



Composição Química das Águas

**Geoquímica do Sistema Terra
Prof. Reginaldo Bertolo
Instituto de Geociências**

Sumário

- 1 – Constituintes da Água**
- 2 – Água do Mar**
- 3 – Água da Chuva**
- 4 – Água de Rios**
- 5 – Água de Aquíferos**
- 6 – Algumas Águas Subterrâneas Impactadas**

A água e seus constituintes químicos

- **Resultado da interação da água com a rocha:**
 - Intemperismo
 - Dissolução de vários compostos inorgânicos
- **Constituintes maiores (vários mg/L)**
 - Bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{-2}), cloreto (Cl^-)
 - Cálcio (Ca^{+2}), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^+)
 - Sílica (H_4SiO_4)
 - Ácido Carbônico (H_2CO_3)

A água e seus constituintes químicos

- **Constituintes menores (de $\mu\text{g/L}$ a alguns mg/L)**
 - Carbonato, fluoreto, fosfato, **nitrato**
 - Ferro, estrôncio, zinco, manganês, bário
- **Constituintes traço ($\mu\text{g/L}$)**
 - Bromo, iodo, boro
 - Alumínio
 - Arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel, prata e demais elementos

A água e seus constituintes químicos

• Gases dissolvidos

- Oxigênio (O_2)
- Gás Carbônico (CO_2)
- Nitrogênio (N_2)
- Metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S), N_2O
- Radônio 222 (^{222}Rn)

A água e seus constituintes químicos

• Constituintes orgânicos (COD)

- natural: complexos orgânicos (ex.: ácidos húmico e fúlvico)
- poluição: efluentes domésticos e industriais
- HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2 , H_2CO_3 não são orgânicos

A água e seus constituintes químicos

- **Sólidos Dissolvidos**

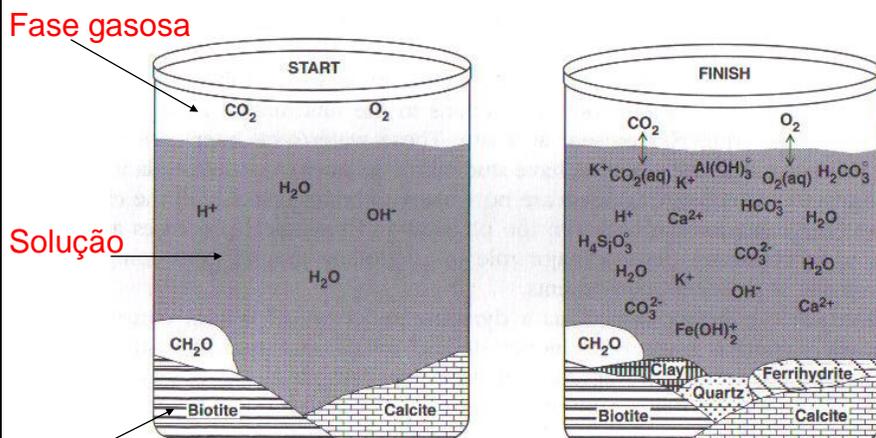
- Soma da massa de todas as espécies dissolvidas

Categoria	TDS (mg/L)
Água Doce	0 - 1.000
Água Salobra	1.000 - 10.000
Água Salgada	10.000 - 100.000
Salmouras	> 100.000

- Água do mar: 35.000 mg/L
- Água subterrânea: pode variar muitas ordens de magnitude

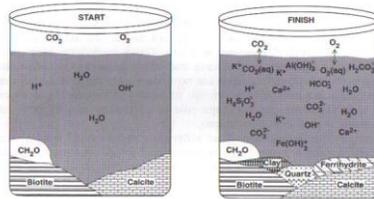
O Sistema Hidrogeoquímico

- Interações entre fases sólida, líquida e gasosa



Deutsch, 1997

O Sistema Hidrogeoquímico



Gases: $O_2(\text{gas}) \leftrightarrow O_2(\text{aq})$

$CO_2(\text{gas}) \leftrightarrow CO_2(\text{aq})$

Redox: $CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$

Dissolução: $CaCO_3 + H^+ \leftrightarrow Ca^{+2} + HCO_3^-$

$2KFe_3AlSi_3O_{10} + 14H^+ + H_2O \rightarrow 2K^+ + 6Fe^{+2} + 4H_4SiO_4 + Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Redox: $4Fe^{+2} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+$

Adsorção: $K^+ + X^- \rightarrow K-X$

Troca Iônica: $K-X + H^+ \rightarrow H-X + K^+$

Fenômenos Químicos e Físico-Químicos

- Evaporação e Evapotranspiração
- Ação da biomassa viva
- Degradação da matéria orgânica
- Dissolução / Precipitação
- Reações Ácido Base (hidrólise, acidólise)
- Oxidação
- Adsorção / troca iônica



Composição Química das Águas

**Geoquímica do Sistema Terra
Prof. Reginaldo Bertolo
Instituto de Geociências**

Sumário

- 1 – Constituintes da Água**
- 2 – Água do Mar**
- 3 – Água da Chuva**
- 4 – Água de Rios**
- 5 – Água de aquíferos**
- 6 – Algumas Águas Subterrâneas Impactadas**

Água do Mar

Composição Química média (mg/L)

- 98% da massa de água do planeta
- salinidade média de 3,49%

pH	8,1
Cl	19000
Na	10500
SO ₄	2700
Mg	1350
Ca	410
K	390
HCO ₃	142
Br	67
Sr	8
SiO ₂	6,4
B	4,5
F	1,3
N	0,67
Li	0,17
STD	34580

Hem, 1992

Água do Mar

Distribuição da salinidade em superfície

- Salinidades menores em regiões equatoriais (3,45% - precipitação) e próximas das regiões polares (3,4%)
- Salinidade maior (3,57%) em regiões de menor pluviosidade e maior evaporação (latitudes 20° a 30°)
- Maior salinidade em mares fechados (mar Vermelho: sal.=4%; Mar Morto: sal.=35%)

Água do Mar

Gases Dissolvidos

- O₂, N₂ e CO₂ (principais)
- Variação com a temperatura

Concentração (mg/L)	CO ₂	O ₂
0°C	1,06	13,89
10°C	0,73	10,75
25°C	0,46	7,87

Hem, 1992

Água do Mar

Gases Dissolvidos

- Varia com a profundidade, devido ao metabolismo animal

% Saturação x Prof. (m)	CO ₂	O ₂
0	113%	101%
50	127%	93%
100	147%	89%

Leinz, 1980

Água do Mar

Enriquecimento e tempo de residência

- Alguns elementos são enriquecidos, outros diminuem de concentração em relação às águas dos rios
- Vários fenômenos químicos e bioquímicos controlam a CQ da água do mar

