



Eutrofização de Mananciais

Eng. Charles Carneiro, Dr.

Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento – APD
Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social - DMA
Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR

CONTEXTO

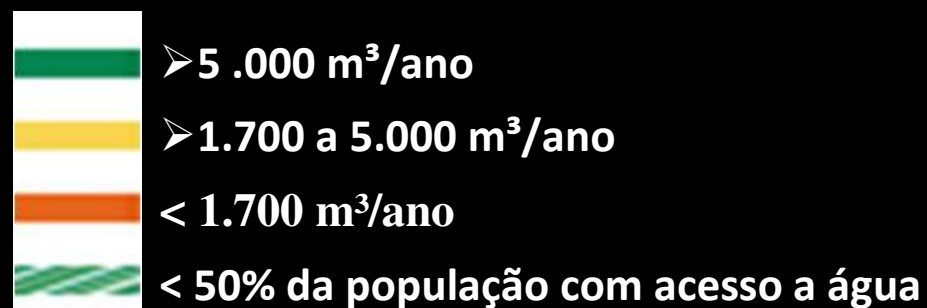
HOJE:

250 milhões de pessoas em 26 países enfrentam a falta crônica de água

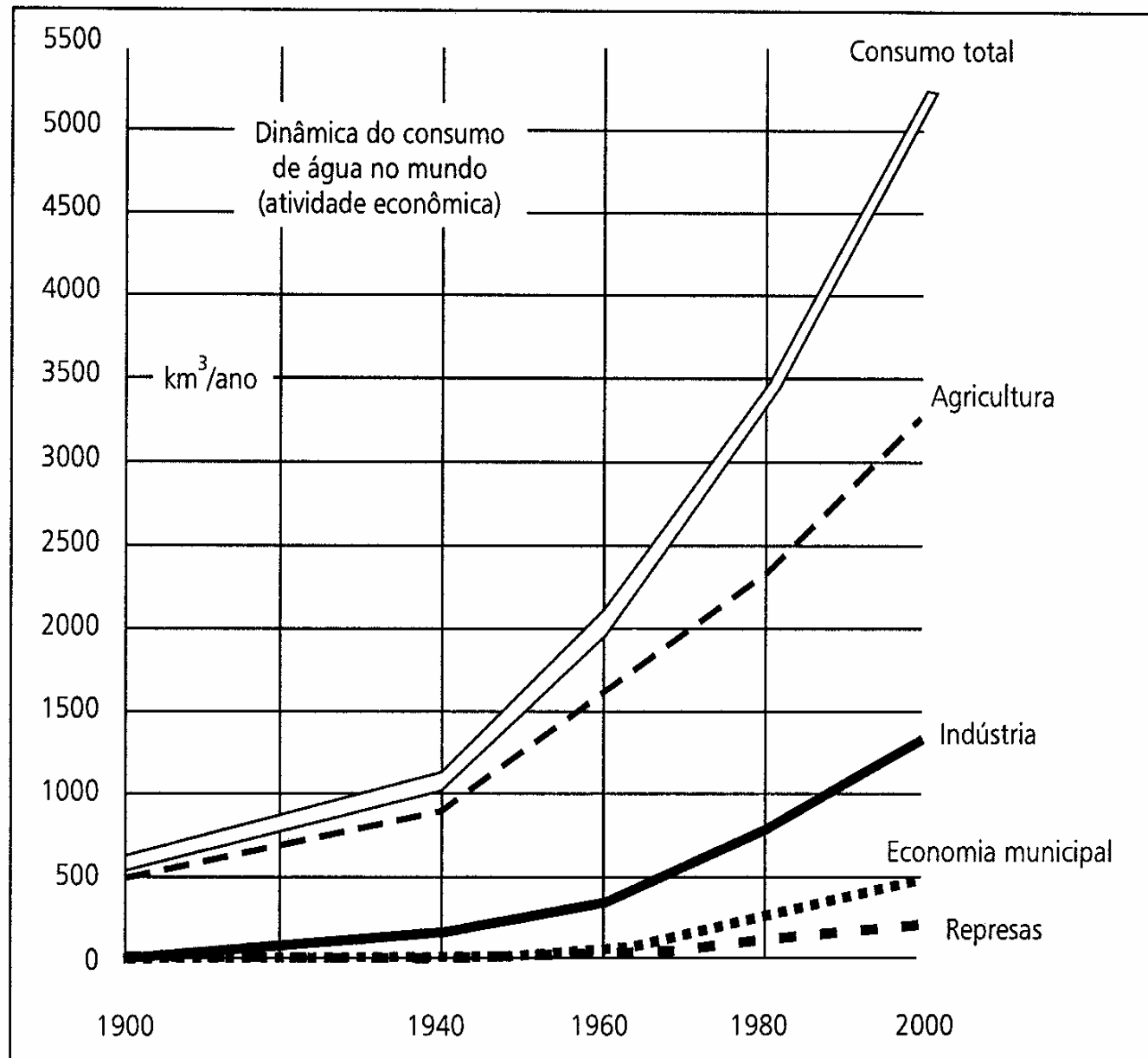
PREVISÃO:

em 30 anos, o número saltará para 3 bilhões em 52 países

Disponibilidade per capita de água no mundo

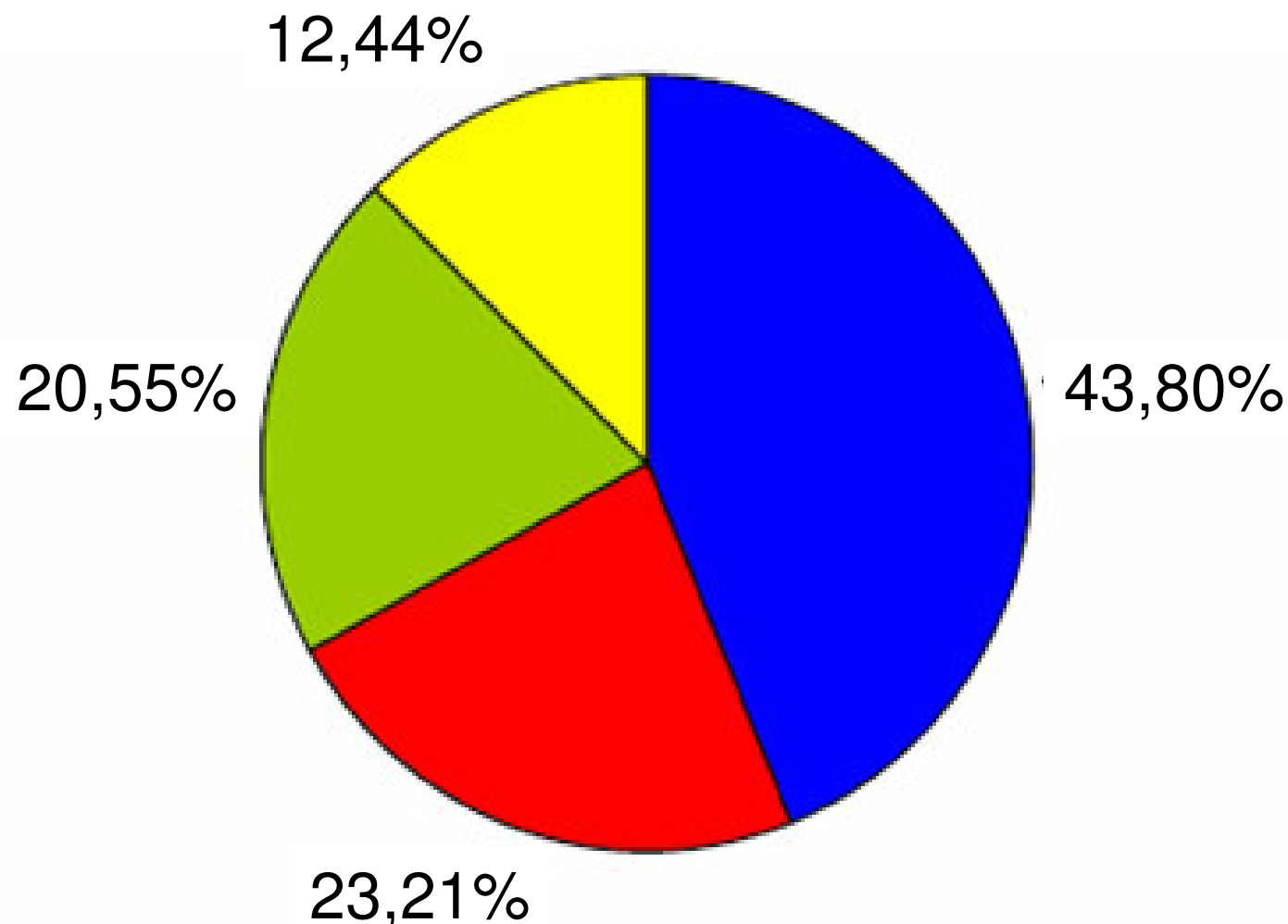


Tendência no consumo global de água, 1900-2000.



Fonte: Biswas, 1991

PARANÁ - PARTICIPAÇÃO DOS SETORES CONSULTIVOS NA DEMANDA HÍDRICA



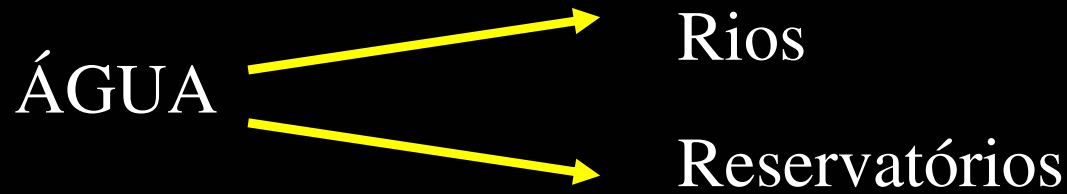
■ Abast. público

■ Indústria

■ Agricultura (Sit. Atual)

■ Pecuária

DEMANDA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NA RMC



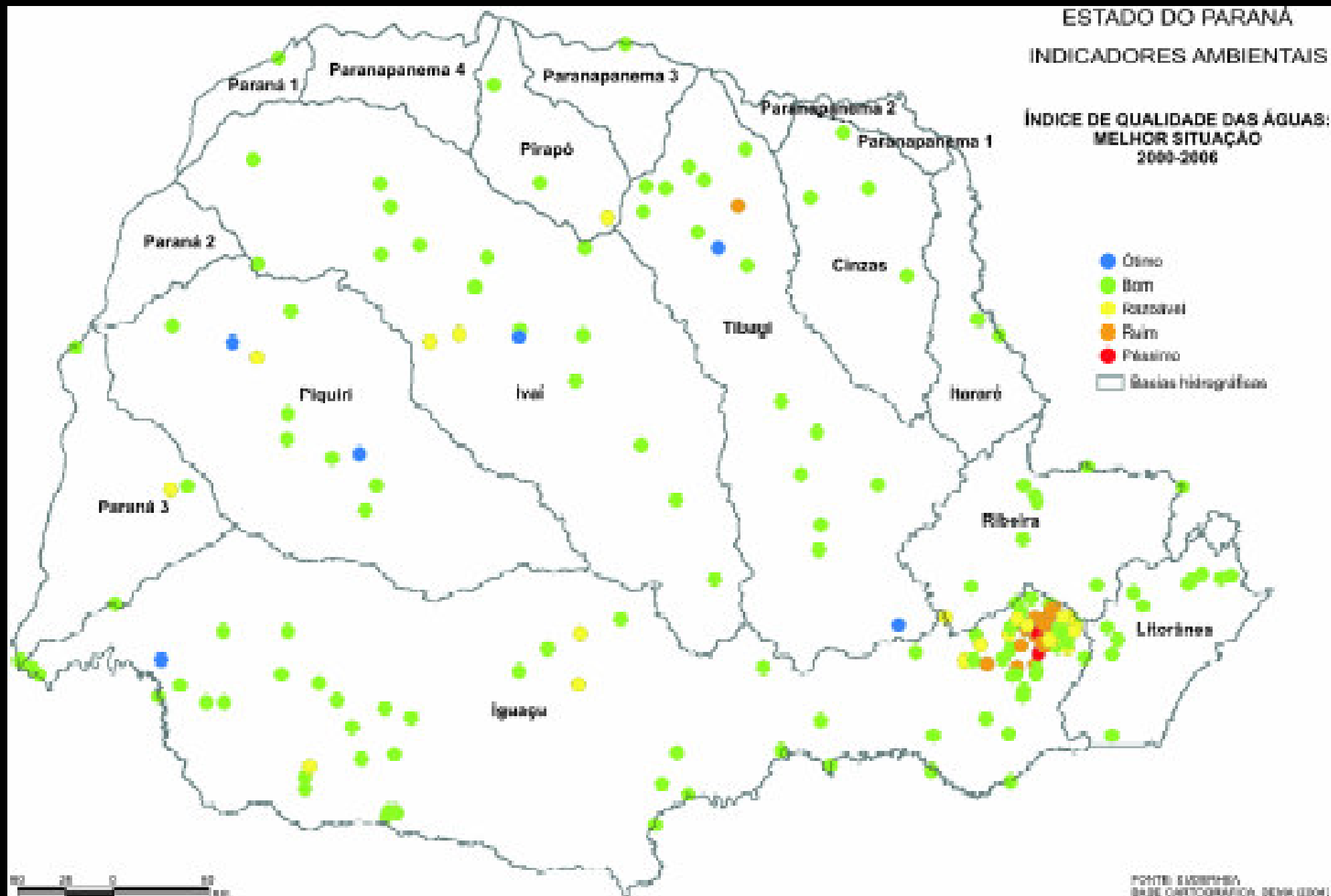
Ano	Demanda (l/s)	Aumento da demanda/ano (L/s)
1.996	6.395	
1.997	6.690	295
1.998	7.000	310
1.999	7.326	326
2.000	7.667	341

Fonte: MAZUCHOWSKI e TOSIN, 1997.

