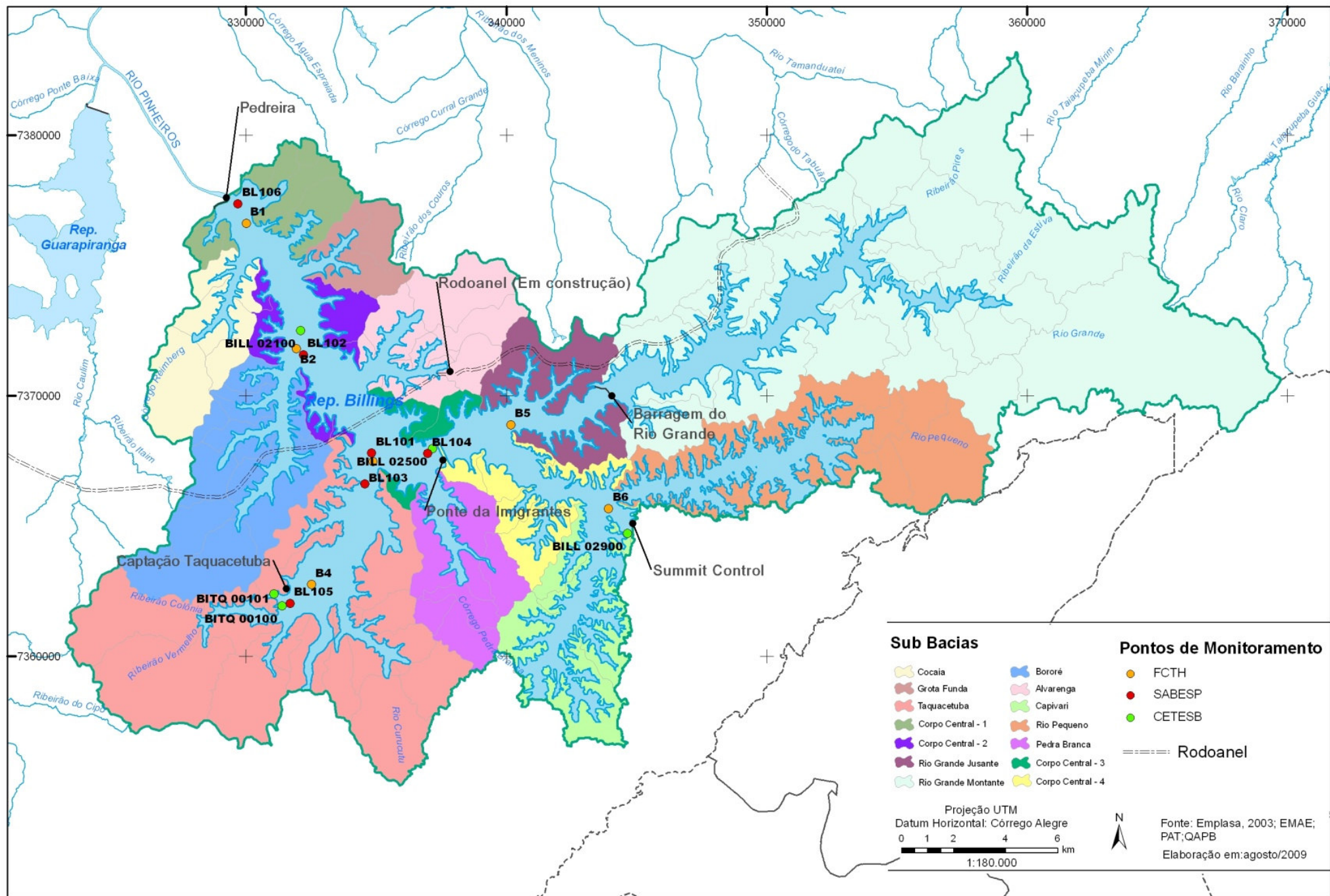


Modelo IPH-ECO

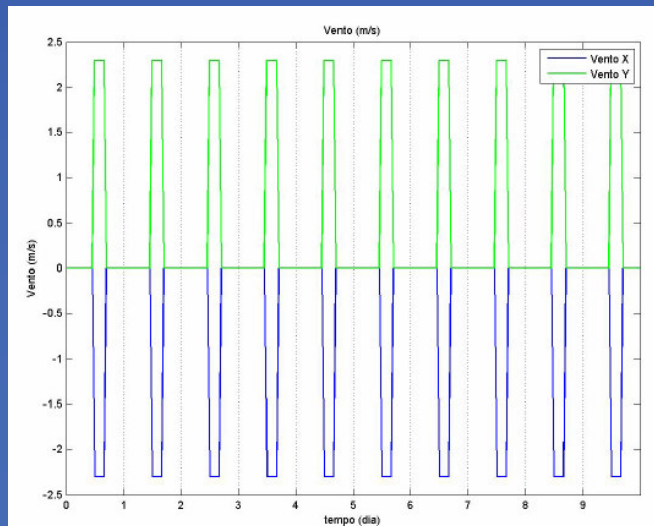
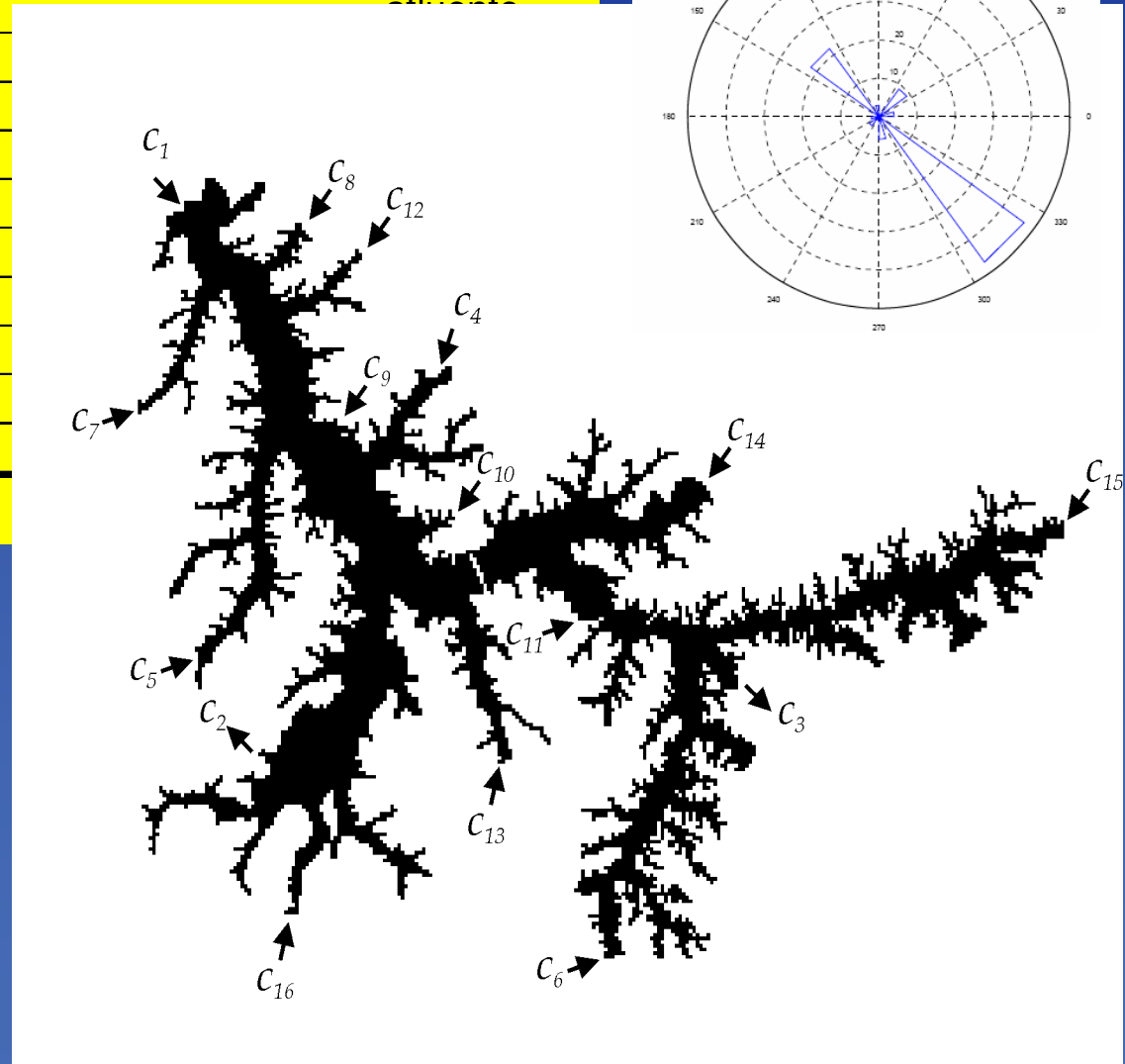
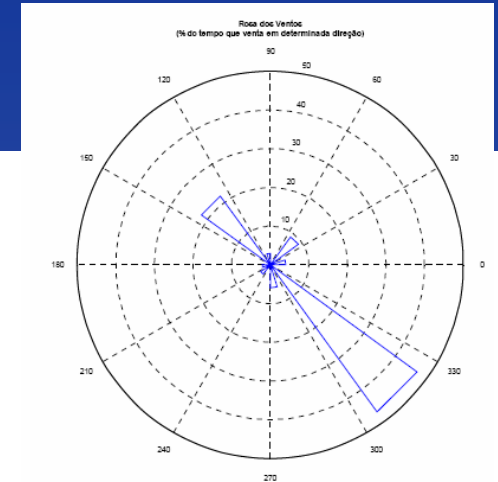
- Hidrodinâmico
 - Esquema Numérico de Casulli (1990)
 - Ponderador Temporal variável
 - Algoritmo de secagem e inundação de células
 - Simula Nutrientes e fitoplâncton