Elemento	Rios (mg/kg)	Mar (mg/kg)	Enriqueci/o	Tempo Residência (anos)
Br	0,02	67	3350	790.000.000
Cl	7,8	19500	2500	630.000.000
Na	6,3	10800	1714,3	200.000.000
F	0,001	1,3	1300	790.000
B	0,01	4,5	450	16.000.000
Mg	4,1	1290	314,6	50.000.000
S	3,7	900	243,2	500.000.000
K	2,3	399	173,5	13.000.000
Sr	0,07	7,6	108,6	5.000.000
U	0,00004	0,0031	77,5	1.000.000
Li	0,003	0,17	56,7	2.500.000
Ca	15	413	27,5	1.300.000
I	0,007	0,056	8	4.000.000
P	0,02	0,071	3,55	40.000
Ni	0,0003	0,0005	1,67	1.600
Ba	0,02	0,014	0,7	5.000
Si	6,5	2,8	0,43	7.900
Cr	0,001	0,0002	0,2	1.600
Mn	0,007	0,0003	0,04	32
Al	0,05	0,0008	0,016	7
Pb	0,001	0,000002	0,002	50
Fe	0,04	0,00006	0,0015	0,69

Faure, 1997

Água do Mar

Processos geoquímicos

- Na, Cl, K e SO_4 – retirados da solução em depósitos de evaporitos
- SO_4
 - Removido como CaSO_4 em evaporitos
 - Reduzido por decomposição da matéria orgânica em regiões pelágicas, com produção sulfeto (precipitado com o Fe na pirita)
 - Mar Negro

Água do Mar

Processos geoquímicos

- Ca e HCO_3
 - CQ média do mar saturado em calcita
 - Supersaturado em águas quentes e rasas, levando à precipitação do CaCO_3
 - maior atividade biológica vegetal
 - menor solubilidade do CO_2

Água do Mar

Processos geoquímicos

- SiO_2
 - removido por plantas (diatomáceas) e por esponjas e radiolários (esqueletos de animais)
 - depósitos extensos em regiões de clima frio

Água da Chuva

A água da chuva:

- possui concentrações de sólidos dissolvidos muito baixas (~1 a ~12 mg/L)
- possui elevadas concentrações de gases atmosféricos (O_2 , N_2 , CO_2 , Ar, SO_2 , etc)
- as concentrações das espécies variam em função da distância da costa
- concentrações variam em função da poluição atmosférica
- concentrações variam no tempo

Água da Chuva

Chuva no Estado de São Paulo

	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	NO3	NH4
Ubatuba	4,50	0,35	0,19	0,25	0,17	2,32	1,14		
S.J. Campos	4,40	1,00	0,64	2,37	0,11	0,65	2,27		
Campos do Jordão	4,97	0,07	0,32	0,27	0,08	0,05	1,27		
Cubatão	4,20	3,35	0,40	1,14	0,72	1,70	5,00	0,67	0,33
Cidade Universitária SP*	4,99	0,51	0,29	1,47	0,35	1,25	4,44	2,75	0,77
Urânia SP (17-01-00)**	4,82	0,30	0,20	0,85	0,10	0,68	0,53	1,31	
Urânia SP (20-01-00)**	5,40	0,10	0,10	0,35	0,05	0,22	0,33	1,25	

Dados de Moreira Nordemann, 1983, in Szikszay, 1993

*Dados de Szikszay et al., 1990

**Dados de Bertolo, 2001



Composição Química das Águas

Geoquímica do Sistema Terra
Prof. Reginaldo Bertolo
Instituto de Geociências

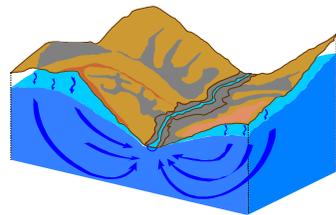
Sumário

- 1 – Constituintes da Água
- 2 – Água do Mar
- 3 – Água da Chuva
- 4 – Água de Rios**
- 5 – Água de aquíferos
- 6 – Algumas Águas Subterrâneas Impactadas

Água dos Rios

Composição química varia em função do:

- Tempo:
 - Épocas de chuvas - CQ rios reflete CQ da chuva (< STD)
 - Épocas de estiagem - CQ rios reflete a CQ do escoamento de base (descarga dos aquíferos - > STD)
 - Variação é muito rápida



Água dos Rios

Composição química varia em função do:

- Clima
 - Águas de rios de clima úmido são bicarbonatadas e possuem mais cálcio
 - Águas de rios de climas secos são cloretadas/sulfatadas e possuem mais sódio

Rio	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Vazão km ³ /ano
Mississipi EUA	34,00	8,90	11,00	2,80	10,30	25,50	116,00	7,60	580
Colorado EUA	83,00	24,00	95,00	5,00	82,00	270,00	135,00	9,30	20
Rio Grande EUA	109,00	24,00	117,00	6,70	171,00	238,00	183,00	30,00	2,4

Água dos Rios

Composição química varia em função da:

- Geologia
 - Águas de cabeceira de bacias refletem mais a CQ da água subterrânea
 - Águas de grandes rios tendem a possuir CQ mais uniforme
 - STD aumenta ao longo do rio

Água dos Rios

Composição química varia em função da:

- Ocorrência de poluição
 - Carga Orgânica
 - Nutrientes (N,P,K)

Água dos Rios

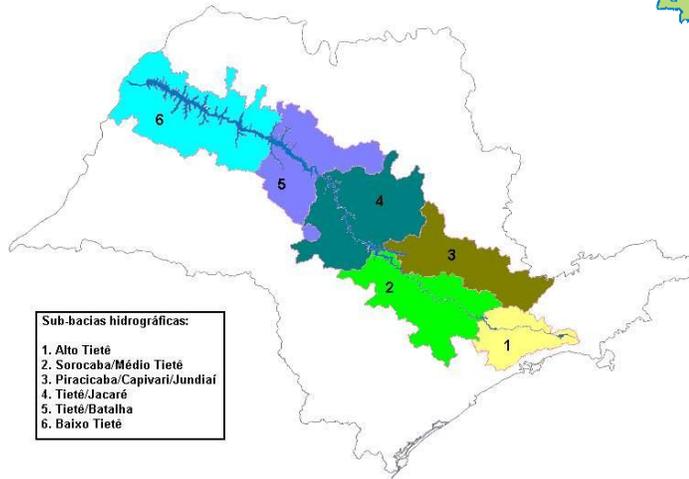
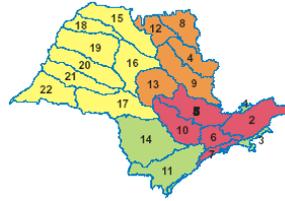
Eutrofização:

- Elevação da carga orgânica e de nutrientes por poluição em corpos hídricos que contêm oxigênio livre
- Consequências:
 - Multiplicação de fitoplânctons
 - Diminuição da qualidade da água de distribuição
 - Dificulta o tratamento convencional
 - Facilita a formação de trihalometanos



Água dos Rios

Unidades hidrográficas do ESP



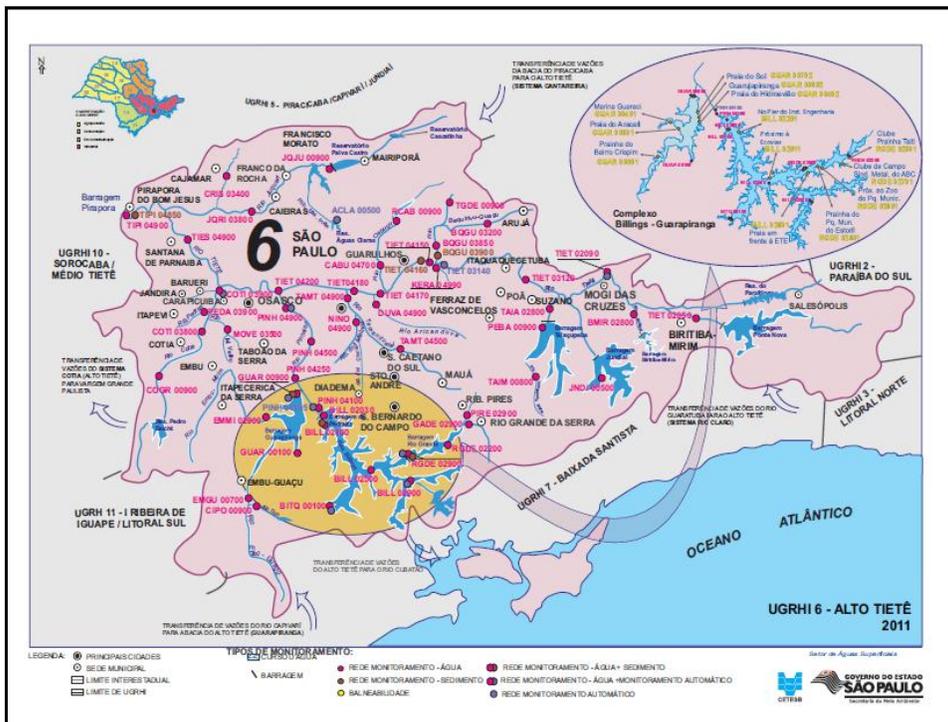
- Sub-bacias hidrográficas:
1. Alto Tietê
 2. Sorocaba/Médio Tietê
 3. Piracicaba/Capivari/Jundiaí
 4. Tietê/Jacaré
 5. Tietê/Batalha
 6. Baixo Tietê

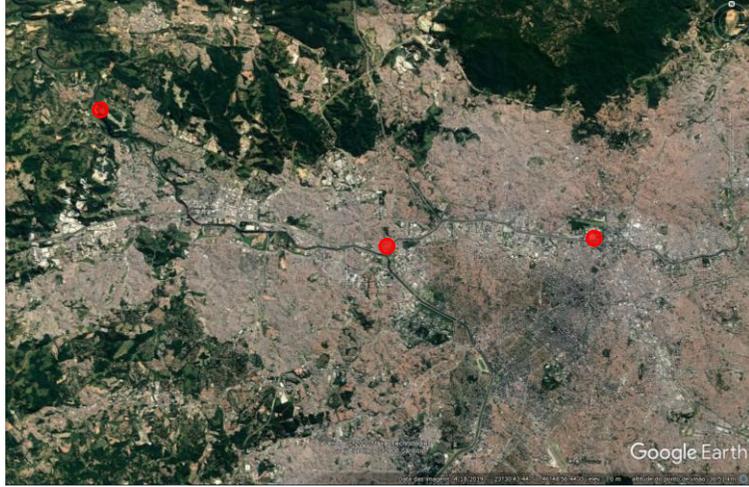
Alguns conceitos

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**
 - quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável
 - Mede a fração biodegradável de um contaminante orgânico
- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**
 - quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico
- **DQO > DBO**
- **DQO > 3*DBO**: composto pouco degradável

Alguns conceitos

- **Nitrogênio Orgânico**
 - Nitrogênio ligado a proteínas e aminoácidos
- **Nitrogênio Kjeldahl**
 - Nitrogênio orgânico + NH_4^+
- **Surfactantes**
 - Detergentes. Esgotos = 3 a 6 mg/L
- **Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)**
 - Indicador contaminação fecal
- **Potencial Formação Trihalometanos (THM)**
 - Indicador de qualidade de água pré-tratamento
 - Reação matéria orgânica com Cl do tratamento





Água dos Rios

Rio Tietê

	Foz Tamdteí	Foz Tamdteí	Ponte Remédios	Barr. Pirapora	Porto Feliz	Repr. B. Bonita	Saída R. B. Bonita	Foz Tietê
Data	mar-03	set-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	out-03
Chuva?	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cor	Preta	Marrom	Preta	Preta	Preta	Verde	Verde	Verde
pH	7,00	7,20	7,10	7,30	6,90	7,20	7,30	8,40
CE	674,00	373,00	750,00	640,00	474,00	412,00	217,00	142,00
Cloreto	77,70	37,00	67,30	58,10	50,40	50,10	19,70	8,88
DBO	102,00	48,00	51,00	34,00	14,00	31,00	<3	<3
DQO	197,00	115,00	161,00	90,00	<17	35,00	<50	<50
P total	2,52	0,71	2,83	2,34	1,13	0,38	0,35	0,03
N. org	20,90	10,10	21,50	20,70	15,00	4,80	4,30	0,58
N. NH4+	14,60	8,46	16,80	17,20	13,40	4,50	0,08	0,04
N. NO3-	0,00	0,00	0,00	1,47	0,93	5,20	1,88	<0,3
OD	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,80	7,10	8,00
Surfact.	1,10	1,54	4,00	3,88	0,17	0,12		
Coli total	1,30E+06	3,00E+05	1,50E+05	5,20E+04	130	4	19	0