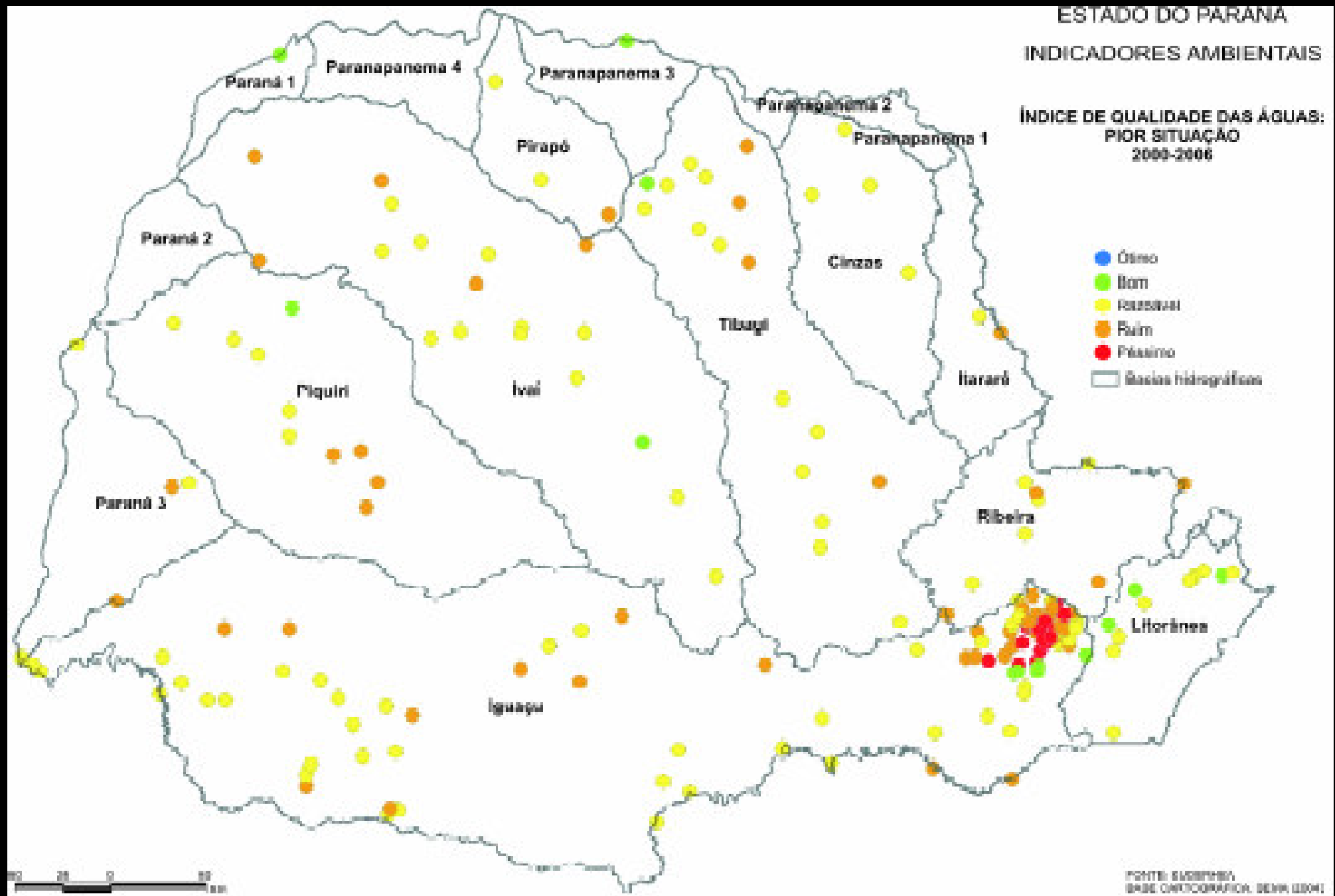
Rios de pequenas vazões (proximidade de nascentes)

GARANTIR SEGURANÇA NO ABASTECIMENTO → RESERVAÇÃO

IQA Paraná – **melhor** situação – 2000 - 2006



IQA Paraná – **pio**r situação – 2000 - 2006



Principais problemas mundiais em águas de abastecimento e reservatórios (Kira, 1998):

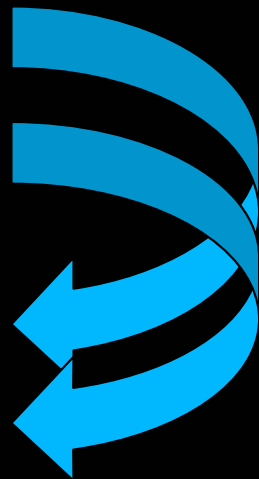
Acidificação

Substâncias Tóxicas

Sedimentos

Assoreamento

Eutrofização



** Estima-se atualmente 800.000 barragens em operação em todo o mundo. Onde 45.000 de grande porte (CMB, 1999)*

Sedimentos / Assoreamento

→ *Paraná apresenta sérios problemas em todas as bacias hidrográficas*

REGISTROS:

- Paraná perde anualmente cerca de 12 milhões de toneladas solos (DNAEE, 1990)
- Brasil perde anualmente pelo menos 500 milhões de toneladas de solos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999)
- agricultura contribui com 43% da carga de N, 41% de P e quase 100% do K dos rios brasileiros (EMBRAPA, 1995) → US\$ 190 milhões /ano

Erosão – Campo Largo / PR



Pé de arado



Cuiabá / MT



Botucatu / SP



Ridente Junior, 2008

Áreas Degradadas por Mineração – Criciúma/SC



Forquilha - SC





Rio Pitangui

Ponta Grossa / PR



Rio Timbu – Campina Grande do Sul / PR



Reservatório Iraí

Quatro Barras / PR

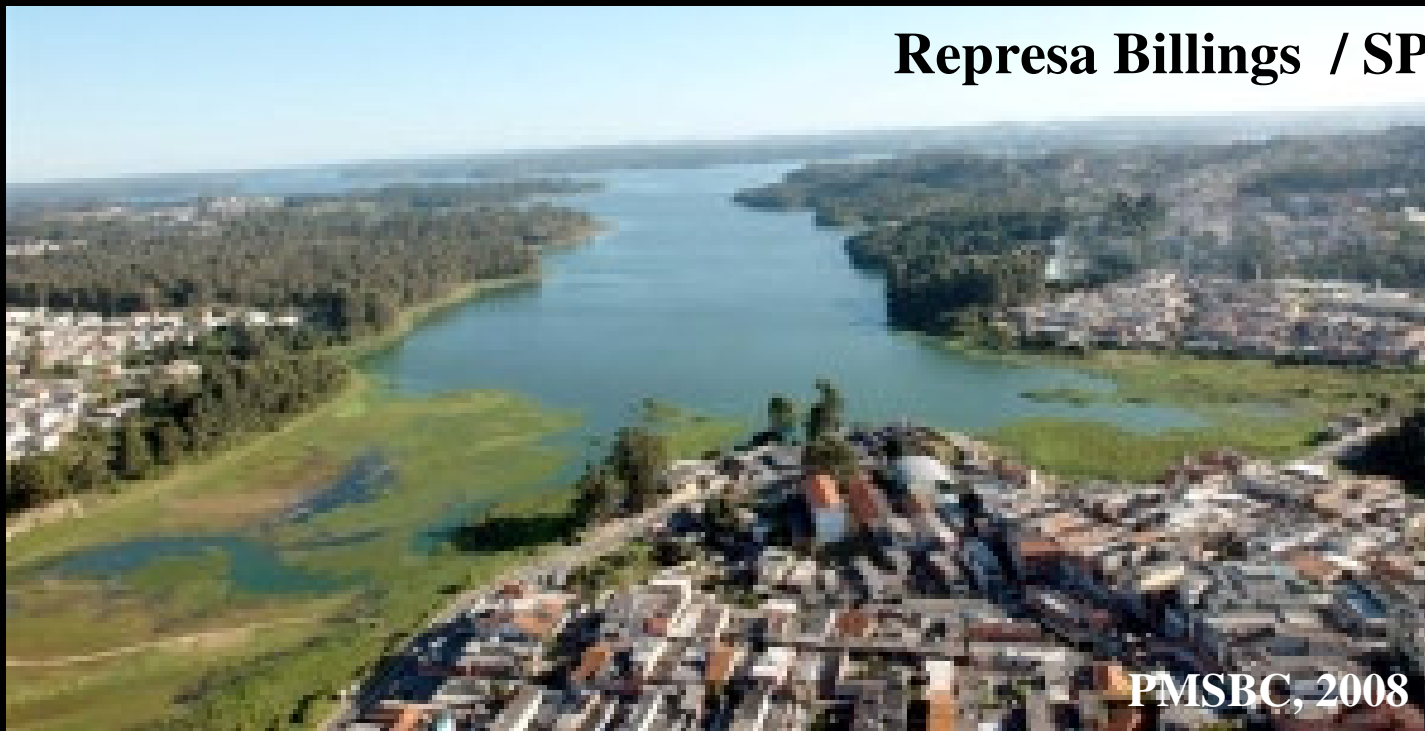


Parque São Lourenço

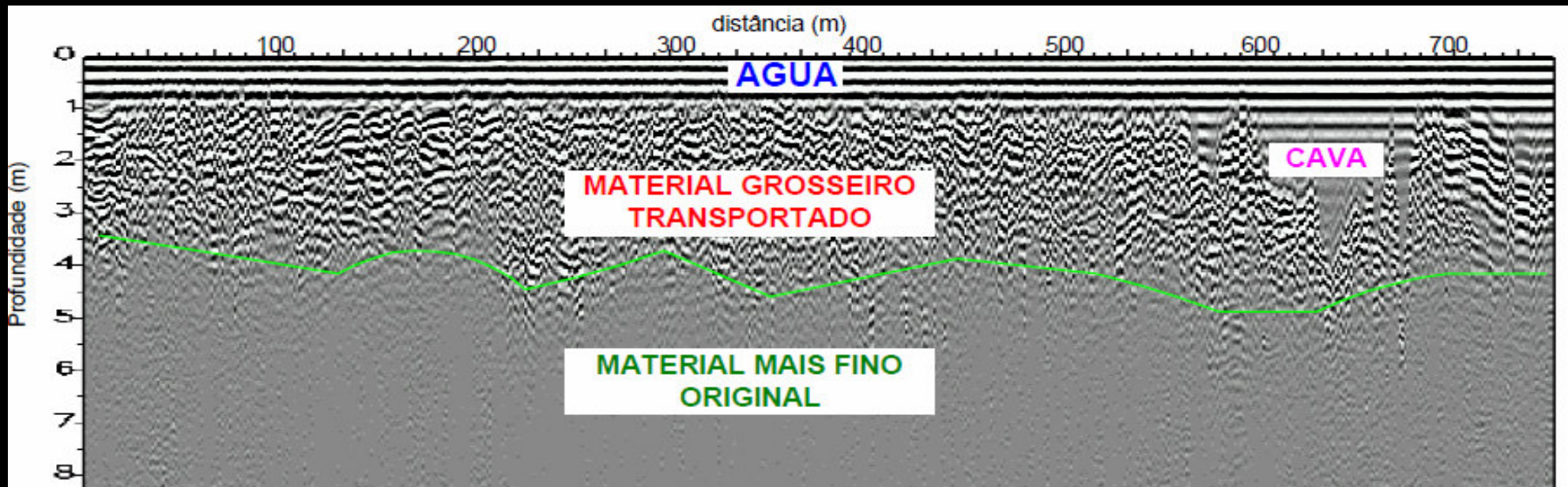
Curitiba / PR



Represa Billings / SP



Represa Billings - Seção de Geo-Radar (Aquino & Lopez)



Seção da foz do Rio Ribeirão Pires com a interpretação das feições identificadas.