Calibração

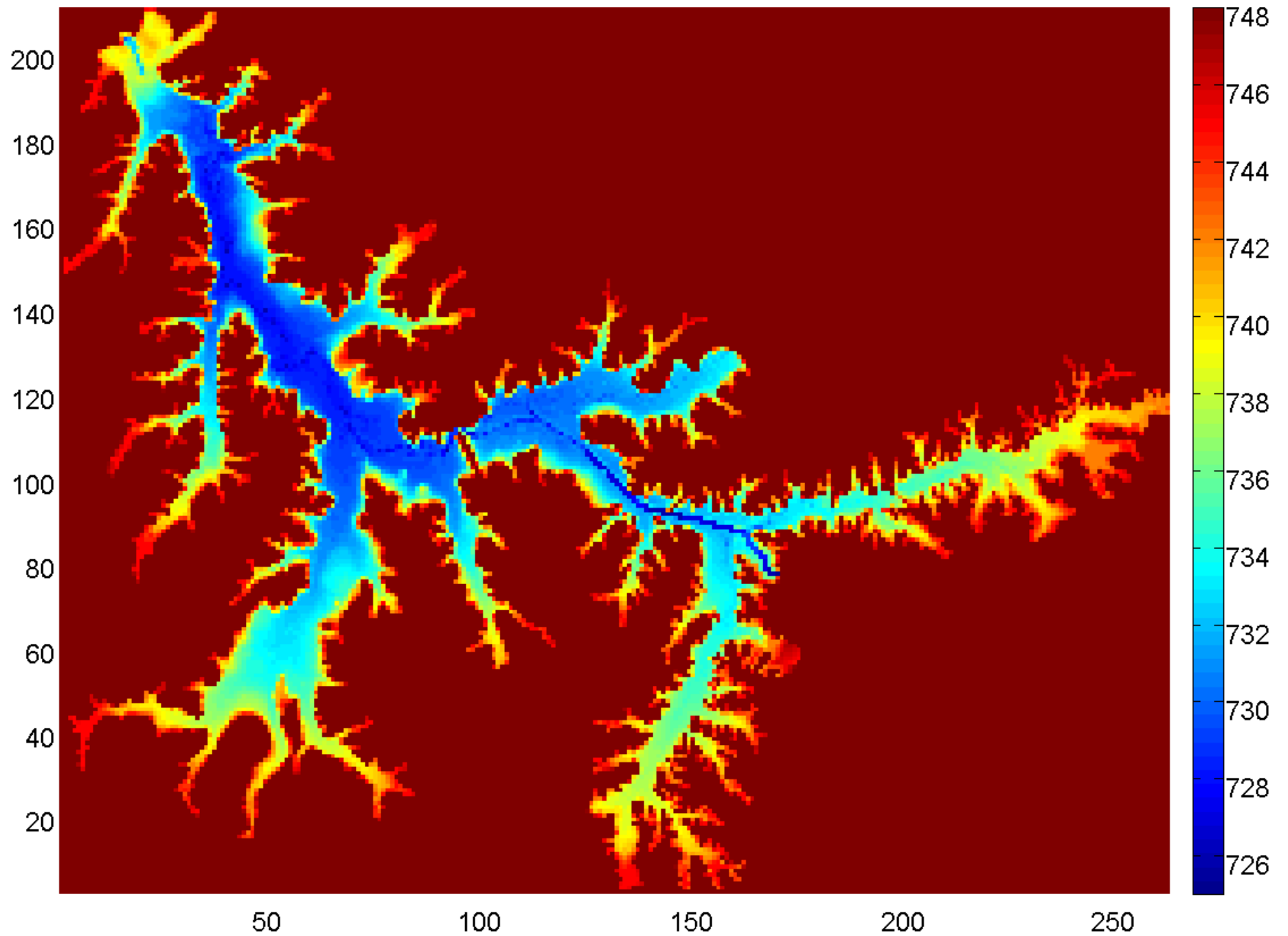
- Modelo 2D-H, 100 x 100, $\Delta t = 120$ s
- 18 meses de simulação (01/07/2006 e 31/12/2007);
- T, OD, NT, PT, DBO e clorofila-a;
- Hidrologia mediana típica do período.