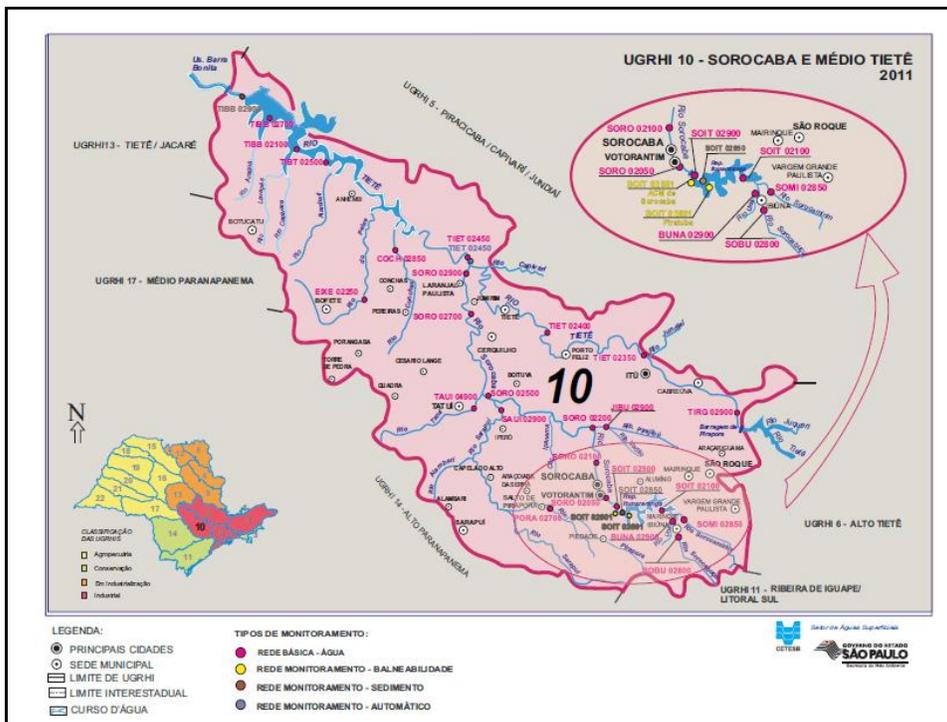
Fonte: Cetesb, 2004



Barragem de Pirapora



https://www.youtube.com/watch?v=UW3uO_CyMKIw

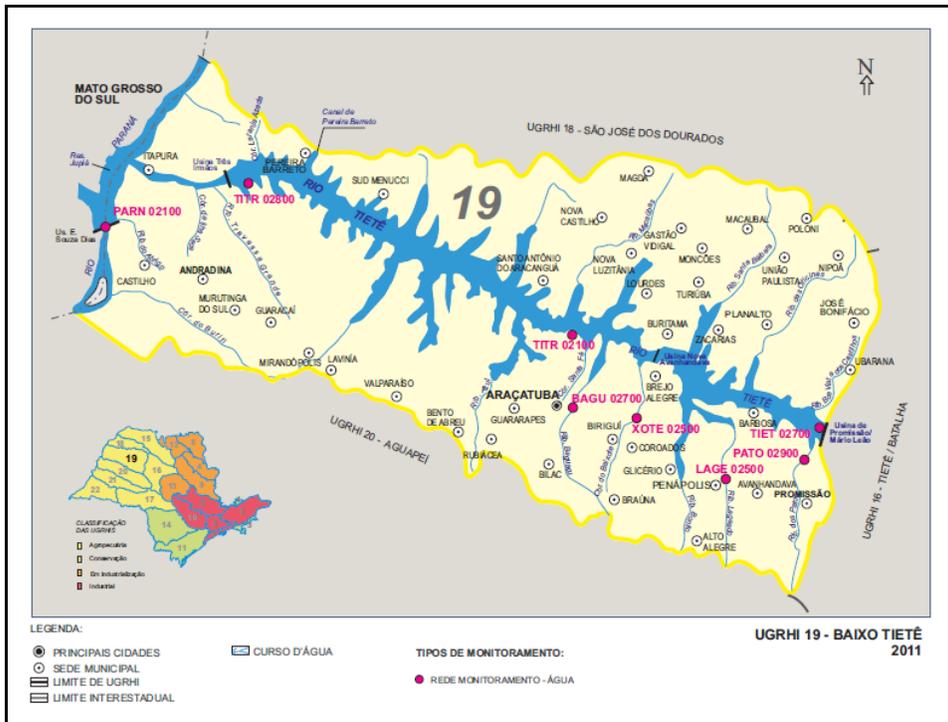


Água dos Rios

Rio Tietê

	Foz Tamdeí	Foz Tamdeí	Ponte Remédios	Barr. Pirapora	Porto Feliz	Repr. B. Bonita	Saída R. B. Bonita	Foz Tietê
Data	mar-03	set-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	out-03
Chuva?	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cor	Preta	Marrom	Preta	Preta	Preta	Verde	Verde	Verde
pH	7,00	7,20	7,10	7,30	6,90	7,20	7,30	8,40
CE	674,00	373,00	750,00	640,00	474,00	412,00	217,00	142,00
Cloreto	77,70	37,00	67,30	58,10	50,40	50,10	19,70	8,88
DBO	102,00	48,00	51,00	34,00	14,00	31,00	<3	<3
DQO	197,00	115,00	161,00	90,00	<17	35,00	<50	<50
P total	2,52	0,71	2,83	2,34	1,13	0,38	0,35	0,03
N. org	20,90	10,10	21,50	20,70	15,00	4,80	4,30	0,58
N. NH4+	14,60	8,46	16,80	17,20	13,40	4,50	0,08	0,04
N. NO3-	0,00	0,00	0,00	1,47	0,93	5,20	1,88	<0,3
OD	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,80	7,10	8,00
Surfact.	1,10	1,54	4,00	3,88	0,17	0,12		
Coli total	1,30E+06	3,00E+05	1,50E+05	5,20E+04	130	4	19	0