Descarga fluvial no Reservatório Iraí c/ chuva

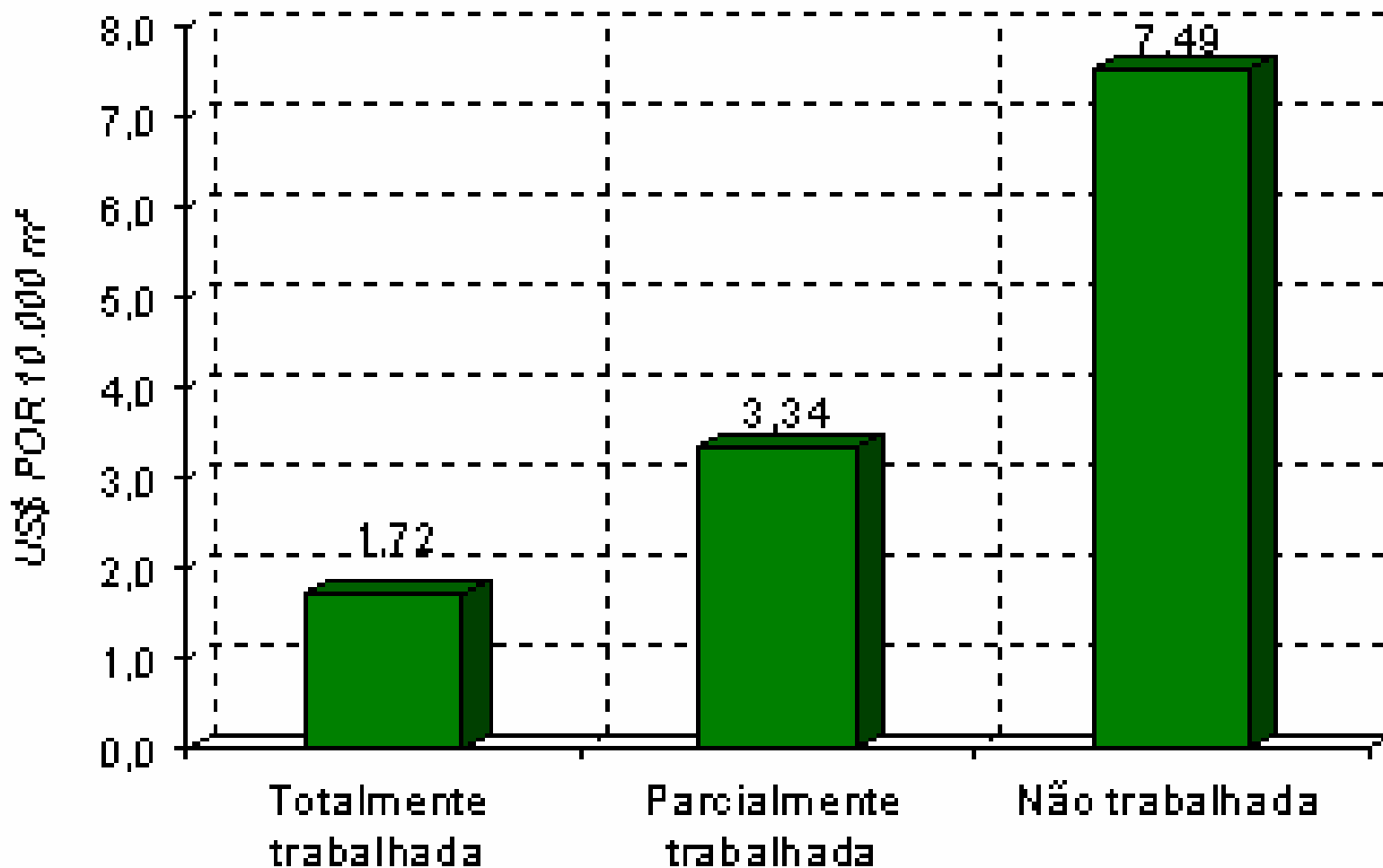
Área agricultada
com boas práticas de conservação

Área agricultada
sem boas práticas de conservação

Área urbanizada
Impermeabilização e ↑ runoff

CUSTOS

Redução nos custos de tratamento de água em função do uso da bacia



Eutrofização

CONCEITO

Eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente **fósforo** e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades.



- MACRÓFITAS AQUÁTICAS (PLANTAS)
- FITOPLÂNCTON (ALGAS TÓXICAS E NÃO-TÓXICAS)

Eutrofização → ↑ nutrientes → florações algais:

Mundo: Austrália, Canadá, Estados Unidos, Argentina, vários países europeus, Japão

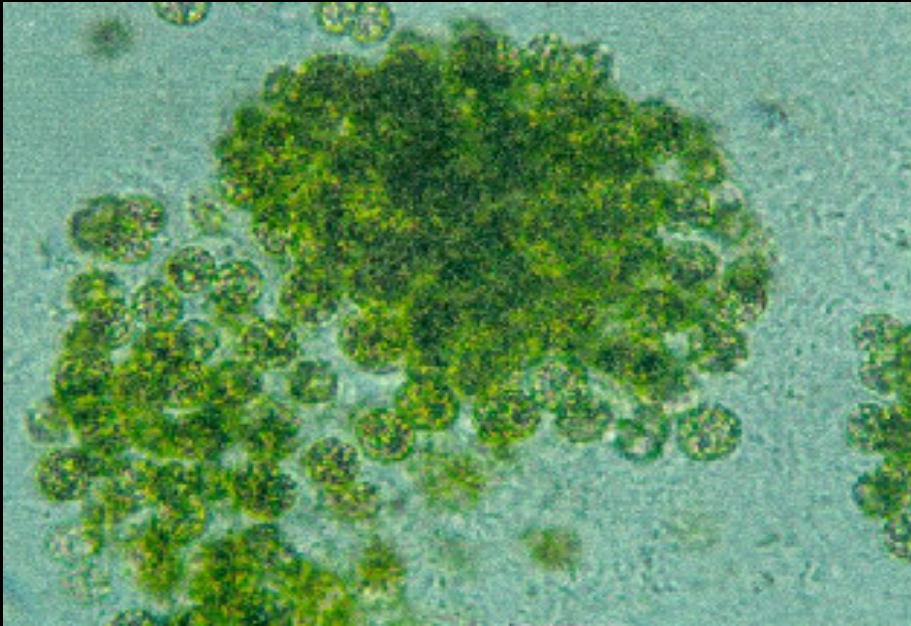
Brasil: São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia, Distrito Federal, Pernambuco (62 mortes em Pernambuco)
→ *cianotoxinas na água utilizada para hemodiálise*

No Paraná: além de Curitiba, outras cidades como Londrina, Foz do Iguaçu e Ponta Grossa já apresentam problemas semelhantes.

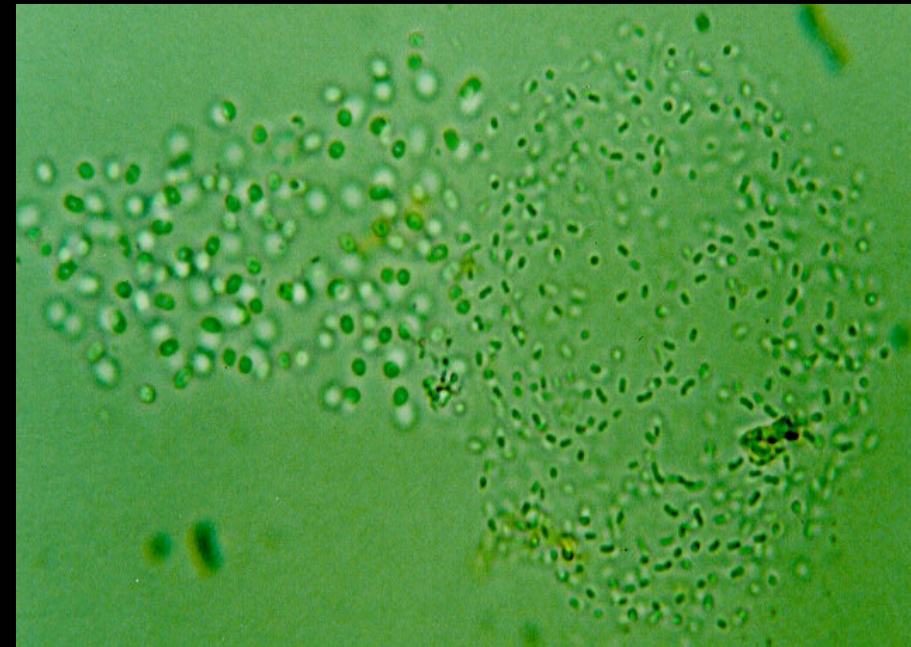
ALGUNS EXEMPLOS DE PROBLEMAS RELACIONADOS À CIANOBACTÉRIAS TÓXICAS

Toxin/Organism	Problem
Microcystins (organism unknown)	Associated with deaths of Eared Grebes-Salton Sea, Calif.
Anatoxin-a(s) (<i>Anabaena</i> sp)	Death of Crested Grebe, Black-necked Grebe, Coot, domestic ducks and geese Denmark and USA
Microcystin (organism unknown)	Net-Pen liver disease of Mari-cultured Atlantic Salmon: British Columbia, Canada and Washington, USA
Microcystin (organism unknown)	Intestinal lesions of mari-cultured penniped shrimp: Hawaii, USA and Columbia, South America
Microcystin (organism unknown)	Acute lethal liver disease of aqua-cultured stripped bass: California, USA
Microcystin (organism unknown)	Acute lethal liver disease of aqua-cultured pond-raised catfish: Mississippi USA
Microcystins (<i>Microcystis aeruginosa</i>)	Acute non-lethal toxicity in natural populations of trout and carp: England and Australia.
Microcystins	At least 52 human fatalities from use of contaminated municipal water in a hemodialysis clinic: Pernambuco, Brazil
Microcystins	Great Blue Heron mortalities

Algumas cianobactérias.....