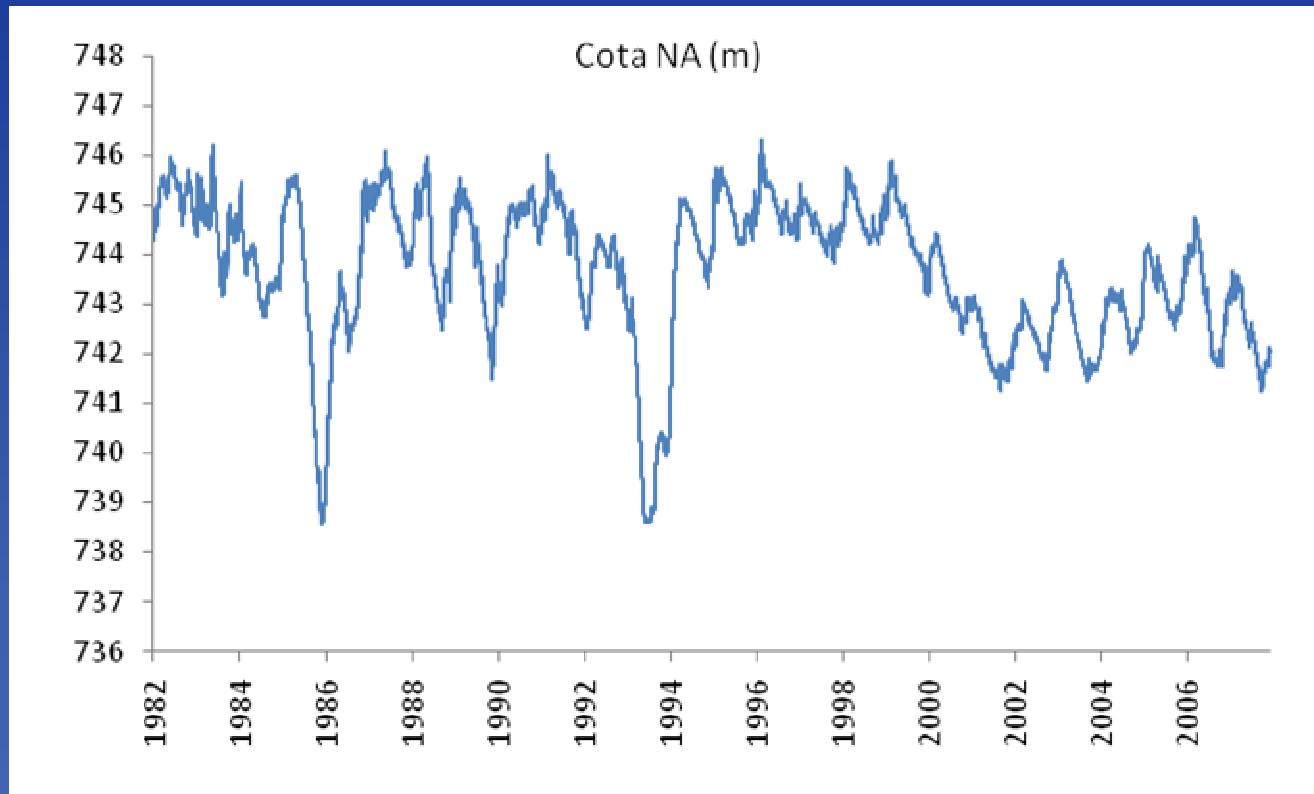
| Código | Nome | Tipo de fluxo |
|--------|--|---------------|
| C1 | Pedreira | afluente |
| C2 | Taqua (abastecimento) | saída |
| C3 | Barragem Reguladora Billings-Pedras (geração de energia) | saída |
| C4 | Sub-bacia Alvarenga | afluente |
| C5 | Sub-bacia Bororé | afluente |
| C6 | Sub-bacia Capivari | afluente |
| C7 | Sub-bacia Cocaia | afluente |
| C8 | Sub-bacia Corpo Central 1 | |
| C9 | Sub-bacia Corpo Central 2 | |
| C10 | Sub-bacia Corpo Central 3 | |
| C11 | Sub-bacia Corpo Central 4 | |
| C12 | Sub-bacia Grota Funda | |
| C13 | Sub-bacia Pedra Branca | |
| C14 | Sub-bacia Rio Grande | |
| C15 | Sub-bacia Rio Pequeno | |
| C16 | Sub-bacia Taquacetuba | |