Fonte: Cetesb, 2004

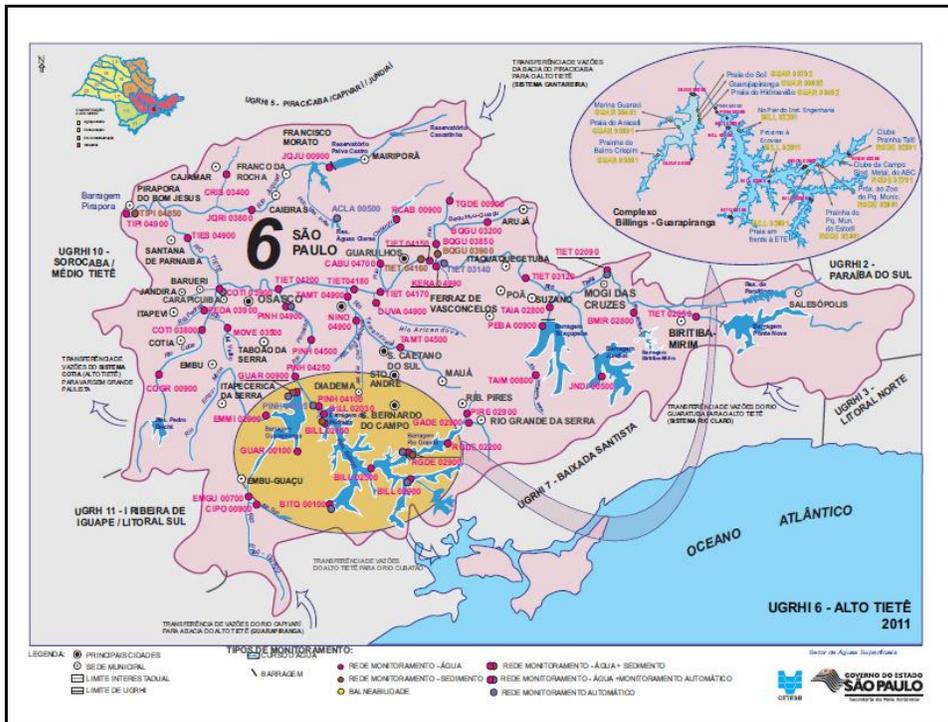


Água dos Rios

Rio Tietê

	Foz Tamdeí	Foz Tamdeí	Ponte Remédios	Barr. Pirapora	Porto Feliz	Repr. B. Bonita	Saída R. B. Bonita	Foz Tietê
Data	mar-03	set-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	jul-03	out-03
Chuva?	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cor	Preta	Marrom	Preta	Preta	Preta	Verde	Verde	Verde
pH	7,00	7,20	7,10	7,30	6,90	7,20	7,30	8,40
CE	674,00	373,00	750,00	640,00	474,00	412,00	217,00	142,00
Cloreto	77,70	37,00	67,30	58,10	50,40	50,10	19,70	8,88
DBO	102,00	48,00	51,00	34,00	14,00	31,00	<3	<3
DQO	197,00	115,00	161,00	90,00	<17	35,00	<50	<50
P total	2,52	0,71	2,83	2,34	1,13	0,38	0,35	0,03
N. org	20,90	10,10	21,50	20,70	15,00	4,80	4,30	0,58
N. NH4+	14,60	8,46	16,80	17,20	13,40	4,50	0,08	0,04
N. NO3-	0,00	0,00	0,00	1,47	0,93	5,20	1,88	<0,3
OD	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,80	7,10	8,00
Surfact.	1,10	1,54	4,00	3,88	0,17	0,12		
Coli total	1,30E+06	3,00E+05	1,50E+05	5,20E+04	130	4	19	0

Fonte: Cetesb, 2004



Água dos Rios

Sistema de Abastecimento de Água São Paulo

	Unid	Cantareira	Guarapiranga
Data		nov-03	nov-03
Chuva?		Sim	Não
Cor		Verde	Verde
pH		7,10	7,70
CE	microS/cm	35,00	160,00
Cloreto	mg/L	1,34	17,70
DBO	mg/L	<3	7,00
DQO	mg/L	<50	<50
P total	mg/L	0,04	0,23
N. org	mg/L	0,61	2,56
N. NH4+	mg/L	0,08	0,32
N. NO3-	mg/L	<0,2	1,22
OD	mg/L	7,60	9,20
COD	mg/L	4,23	5,08
THM (pot)	microg/L	151,00	438,00
Coli total	NMP/100mL	6	50



Composição Química das Águas

**Geoquímica do Sistema Terra
Prof. Reginaldo Bertolo
Instituto de Geociências**

Sumário

- 1 – Constituintes da Água**
- 2 – Água do Mar**
- 3 – Água da Chuva**
- 4 – Água de Rios**
- 5 – Água de Aquíferos**
- 6 – Algumas Águas Subterrâneas Impactadas**

Água dos Aquíferos

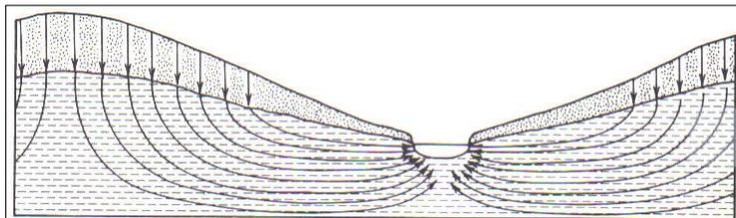
Influência do Clima

- Clima seco e quente: > [STD]
 - Ação da Evaporação na Zona não Saturada
- Climas úmidos: < [STD]
- STD: tropical → temperado → árido

Água dos Aquíferos

Influência da Profundidade de Circulação

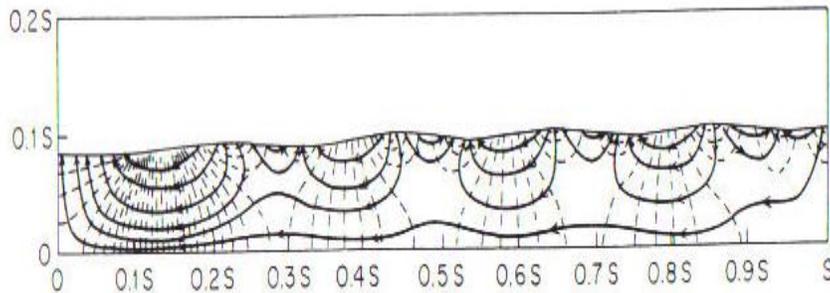
- A água subterrânea passa da zona não saturada para o contexto aquífero nas zonas de recarga
- Sai do aquífero nas zonas de descarga (rios, lagos, mar)
- Enriquece-se em elementos químicos no caminho