Microcystis sp

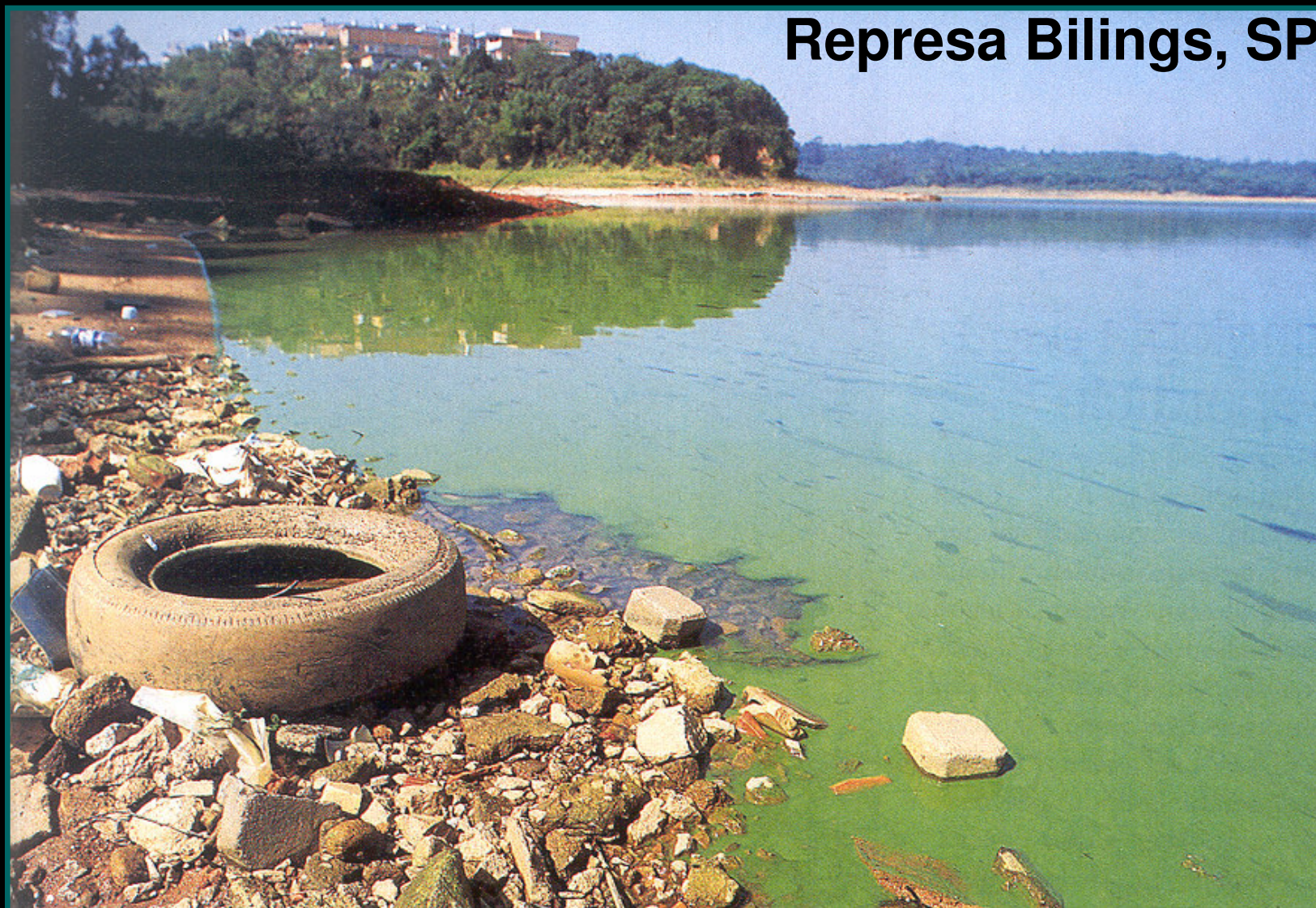


Aphanocapsa sp



Cylindrospermopsis sp

É UM PROBLEMA MUNDIAL !!!



Represa Bilings, SP

Fonte: Foto Ciência Hoje, 1980



**Captação da ETA Rio Grande
(outubro/2001)**

Fonte: AZEVEDO, 2008

***Microcystis* - Zona Costeira / RJ**



Jornal O Globo 11/11/04



Noctiluca - Washington - EUA



Microcystis – Lagoa da Tijuca - RJ

Microcystis – Foz do Areia - PR



Microcystis – Foz do Areia - PR



RESERVATÓRIO ALAGADOS – PONTA GROSSA



RESERVATÓRIO ALAGADOS – PONTA GROSSA



Reservatório Iraí - 2003 - *Microcystis* sp



Reservatório Iraí - 2003 - *Microcystis sp*



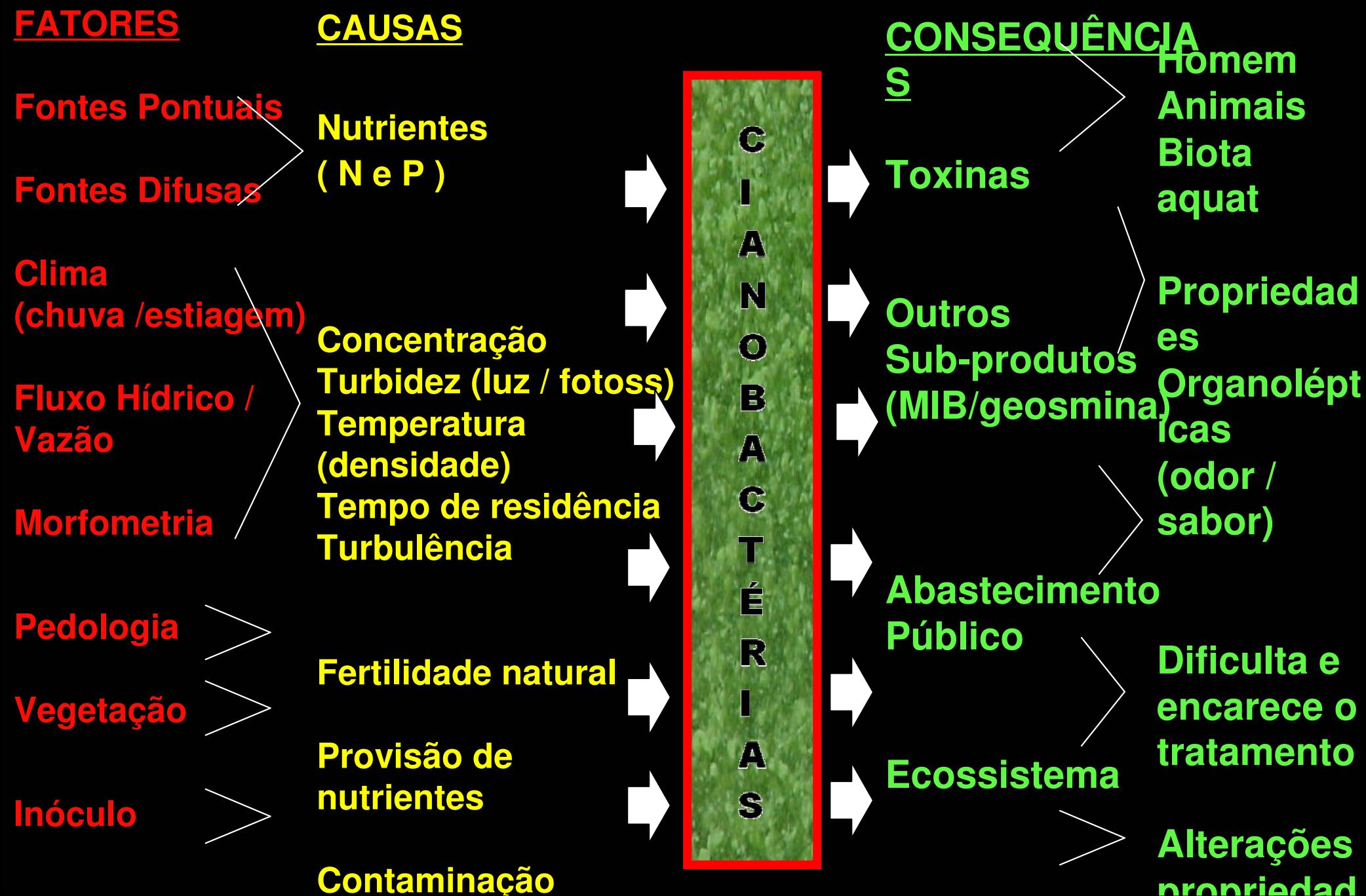
Reservatório Iraí - 2003 - *Microcystis* sp





Fonte: O Estadão, 2006

FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS



Por que o P é considerado o principal fator limitante?

- * Disponibilidade biológica de P reduzida
- * A maior parte do P-solúvel está retida nos ecossistemas terrestres
- * P-solúvel é rapidamente adsorvido por partículas da fração argila e colóides
- * Precipitação sob várias formas
- * Ausência de fase gasosa

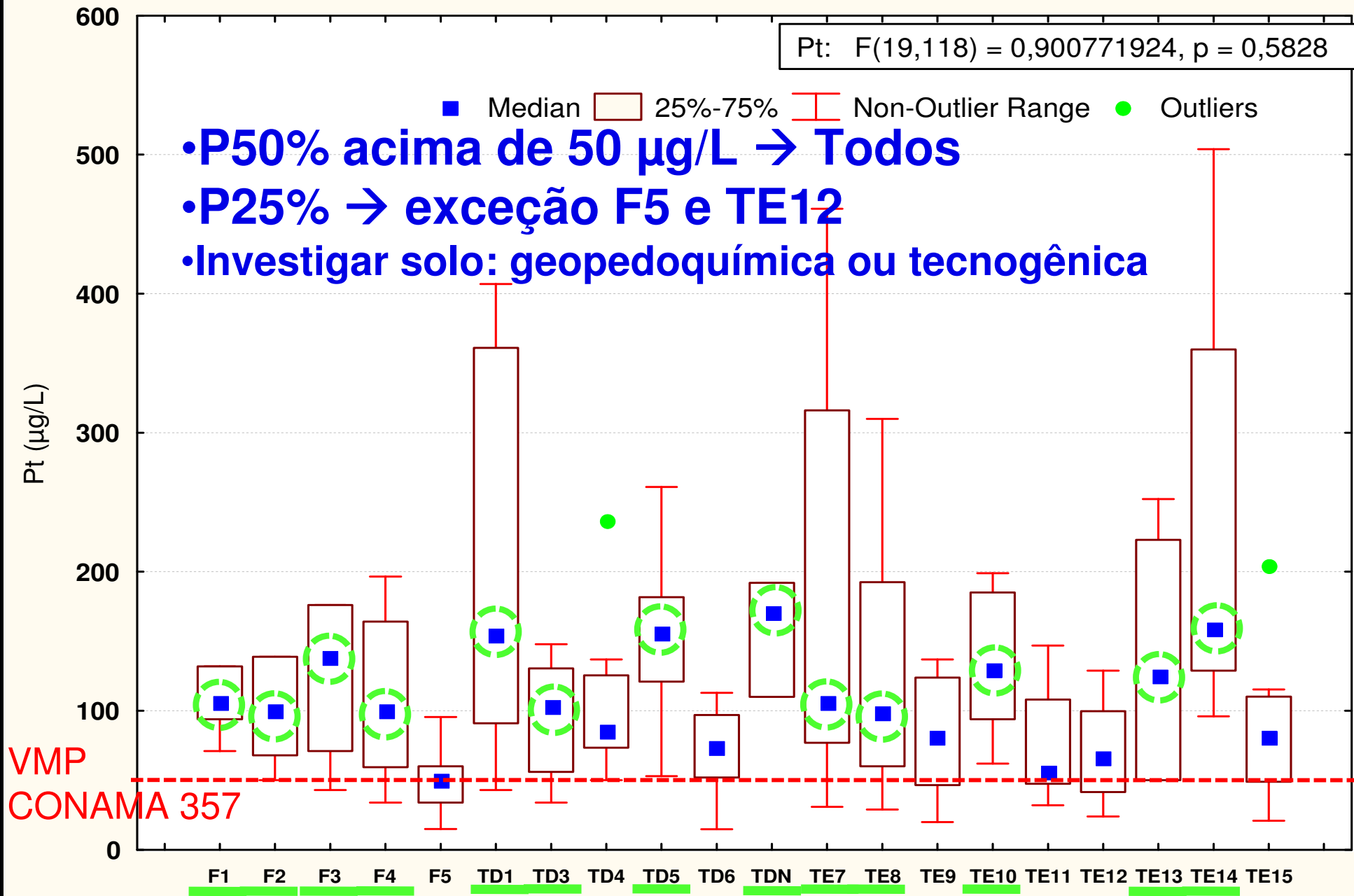


Lago 226 – Canadá - dividido com uma cortina, em função da adição de P

Fonte: Schindler et al. (1973)