Batimetria

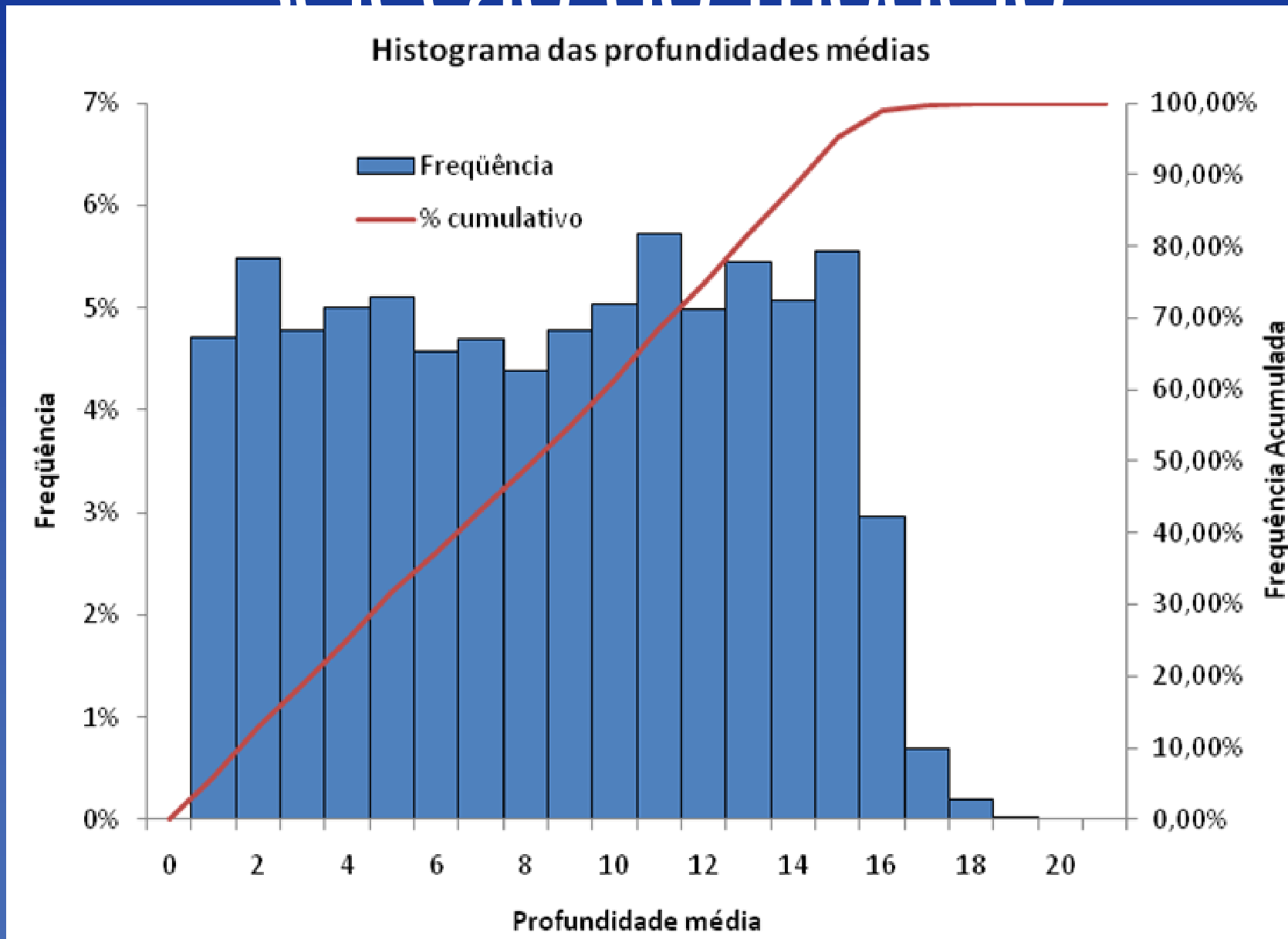


Seleção do modelo

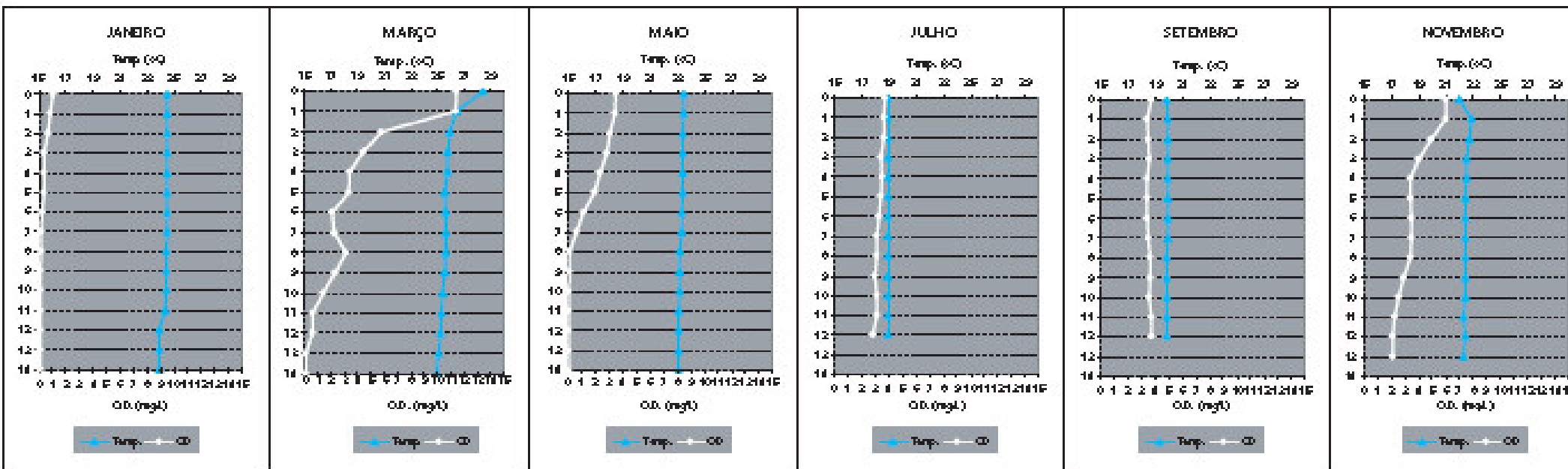


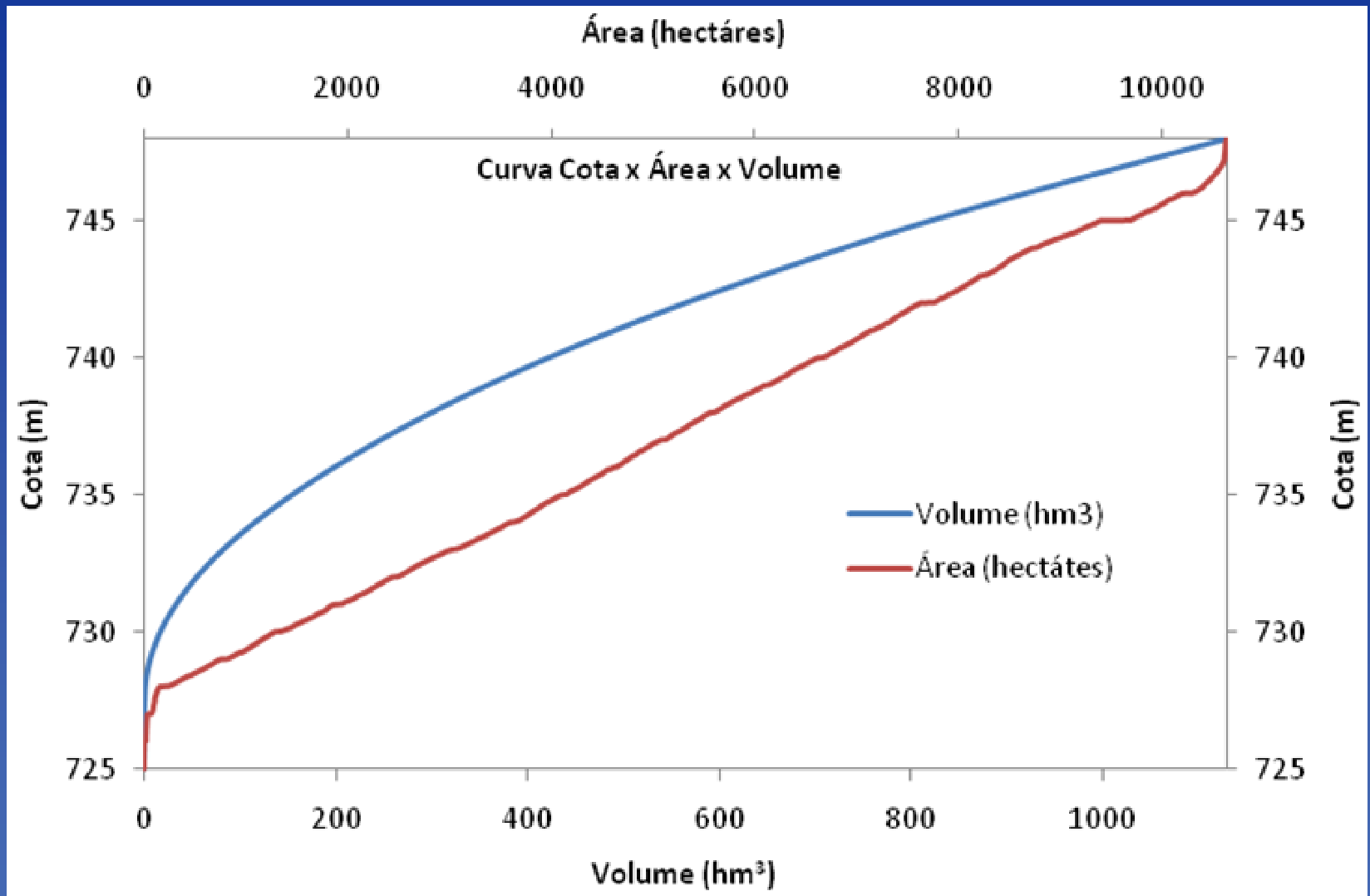
- Profundidade média = 6,9 m

Seleção do modelo

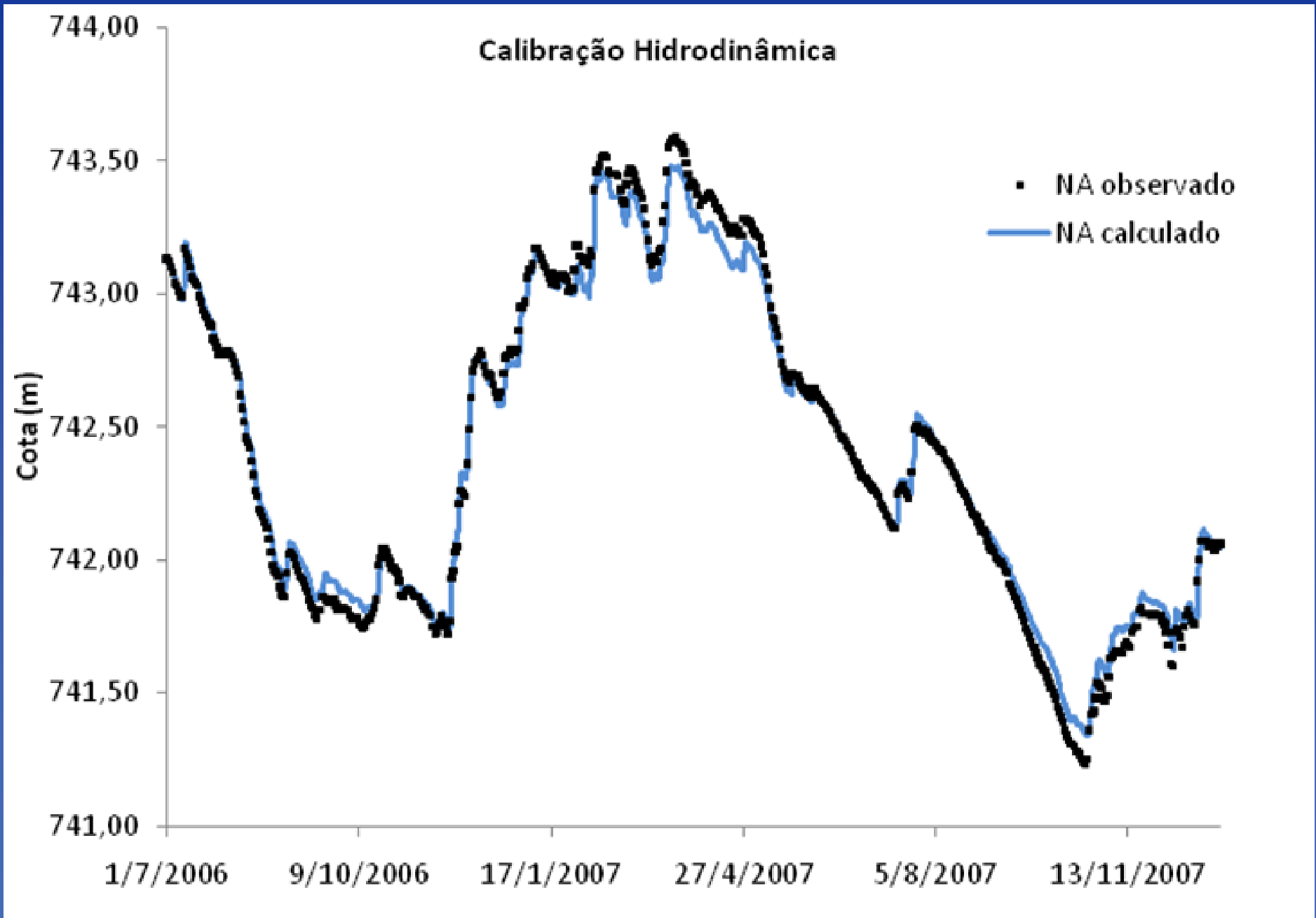