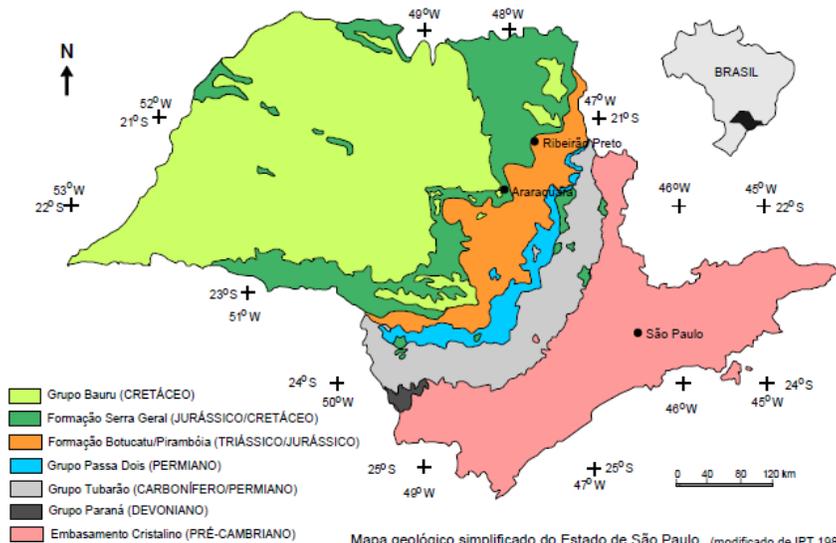
Água dos Aquíferos

Influência da Profundidade de Circulação

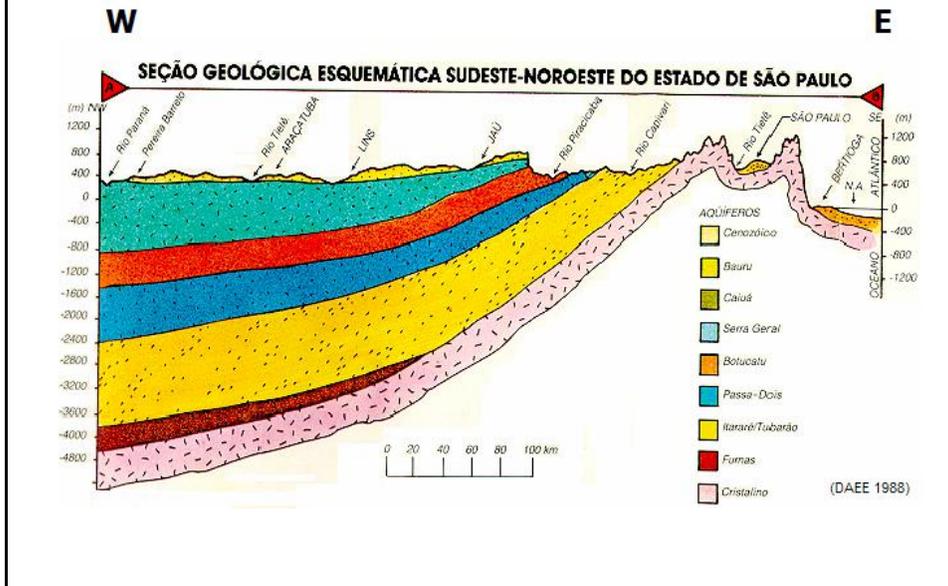
- Sistemas de fluxos: local → intermediário → profundo
- Tempo de residência: anos → décadas → séculos
- Quanto maior tempo de residência, > mineralização, > pH



Aquíferos do Estado de São Paulo



Aquíferos do Estado de São Paulo

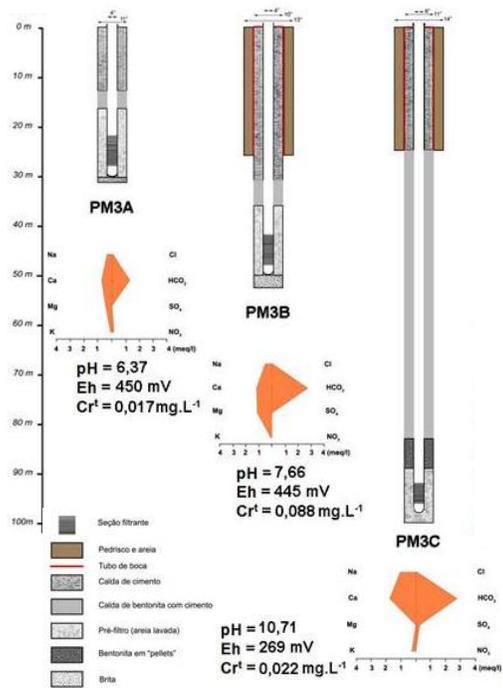


Aquífero Bauru

Influência da Profundidade de Circulação

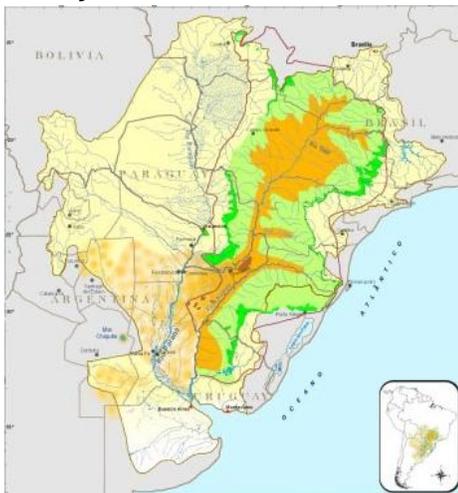
- Município de Urânia SP
- Trio multinível
- Pesquisa de origem do Cromo em água subterrânea

Bertolo et al, 2009



Aquífero Guarani

Influência da Profundidade de Circulação



	Aquífero Guarani 1- média	Aquífero Guarani 2- P. Prudente
pH	6,51	8,95
STD	83,27	712,18
Na ⁺	6,17	225
K ⁺	1,95	2,2
Ca ⁺²	8,61	4,49
Mg ⁺²	2,69	0,24
HCO ₃ ⁻	54,21	223,25
SO ₄ ⁻²	1,14	92
Cl ⁻	1,26	133
SiO ₂	15,6	32
HCO ₃ / SiO ₂	3,72	7,84
SiO ₂ / (Na+K-Cl)	0,84	0,08
Na/ (Na+Cl)	0,88	0,72
Ca/ (Ca+SO ₄)	0,95	0,1

Água dos Aquíferos

Influência Antrópica – Aquífero Bauru – Urânia SP

	CHUVA	Solo 50cm	Poços Rasos	Poços 50m	Poços 100 m
pH	5,14	6,56	5,66	6,45	7,53
Eh (mV)	673	445	515	486	459,14
C.E.	10	227	284	213,5	193,3
HCO ₃ ⁻	0,00	26,36	25,49	79,61	107,6
Sulfato	0,55	26,4	0,68	0,32	0,23
Cloreto	0,14	4,5	21,55	6,56	3,63
Nitrato	0,5	49,21	77,91	35,44	11,57
PO ₄	0,013	0,45	0,036	0,065	0,059
Sódio	<0,01	1,7	19,84	5,29	11,59
Potássio	<0,01	2,1	6,49	3,89	3,1
Cálcio	0,95	32,9	19,9	20,34	22,38
Magnésio	<0,003	6,95	7,42	7,57	5,72