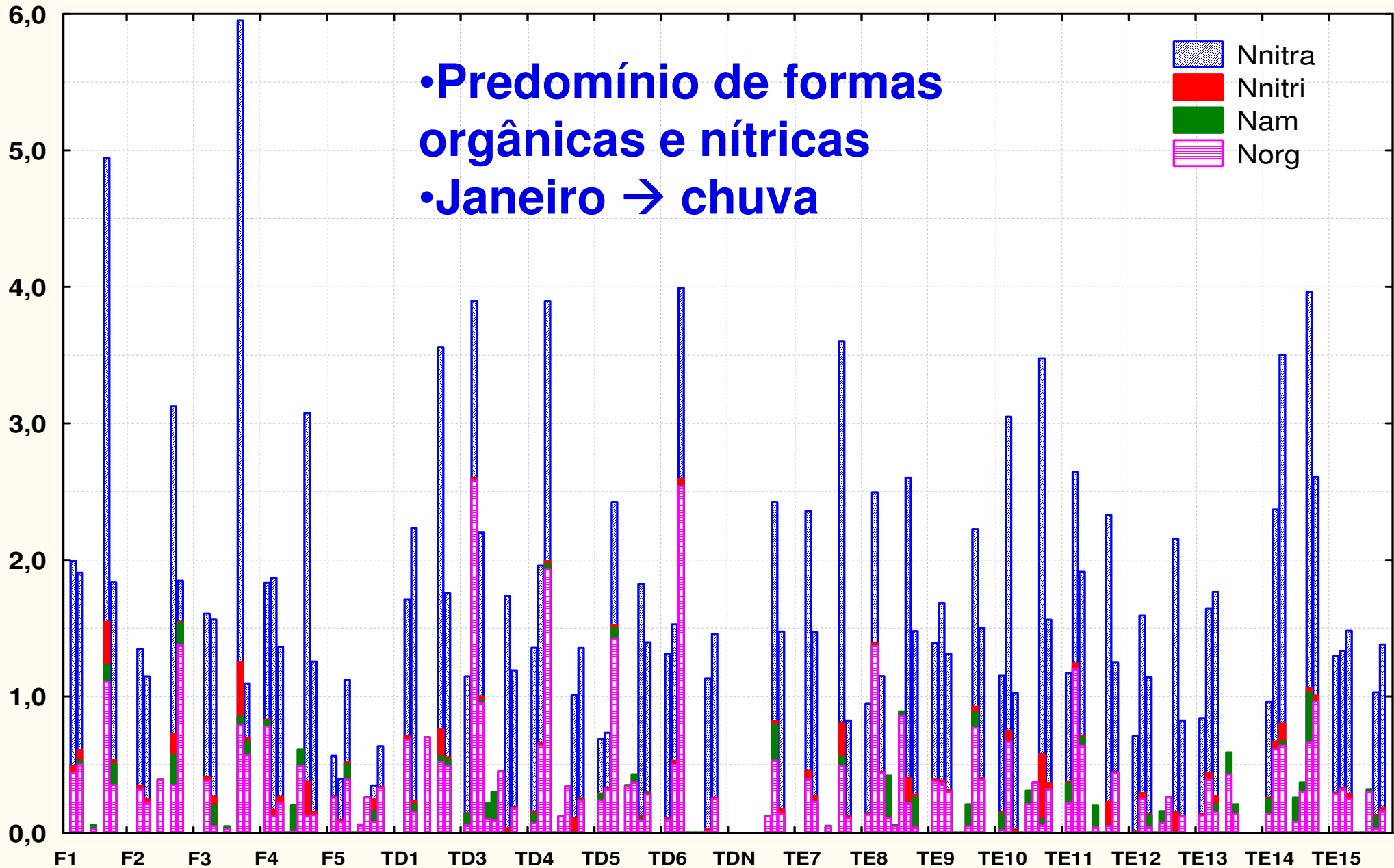
Reservatório Rio Verde / PETROBRÁS -- 2008 - 2009

Box Plot Fósforo total (µg/L)



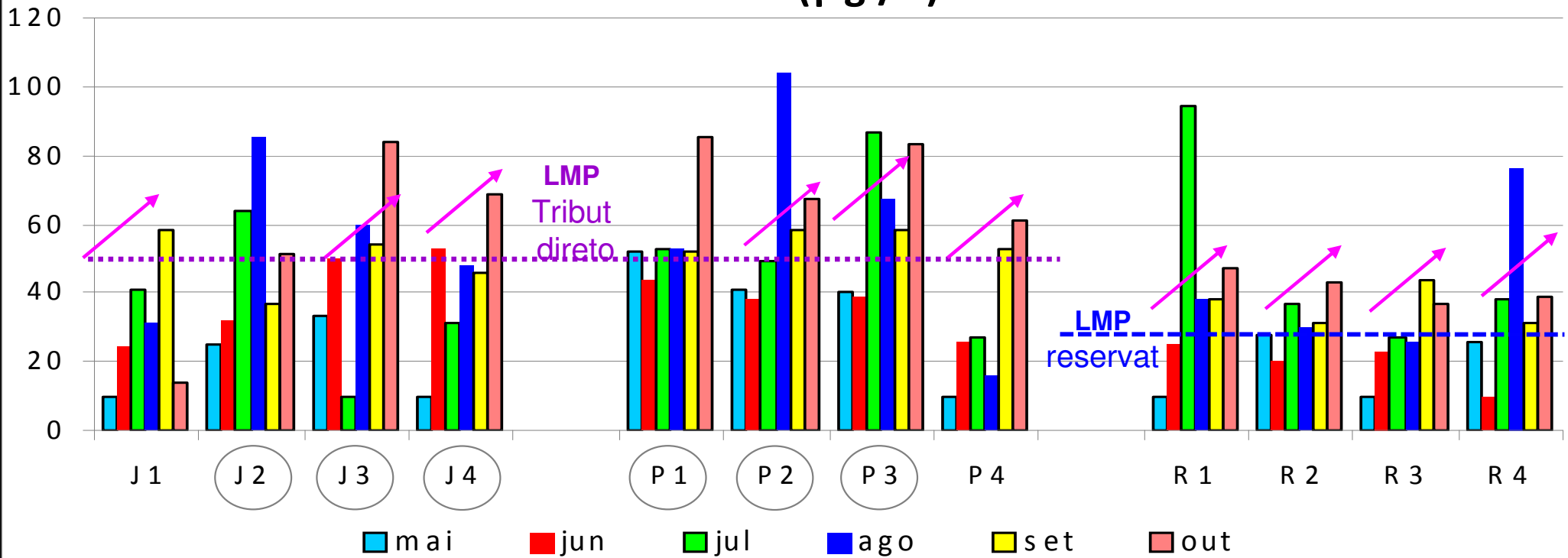
Reservatório Rio Verde / PETROBRÁS -- 2008 - 2009

Stacked Plot Série Nitrogenada (mg/L)

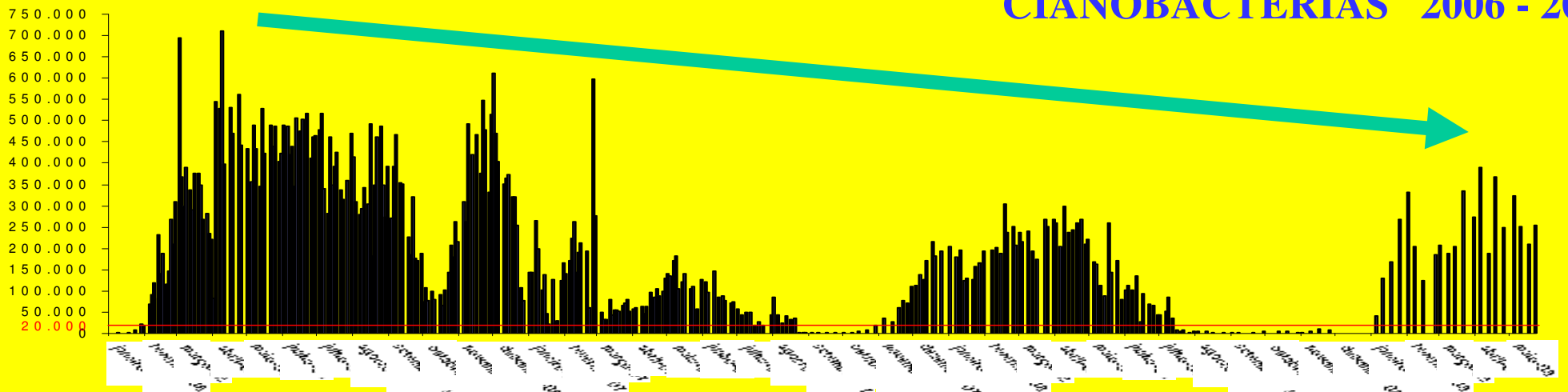


Reservatório Alagados / Ponta Grossa -- 2007 - 2008

P total ($\mu\text{g} / \text{L}$)



CIANOBACTÉRIAS 2006 - 2009



DINAMICA DE FOSFORO

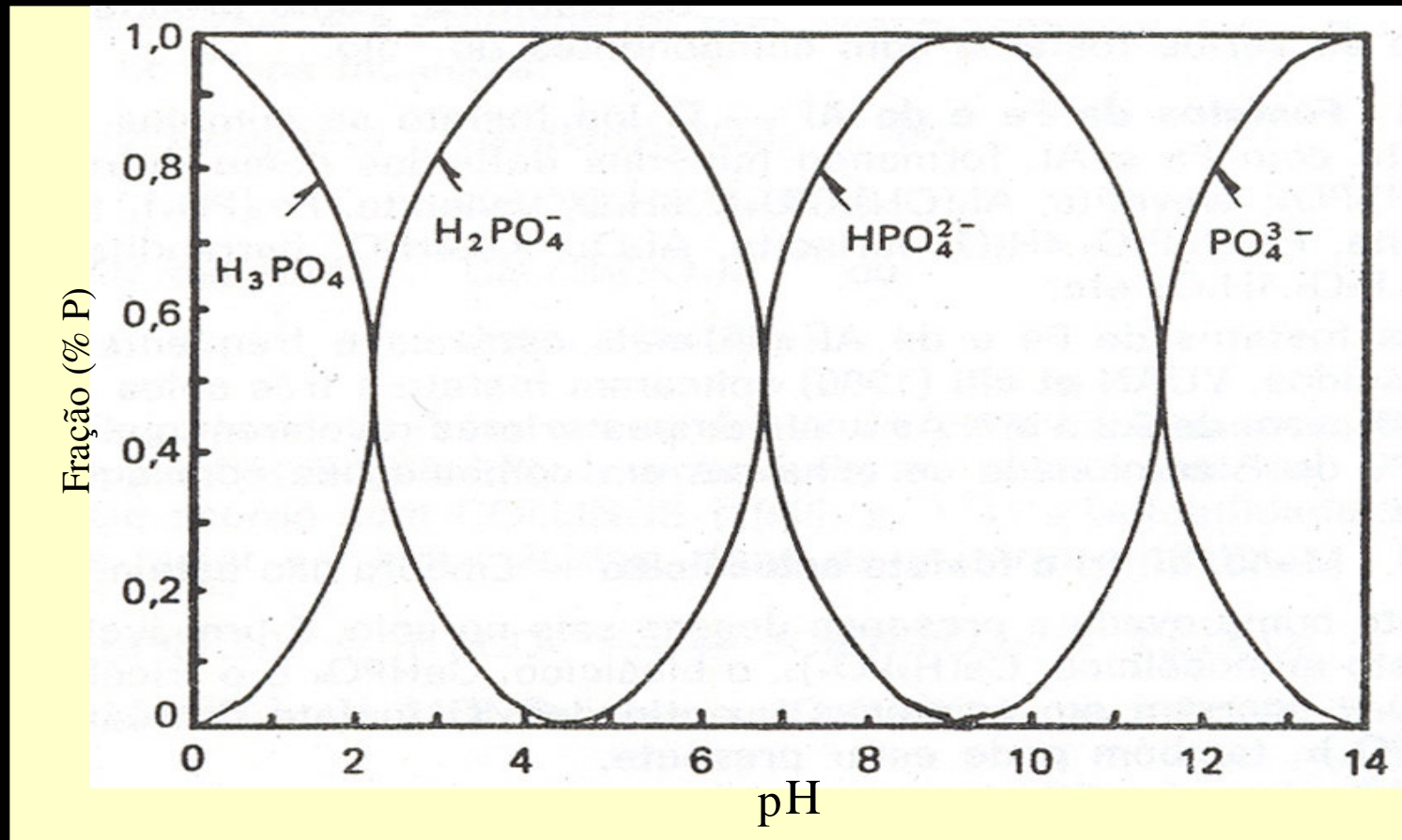
Formas orgânicas: compostos de P (ADP, ATP, fitina, outros complexos, etc)

Formas minerais:

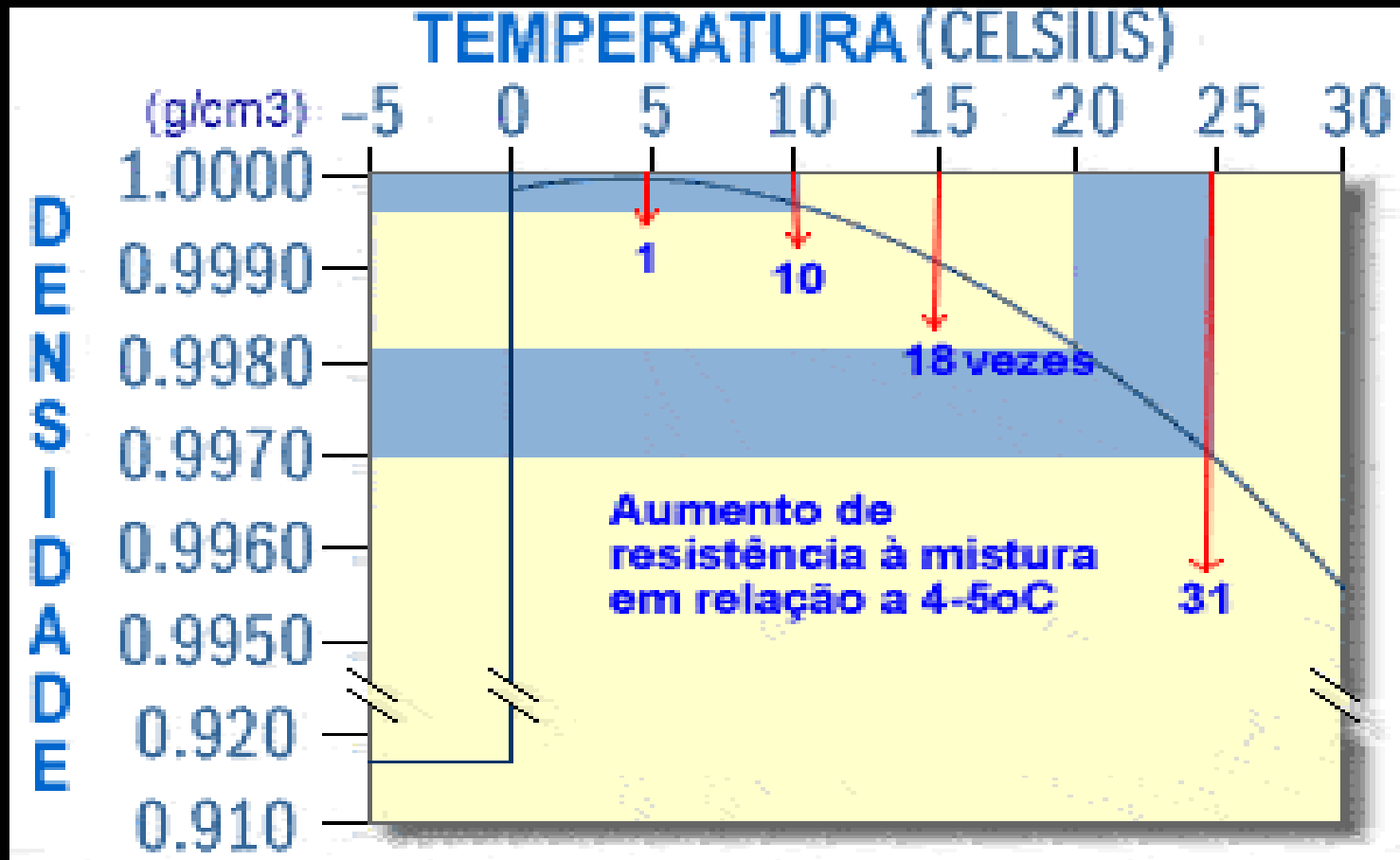
P-precipitado/complexado/adsorvido (difícil solubilização);

P-solúvel – ortofosfatos (prontamente absorvíveis);

**Distribuição de H_3PO_4 e dos íons fosfato em função do pH.
(adaptado de Mello et al., 1984)**



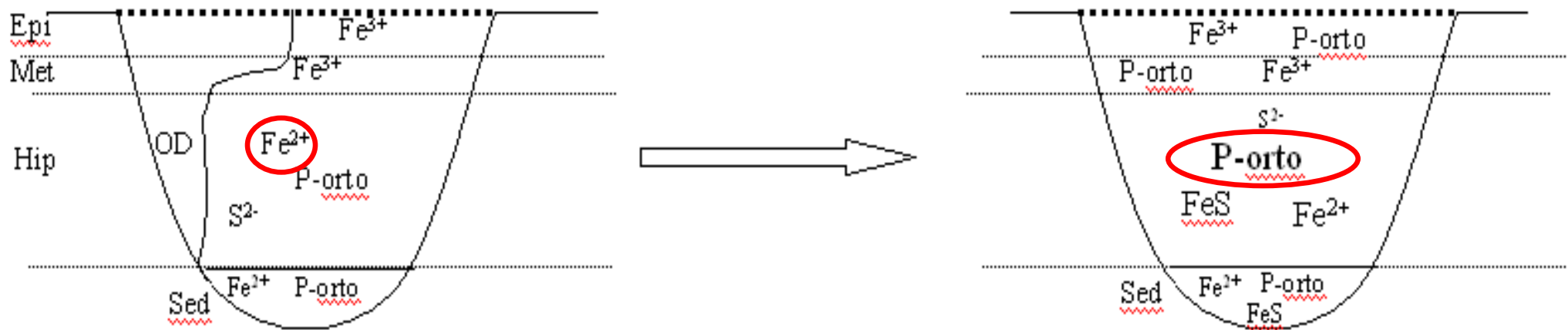
Relação Temperatura x Densidade da água em reservatórios



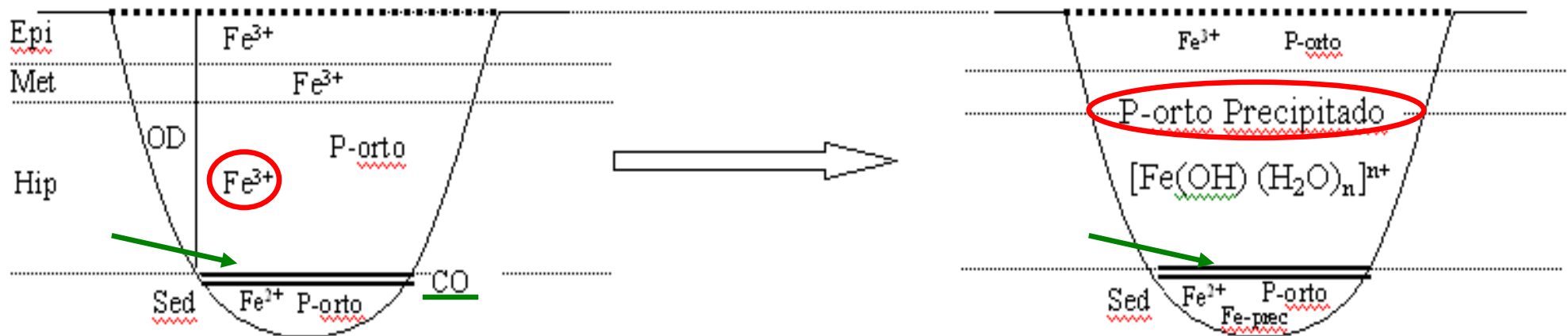
Estratificação térmica

Dinâmica de ortofosfatos em função do perfil de oxigênio no hipolímnio

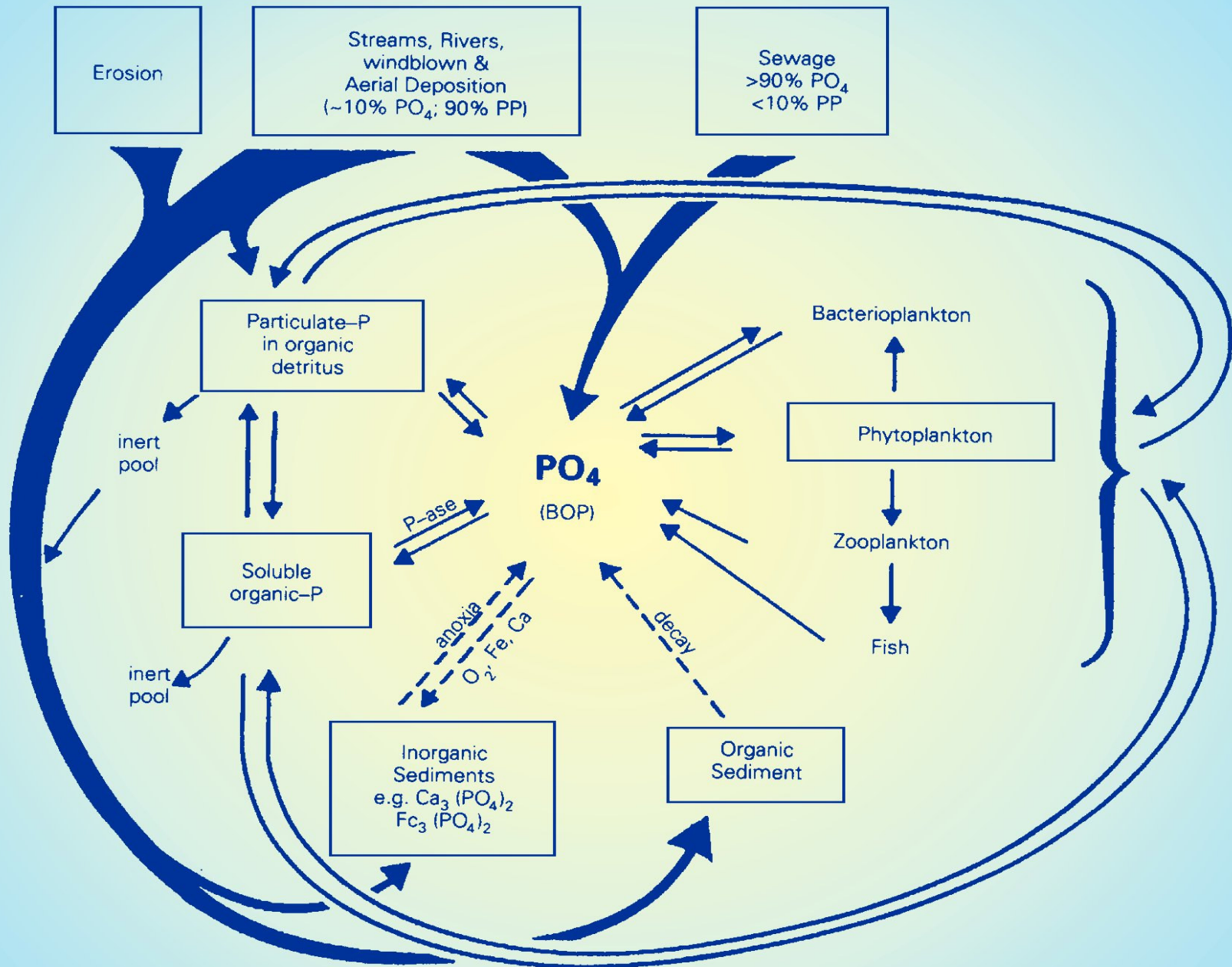
1 - ambientes com estratificação térmica definida - hipolímnios anaeróbios