Seleção do modelo



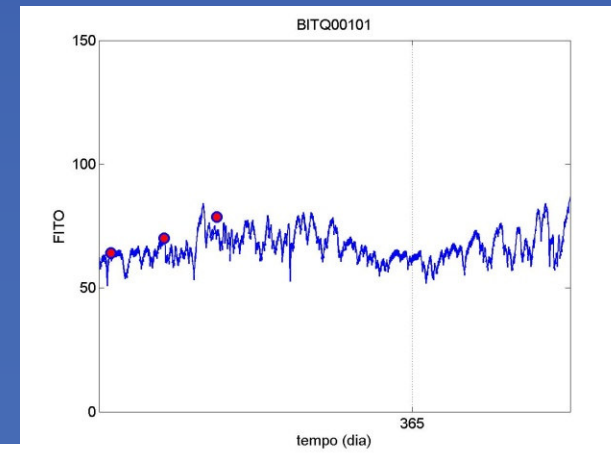
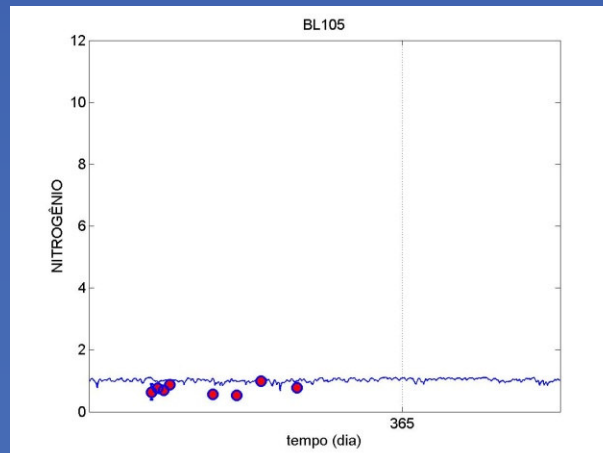
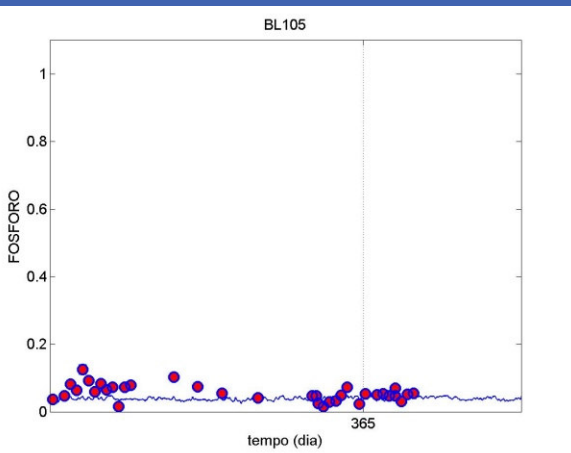
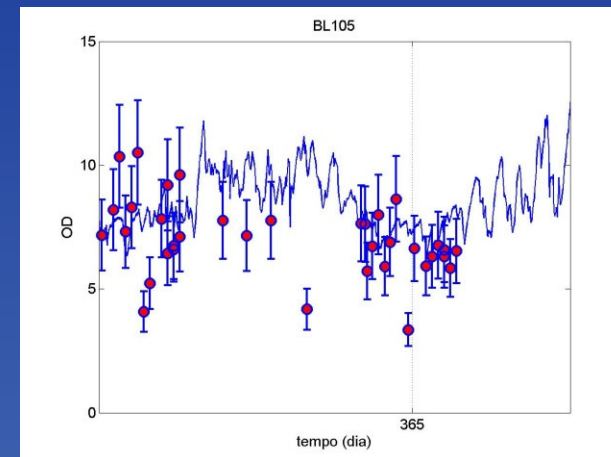
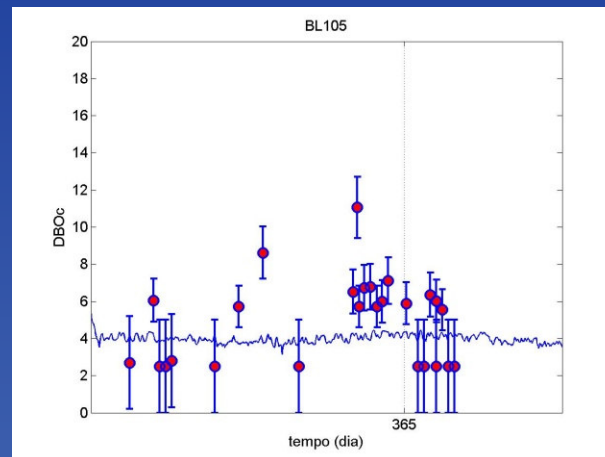
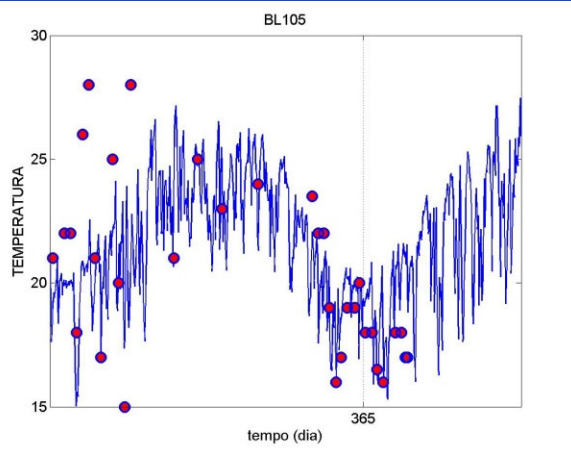