Bertolo, 2001 e Gutierrez, 2003

Água dos Aquíferos

Influência da Geologia – Granitos/Gnaisses

- Quartzo, K-feldspato, plagioclásio (Na-Ca), biotita, muscovita
- HCO_3^- – Na/Ca – SiO_2
- Baixo STD

Bertolo, 2007

	Granitos
pH	6,67
STD	94,41
Na^+	8,82
K^+	2,88
Ca^{+2}	10,61
Mg^{+2}	2,77
HCO_3^-	64,71
SO_4^{-2}	2,11
Cl^-	3,08
SiO_2	22,81
$\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2$	3,04
$\text{SiO}_2 / (\text{Na}+\text{K}-\text{Cl})$	0,94
$\text{Na} / (\text{Na}+\text{Cl})$	0,82
$\text{Ca} / (\text{Ca}+\text{SO}_4)$	0,92

Água dos Aquíferos

Influência da Geologia – Basaltos

- Plagioclásio (Ca>Na), Piroxênios
- HCO_3^- , Ca (>Mg), SiO_2
- Fluxos profundos do Serra Geral?
↑↑ [Na]; ↓↓ [Ca]

Bertolo, 2007

	Granitos	Basaltos 1	Basaltos 2 Ibirá – SP
pH	6,67	6,93	10
STD	94,41	100,12	288
Na^+	8,82	9,67	97,43
K^+	2,88	1,4	0,97
Ca^{+2}	10,61	14,14	0,82
Mg^{+2}	2,77	4,56	0
HCO_3^-	64,71	83,84	30,65
SO_4^{-2}	2,11	1,11	47,61
Cl^-	3,08	2,61	2,47
SiO_2	22,81	18,54	36
$\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2$	3,04	4,84	5,84
$\text{SiO}_2 / (\text{Na}+\text{K}-\text{Cl})$	0,94	0,74	0,13
$\text{Na} / (\text{Na}+\text{Cl})$	0,82	0,85	0,98
$\text{Ca} / (\text{Ca}+\text{SO}_4)$	0,92	0,97	0,04

Água dos Aquíferos

Influência da Geologia – Calcários, dolomitos e mármore

- Calcita, dolomita
- \uparrow Ca, \uparrow HCO₃, \uparrow pH, \downarrow SiO₂
- \uparrow [HCO₃/SiO₂] (>10)

Bertolo, 2007

	Metacalcários - Ouro Fino - PR
pH	7,8
STD	133,41
Na ⁺	1,2
K ⁺	0,4
Ca ⁺²	32,06
Mg ⁺²	12,41
HCO ₃ ⁻	161,22
SO ₄ ⁻²	0
Cl ⁻	0,31
SiO ₂	10,82
HCO ₃ / SiO ₂	15,96
SiO ₂ / (Na+K-Cl)	3,08
Na/ (Na+Cl)	0,86
Ca/ (Ca+SO ₄)	1

Água dos Aquíferos

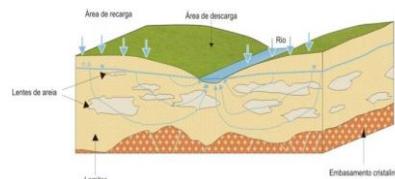
Influência da Geologia – Sedimentos Arenosos

São Lourenço (MG):
sedimentos aluvionares com argilas orgânicas

	Bcs Cenoz. - S. Lourenço - MG	Bcs Cenoz. - Crystal - SP
pH	5,9	7,22
STD	220	130,67
Na ⁺	22,63	22,36
K ⁺	19,09	1,83
Ca ⁺²	14,63	6,3
Mg ⁺²	6,04	9,05
HCO ₃ ⁻	157,39	122,13
SO ₄ ⁻²	1,67	1,2
Cl ⁻	1,83	0,32
SiO ₂	10	39

Bertolo, 2007

Bc. São Paulo





Composição Química das Águas

**Geoquímica do Sistema Terra
Prof. Reginaldo Bertolo
Instituto de Geociências**

Sumário

- 1 – Constituintes da Água**
- 2 – Água do Mar**
- 3 – Água da Chuva**
- 4 – Água de Rios**
- 5 – Água de aquíferos**
- 6 – Algumas Águas Subterrâneas Impactadas**

Água dos aquíferos	Compostos	Portaria	Bckgrnd	Surgência
		518/04	14/02/06	Botafora
		mg/L		15/02/06
	pH	-	7,52	3.32
	Eh	-	138	211
	OD	-	4,50	4.29
	Sólidos Dissolvidos		17.4	16405
	COD	-	<2	11.3
	Alcalinidade total	-	<2	<2
	Sulfato	250	5.99	11911
	Cloreto	250	<2	23.8
	Fluoreto	1.5	<0,5	1.95
	N Nitrato	10	<0,3	0.72
	N Amoniacal	-	<0,2	72.8
	Cálcio	-	1.186	236.89
	Magnésio	-	0.407	602.47
	Sódio	200	1.212	88.239
	Potássio	-	0.776	26.1
	Alumínio	0.2	0.2	792.36
	Ferro	0.3	<0,3	293.5
	Manganês	0.1	0.238	2309
	Arsênio	0.01	<0,01	0.235
	Chumbo	0.01	<0,01	0.296
	Níquel	-	<0,02	12.026
	Zinco	5	<0,1	11.538
	Sílica dissolvida	-	6.35	16.8

Ações Antrópicas

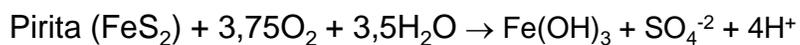
- Drenagem ácida

$$4\text{FeS}_2 + 15\text{O}_2 + 14\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$$