2 - ambientes sem estratificação térmica definida - hipolímnios aeróbios

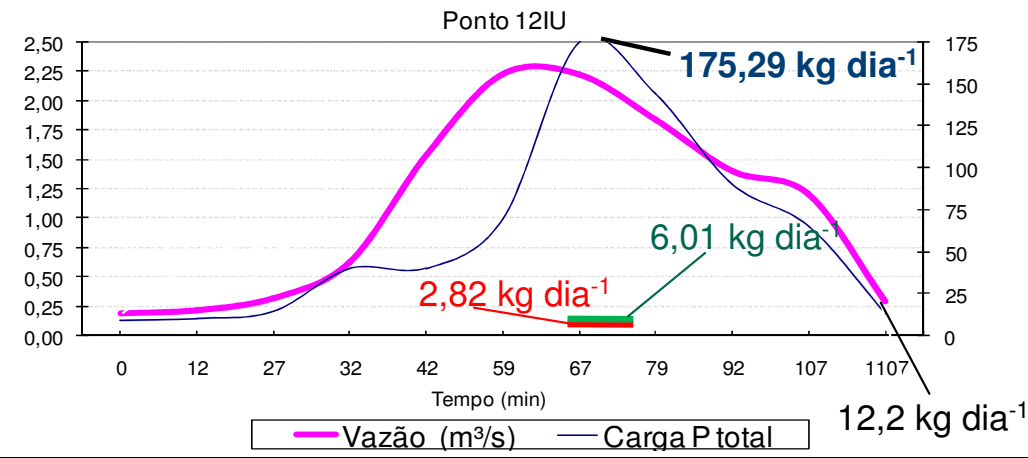
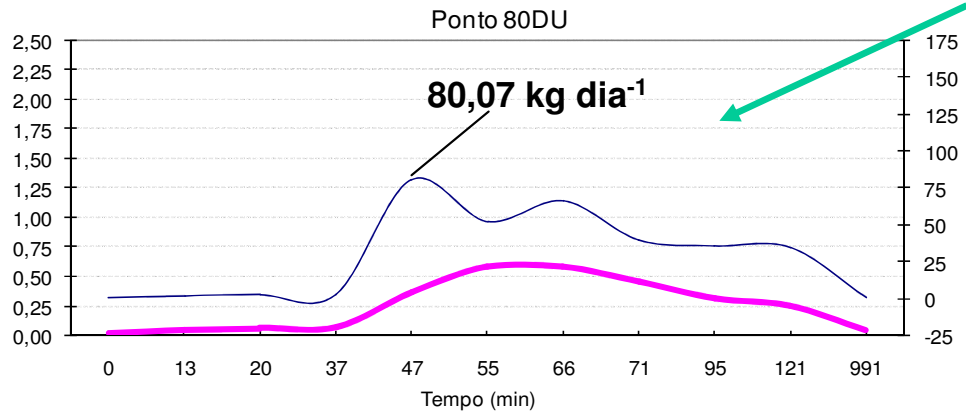
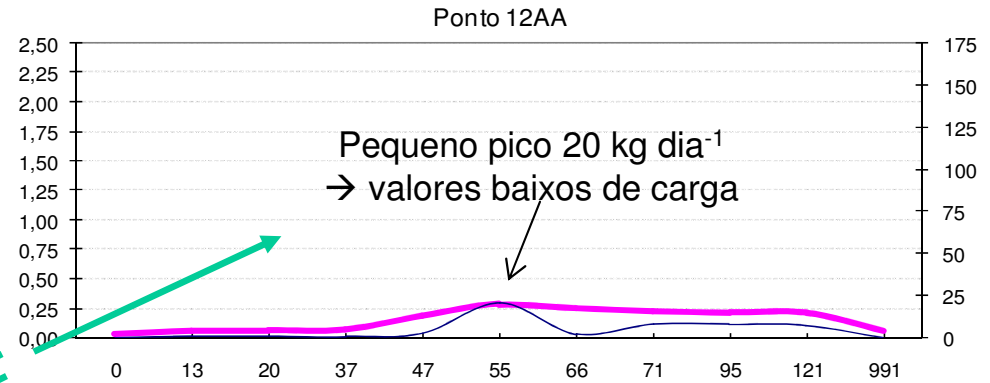
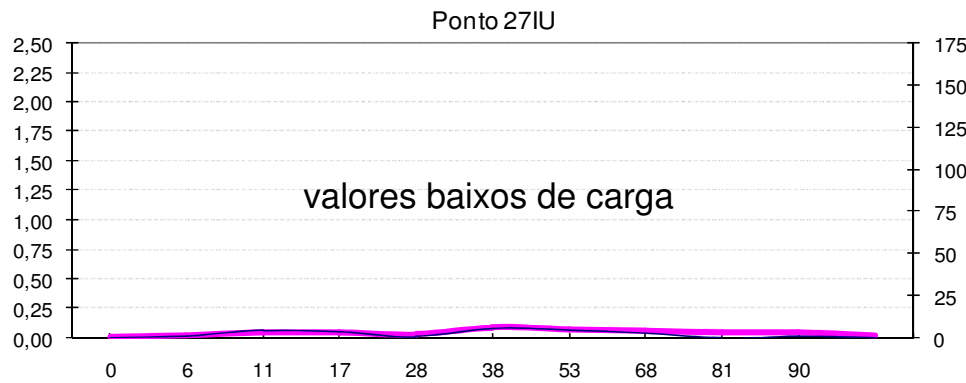


- complexação na forma de hidróxido de Fe hidratado;
- adsorção à argilas;
- adsorvido ao Ca e Mg (pH básico);
- complexação com complexos de Al e Mn (pH ácido)



Horne & Goldman (1997)

Cargas de P-total na estiagem e durante chuvas



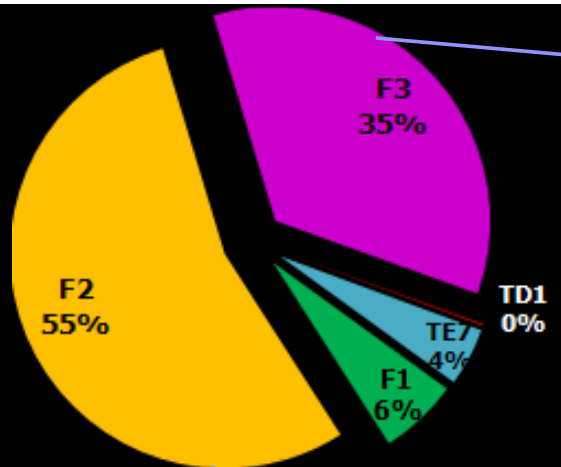
CARNEIRO, 2008

2,6 kg dia⁻¹ → máximo para permanecer mesotrófico (GOBBI, 2003)

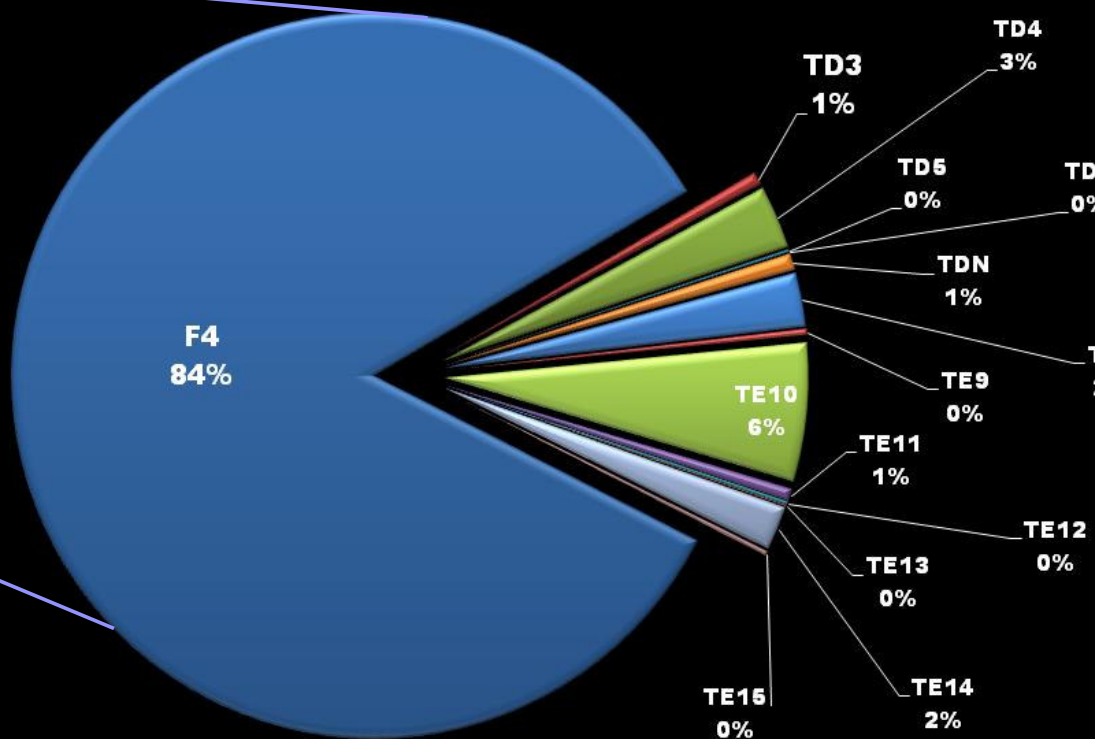
Área Urbana bastante significativa em cargas → concentração e vazão

P total

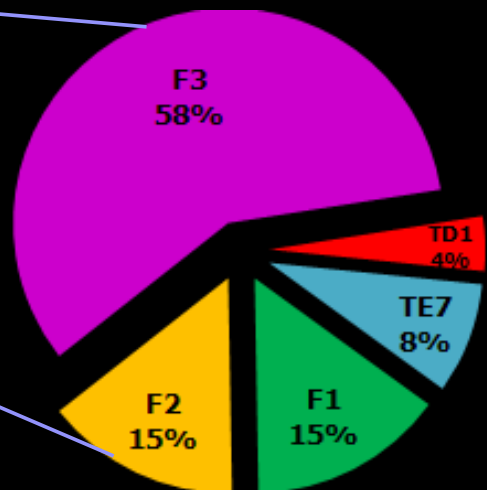
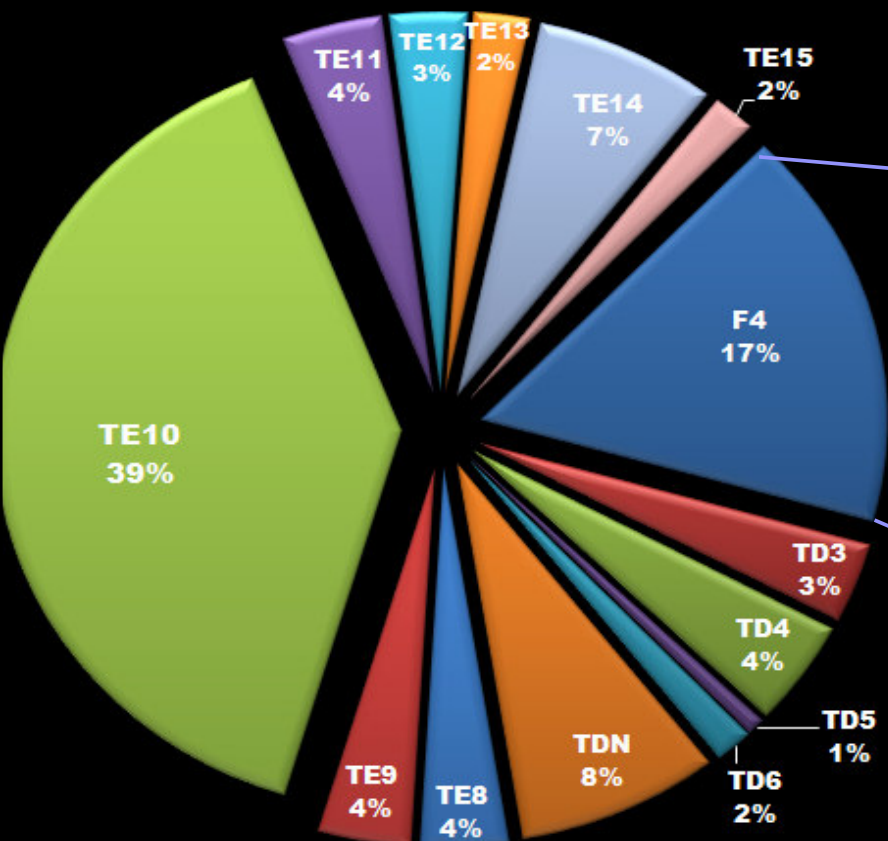
Carga Total



Carga P total (kg/dia)



Carga P total (kg/dia/km²)



Carga Relativa

NOMES E ORGANISMOS PRODUTORES DE CIANOTOXINAS

NAME	PRODUCED BY
Neurotoxins	
Anatoxin-a Homo-Anatoxin-a	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria</i>
Anatoxin-a(s)	<i>Anabaena, Oscillatoria (Planktothrix)</i>
Paralytic Shellfish Poisons (Saxitoxins)	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Lyngbya</i>
Liver Toxins	
Cylindrospermopsin	<i>Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Raphidiopsis, Umezakia</i>
Microcystins	<i>Anabaena, Aphanocapsa, Hapalosiphon, Microcystis, Nostoc, Oscillatoria, Planktothrix</i>
Nodularins	<i>Nodularia</i> (brackish water)
Contact Irritant-Dermal Toxins	
Debromoaplysiatoxin, Lyngbyatoxin	<i>Lyngbya</i> (marine)
Aplysiatoxin	<i>Schizothrix</i> (marine)