Calibração



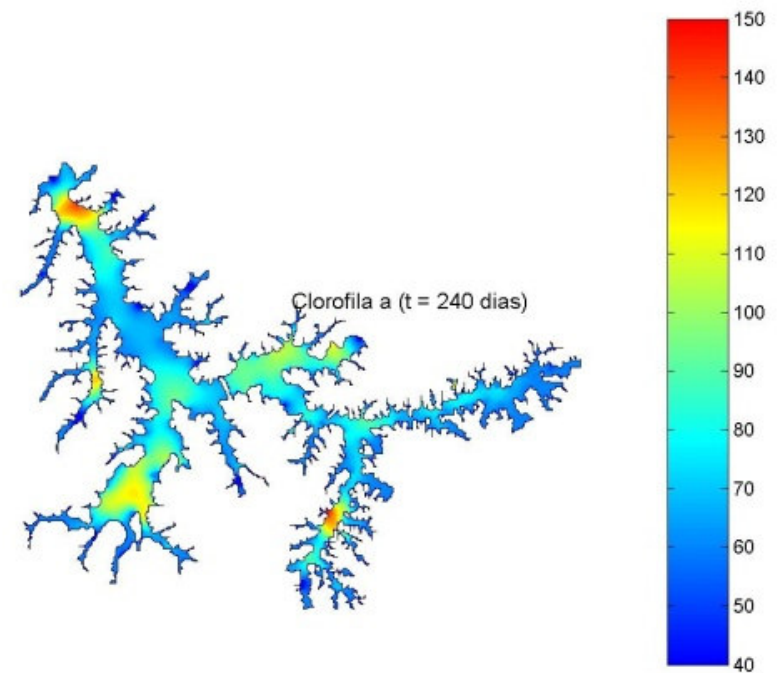
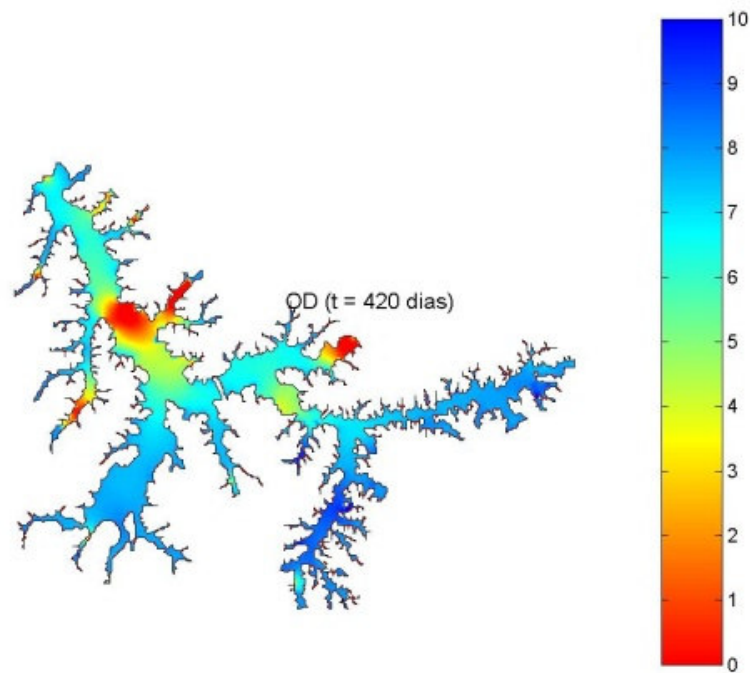
Calibração

- Qualidade

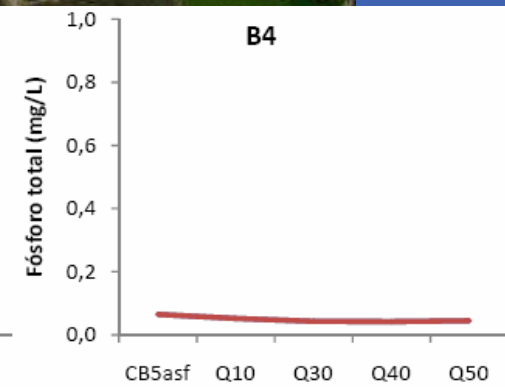
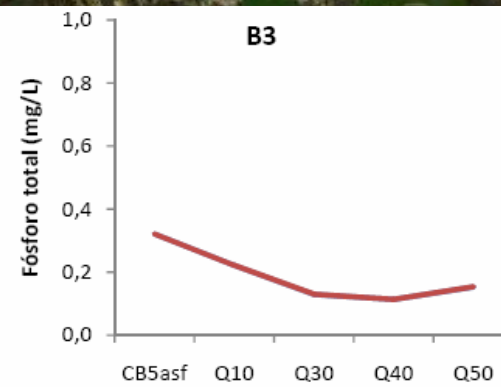
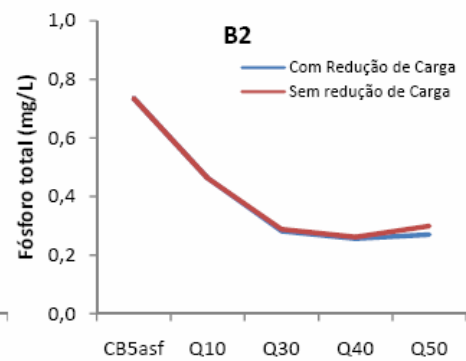
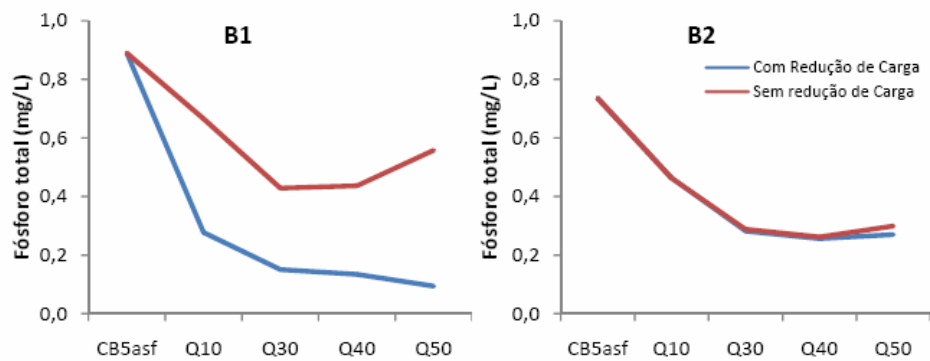
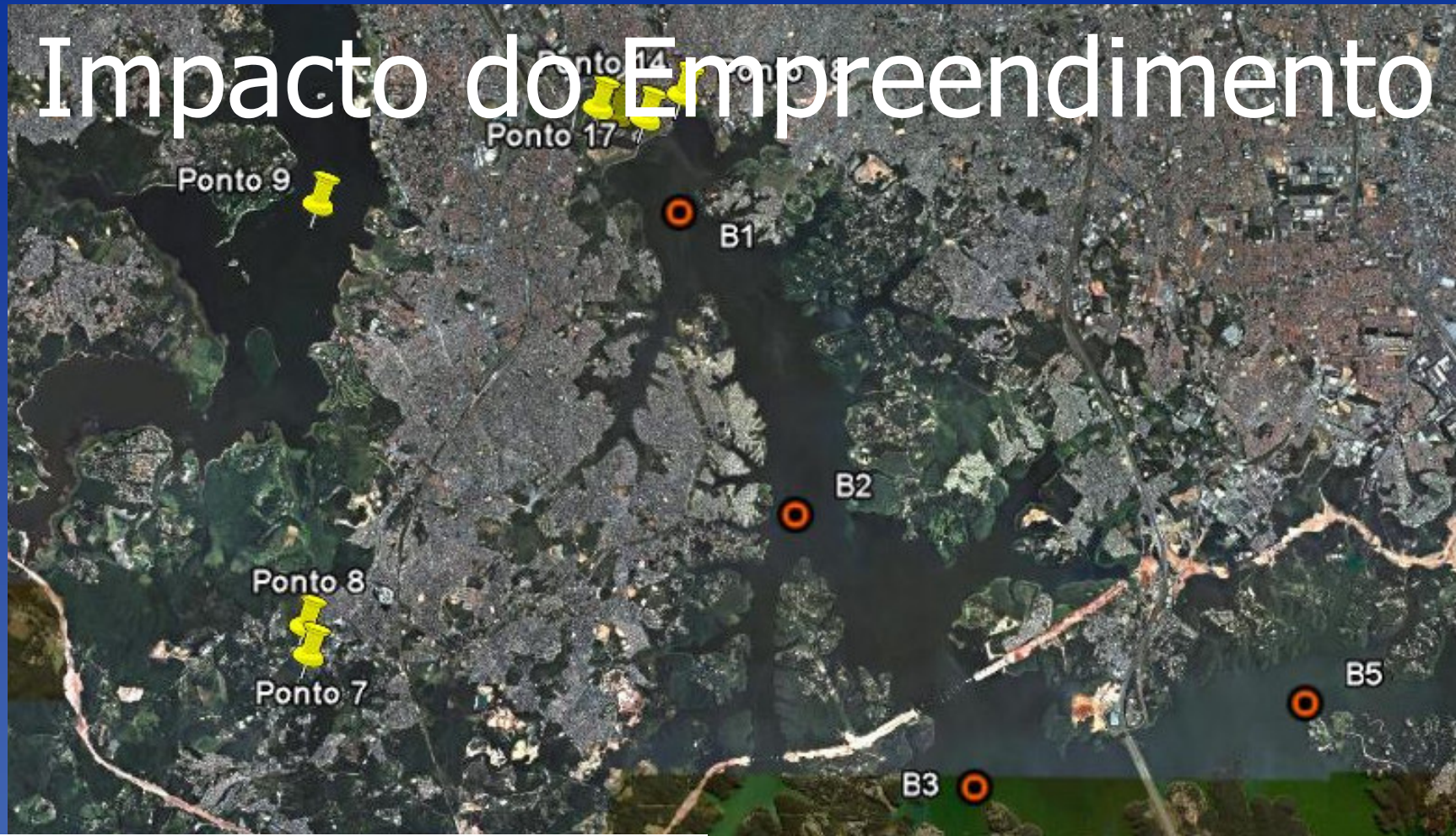