Carmichael & RenHui, 2006

CIANOTOXINAS

Neurotoxinas

Anatoxina-a

Anatoxina-a(s)

Saxitoxinas

**BMAA (beta metil-
aminoalanina)**

Hepatotoxinas

Microcistinas

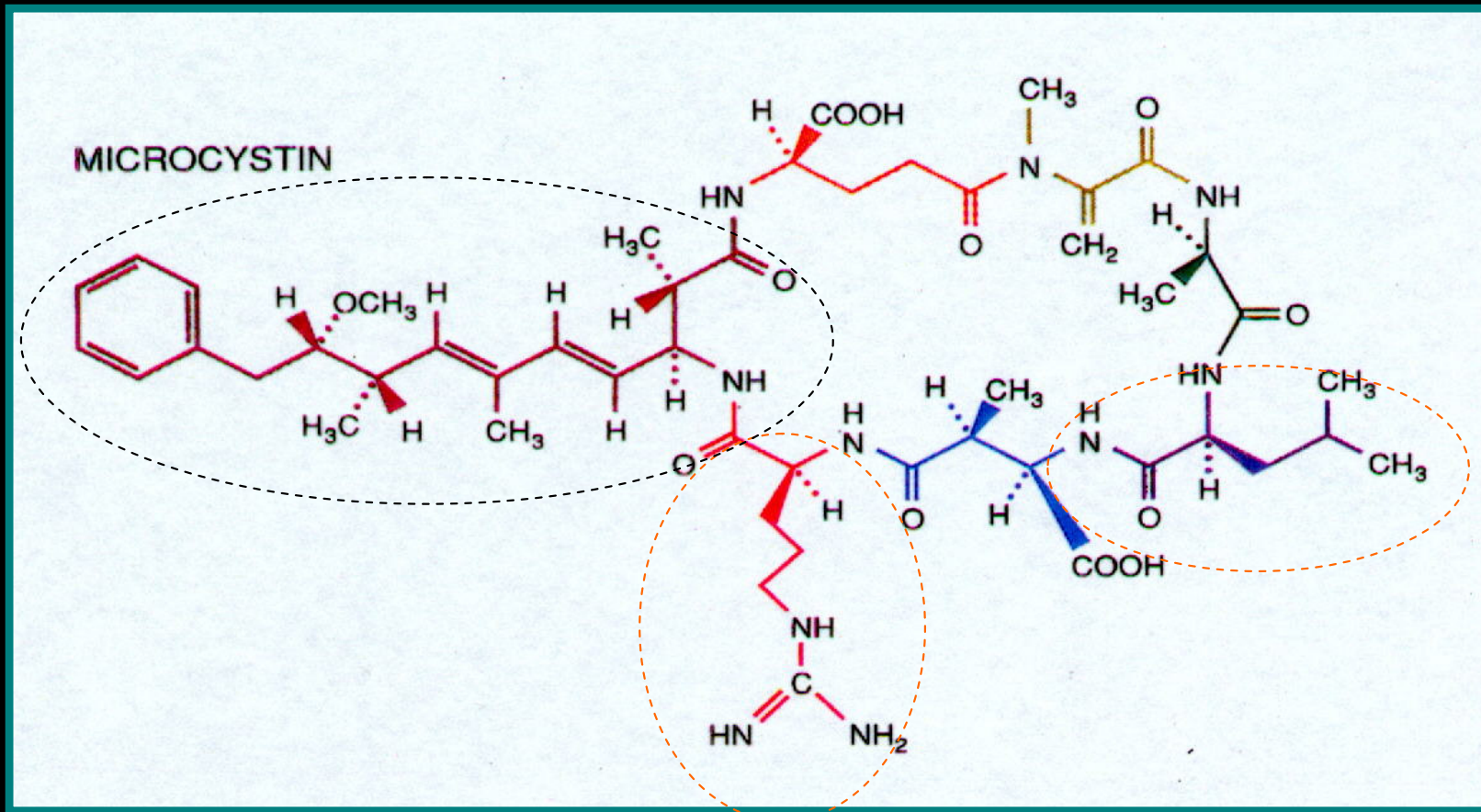
Nodularina

Cilindrospermopsina

Microcistinas

Cianotoxinas mais freqüentemente encontradas
Heptapeptídeos cíclicos – mais de 90 variantes

Consideradas carcinogênicas pelo mecanismo de ação, por estudos em animais e por dados epidemiológicos TDI = 1,0 µg/L ou 0,04 µg/Kg/dia



Carmichael, 1994. Scientific American, 270:78-86

Toxicidade de algumas moléculas naturais

Compound	Chemistry	Source	LD50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ BW
botulin A (s.c.)	protein	soil bacteria (<i>Chlostridium</i>)	0.004
ciguatoxin 1	polyether	marin dinoflagellates	0.25
batrachotoxin	steroid	tropical frogs (<i>Phyllobates</i>)	2
saxitoxin	alkaloid	cyanobacteria	8
tetrodotoxin	alkaloid	puffer fish (symb. bacteria)	8
anatoxin-A(s)	alkaloid	cyanobacteria	40
microcystin-LR	peptide	cyanobacteria	50
amanitine	peptide	mushroom (<i>Amanita</i>)	100
anatoxin-A	alkaloid	cyanobacteria	250
aconitine	terpenoid	monkshood (<i>Aconitum</i> sp.)	270
microcystin-RR	peptide	cyanobacteria	600
strychnine	alkaloid	<i>Strychnos nux-vomica</i>	980
phalloidine	peptide	mushroom (<i>Amanita</i>)	2,000
cylindrospermopsin	alkaloid	cyanobacteria	2,100
rotenone	alkaloid	<i>Lonchocarpus</i> (fabaceae)	2,650
domoic acid	amino acid	diatom (<i>Pseudonitzschia</i>)	3,600
digitoxin	steroid	foxglove (<i>Digitalis</i> sp.)	3,900
ouabain	steroid	tropical plants	11,000
atropine	alkaloid	solanaceae	30,000

FONTE: AZEVEDO, 2008 - Compilado do website da National Library of Medicine
 NOTA: Toxicidade relativa a aplicação i.p. em camundongos;

LIMITES MÁXIMOS PARA CIANOTOXINAS EM ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (Portaria 518/MS)

Numero de cianobactérias - < 20.000 células água bruta

ÁGUA TRATADA

Cylindrospermopsis raciborskii **Cilindrospermopsinas** - 15µg/L

Microcystis aeruginosa **Microcistinas** - 1µg/L

Anabaena solitaria **Saxitoxinas** - 3µg/L

Ocorrência de Microcistinas em mananciais e estações de tratamento RMC ($\mu\text{g/L}$)

Local	DATAS DE COLETAS					
	jun01	mai02	ago03	set03	fev04	mar/04
Represa Iraí Curitiba	> 10.000	2094	2146		87,1	226
ETA Iraí In-Natura	1,1			7,9	5,8	
ETA Iraí Tratada	0,1		0,04	0,1	0,1	0,07
ETA Iguaçu Tratada	0,11		0,05	0,05	0,06	0,08
ETA Tarumã Tratada	0,06		0,05	0,08	0,03	0,06

Portaria 518 → Microcistinas - $1\mu\text{g/L}$

O QUE FAZER ?

AÇÕES INSTITUCIONAIS

- Planos de ação integrada entre os órgãos
- Programas de conscientização
- Programas de monitoramento
- Estabelecimento de Níveis de Alerta e Planos de Ação
- Pesquisa Interdisciplinar
- Medidas Técnicas – impedimento ao aporte de cargas
- Medidas corretivas - recuperação de lagos

Recuperação de lagos

Métodos Físicos:

- Remoção de macrófitas aquáticas;
- Redução do tempo de residência.
- Aeração do hipolímnio;
- Retirada seletiva da massa d'água;
- Retirada do sedimento de fundo;
- Retirada da biomassa planctônica;
- Sombreamento

Métodos Químicos:

- Floculação de nutrientes (precipitação do fosfato, com sulfato de alumínio);
- Oxidação química do sedimento;
- Uso de herbicidas (sulfato de cobre);
- Cobertura do sedimento (selar com argila)

Métodos Biológicos:

- Peixes (não têm sido efetivos);
- Macrófitas (problemas com o controle);
- Zooplâncton;
- Moluscos

O que já se tem comprovação científica sobre as toxinas de algas...

- **Toxinas muito potentes e possivelmente carcinogênicas;**
- **Potencialmente podem ocorrer em qualquer ecossistema aquático;**
- **Ocorrem geralmente em altas concentrações intracelulares, podendo estar diluídas no ambiente;**
- **Altamente variáveis quanto a estrutura química e propriedades;**
- **Produzidas naturalmente sendo dificilmente consideradas pelas legislações;**
- **Moléculas relativamente estáveis e, portanto, não facilmente degradadas.**

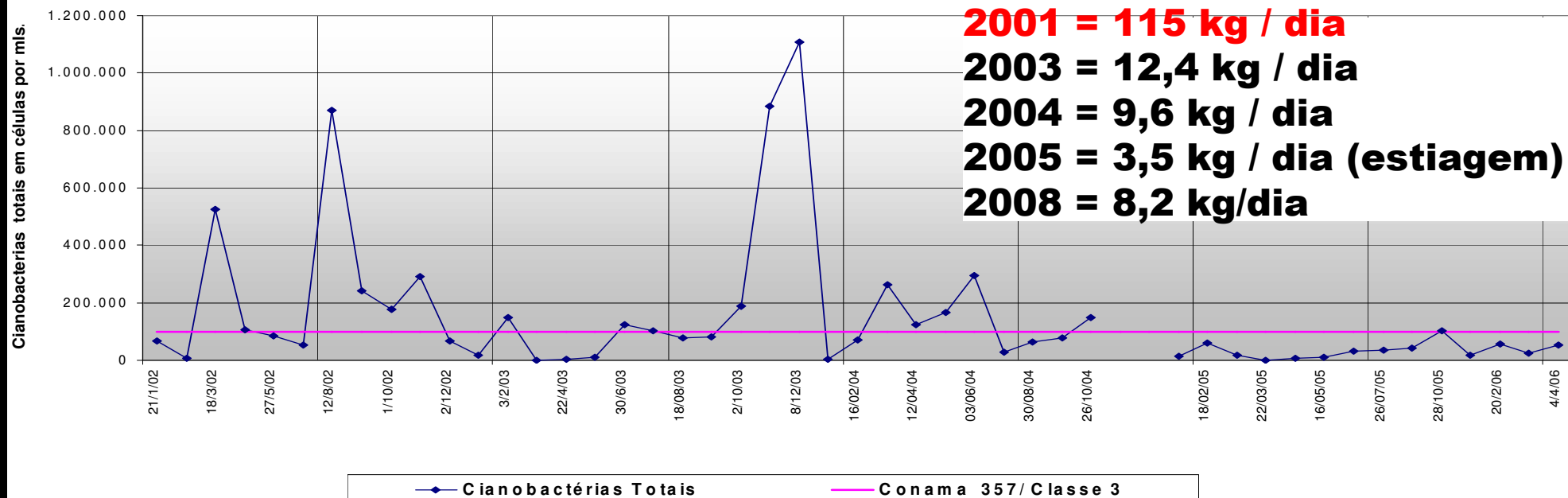
CONSIDERACOES FINAIS

- As cianobactérias são reflexo de ambientes onde o impacto do excesso de nutrientes favoreceu o crescimento de organismos que **em condições normais não se desenvolveriam** e não dominariam o ambiente;
- **Eutrofização: um problema atual e mundial;**
- Tem como causa principal, em nosso país, a pequena parcela de **esgotos tratados e atividades agropecuárias;**
- **Nas regiões mais populosas, mesmo que todos os lançamentos de esgotos sejam interrompidos, serão necessários muitos anos e altos investimentos em eco-tecnologias para que esses ecossistemas sejam recuperados;**
- Necessidade de mais pesquisas;
- Recuperar os ambientes degradados e ampliar políticas de proteção e gerenciamento dos recursos hídricos de **forma INTEGRADA.**

Evolução do Reservatório Iraí – 2002 a 2006

33 Ações → Proteção de Mananciais – DMA/DO/SANEPAR

Número de cianobactérias totais, relacionadas ao LMP da portaria Conama, classe 3, de 2002 a 2006.





OBRIGADO!!!

Charles Carneiro

**Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento
Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social
Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR**

E-mail: charlesc@sanepar.com.br

Fone: (0xx41) 3330 3397