Representação

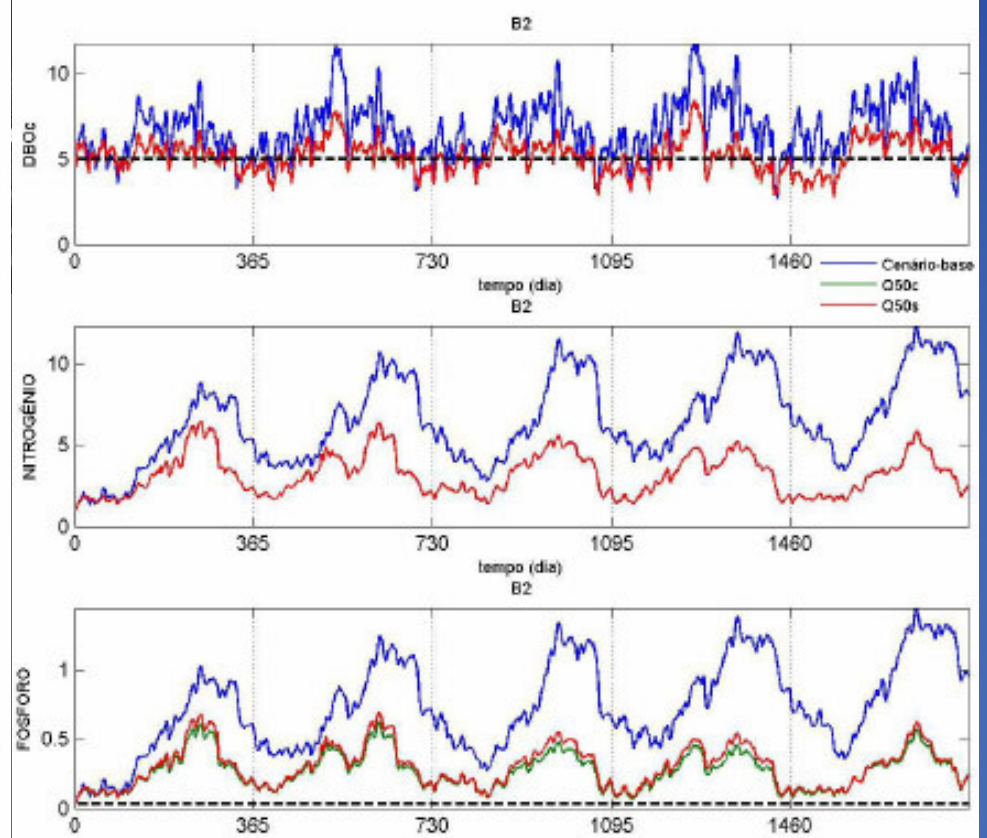
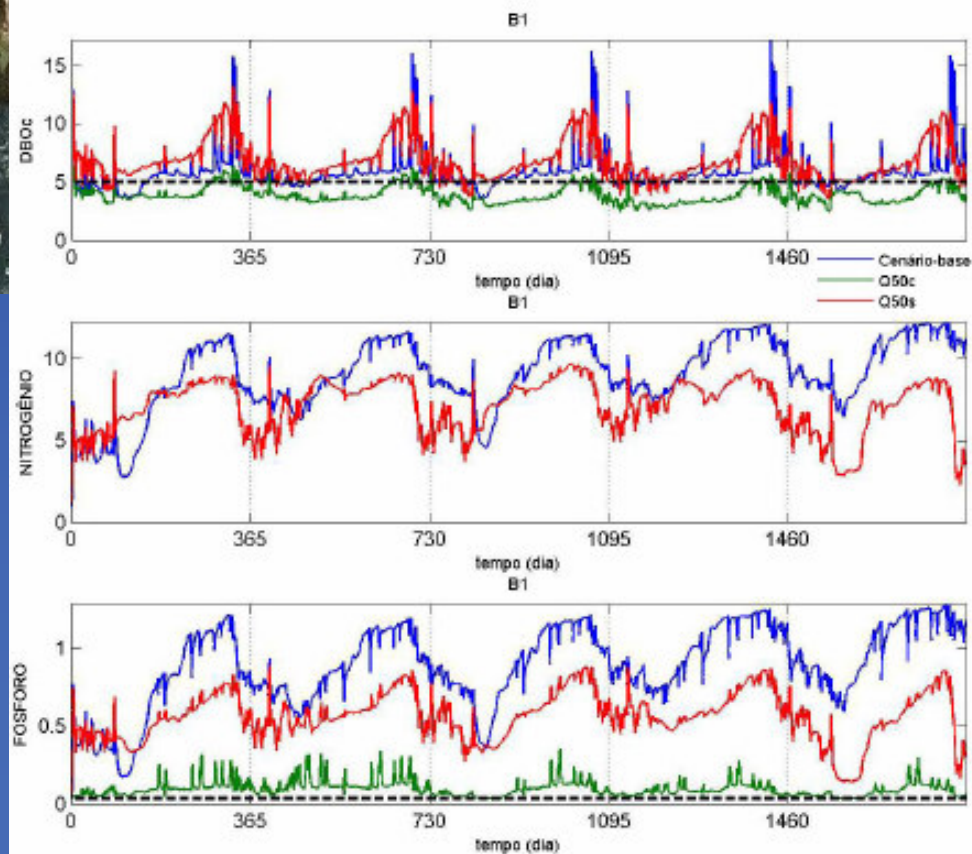
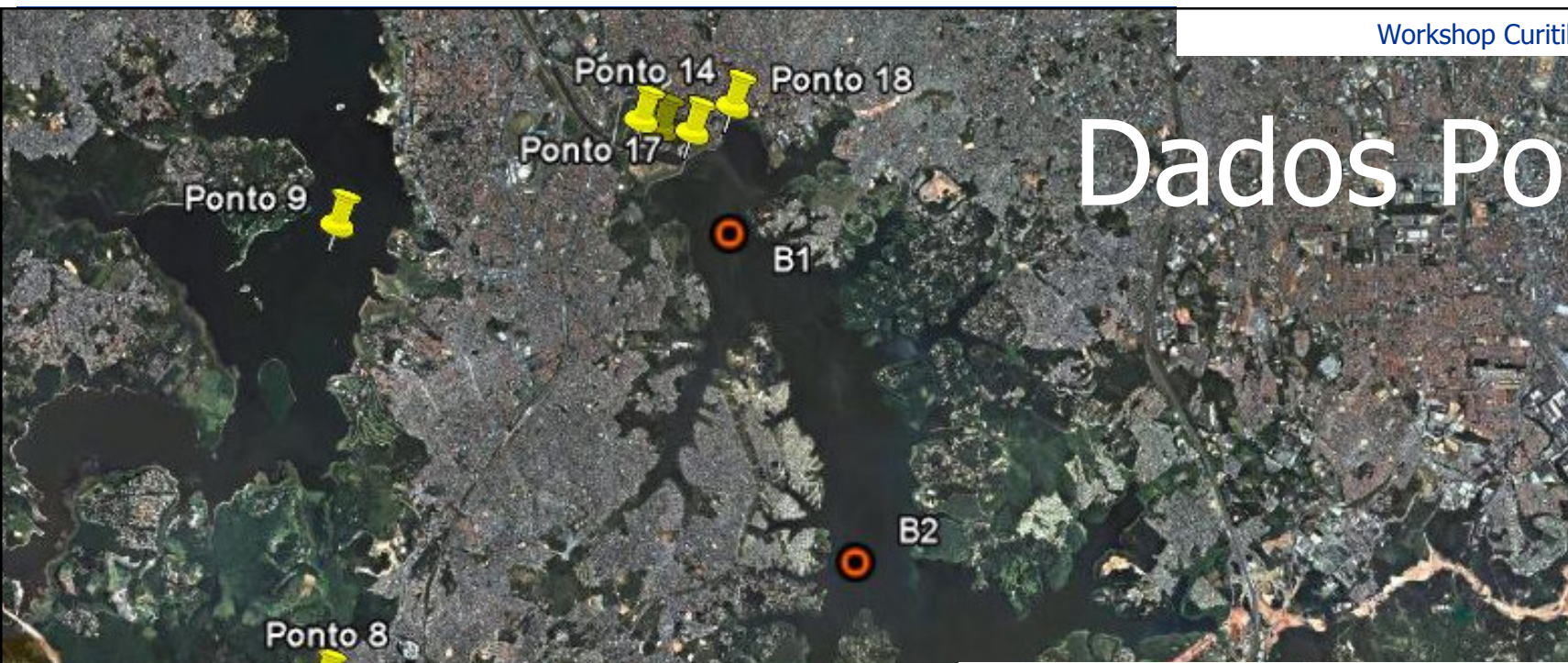
- Qualidade



Impacto do Empreendimento



Dados Pontuais



Obrigado pela paciência

SCARATI@USP.BR