- + reações de desadsorção

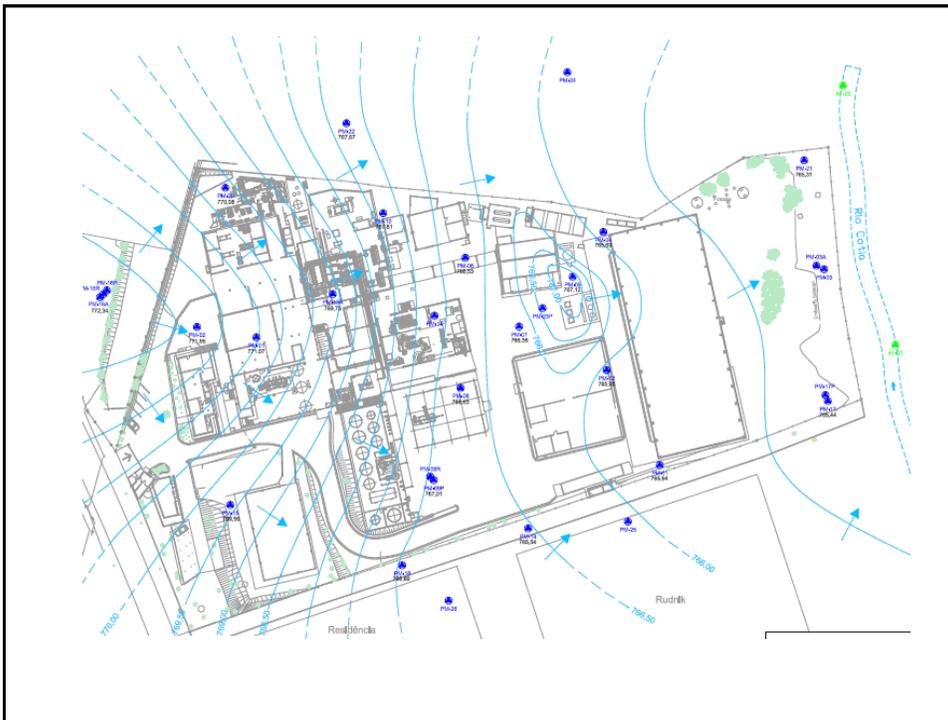
Drenagem ácida

- **Oxidação da Pirita**



Carga orgânica em aquíferos

- Produção de espessantes orgânicos p/ indústrias alimentícia
 - Matérias primas: celulose, etanol, soda cáustica, ácido acético, ácido clorídrico, peróxido de hidrogênio
- Fe e Mn na água indicados como de origem natural
- Plano de amostragem da Inv. Confirmatória: COD não analisado



Investigação Confirmatória

	Unid	PM-01 Mar/08	PM-01 Jan/10	PM-02 Mar/08	PM-02 Jan/10	PM-08 Mar/08	PM-08 jan/10	PM-09 Mar/08	PM-09 Jan/10
Alumínio	mg/L	N.A.	0.04	N.A.	N.D.	N.A.	0.01	N.A.	0.68
Arsênio	mg/L	N.D.	0.03	N.D.	0.01	N.D.	0.01	N.D.	0.06
Bário	mg/L	N.A.	0.45	N.A.	0.09	N.A.	0.27	N.A.	2.53
Chumbo	mg/L	N.D.	N.D.	0.51	N.D.	N.D.	N.D.	0.15	N.D.
Cobalto	mg/L	0.10	N.D.	0.09	0.01	N.D.	N.D.	0.08	0.01
Cobre	mg/L	N.D.	N.D.	1.73	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo	mg/L	N.D.	N.D.	0.56	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ferro	mg/L	N.A.	22.23	N.A.	124.65	N.A.	64.95	N.A.	14.09
Manganês	mg/L	3.86	0.72	5.59	0.89	4.99	4.82	5.78	1.21
Zinco	mg/L	0.07	0.08	4.35	0.11	0.07	0.10	0.08	0.23
Calcio	mg/L	16.2	N.A.	71.54	N.A.	5.81	N.A.	125	N.A.
Sódio	mg/L	1771	N.A.	1079	N.A.	117	N.A.	1727	N.A.

Água dos Aquíferos

Ações Antrópicas – Contaminação por carga orgânica

- Ordem das reações redox intermediadas por bactérias na degradação de matéria orgânica

Oxidação aeróbica: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Redução do Nitrato: $5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- = 4\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 + 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Redução do Mn(IV): $\text{CH}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{MnO}_2 = 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$

Redução do Fe(III): $\frac{1}{4}\text{CH}_2\text{O} + \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{H}^+ = \frac{1}{4}\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Fe}^{+2} + \frac{11}{4}\text{H}_2\text{O}$

Redução do sulfato: $2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} = 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$

Metanogênese:

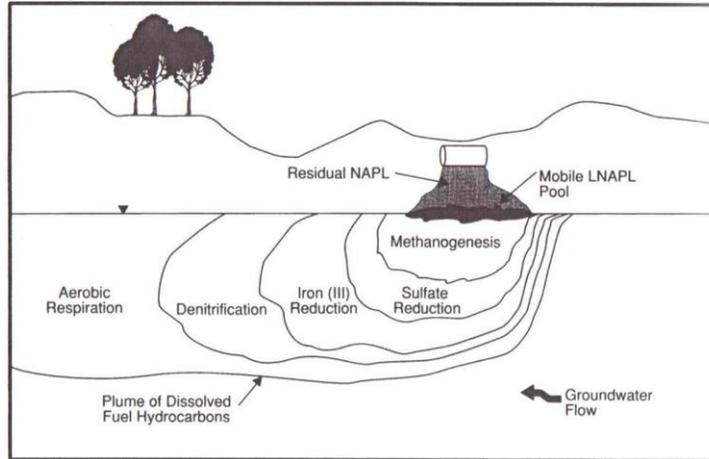
Fermentação: $\text{C}_6\text{H}_6 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2$

Respiração: $3\text{CH}_3\text{COOH} = 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$

$3\text{H}_2 + 0,75\text{CO}_2 = 0,75\text{CH}_4 + 1,5\text{H}_2\text{O}$

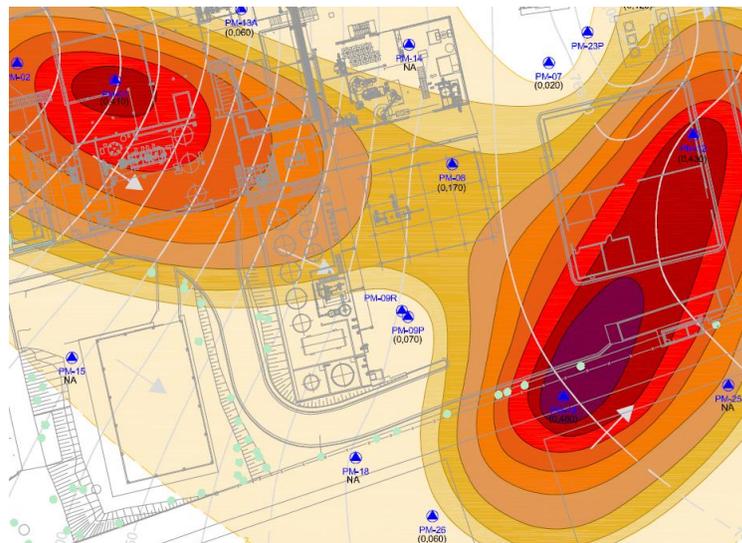
Biodegradação de Matéria Orgânica

Zoneamento ideal dos processos de consumo de receptores de elétrons

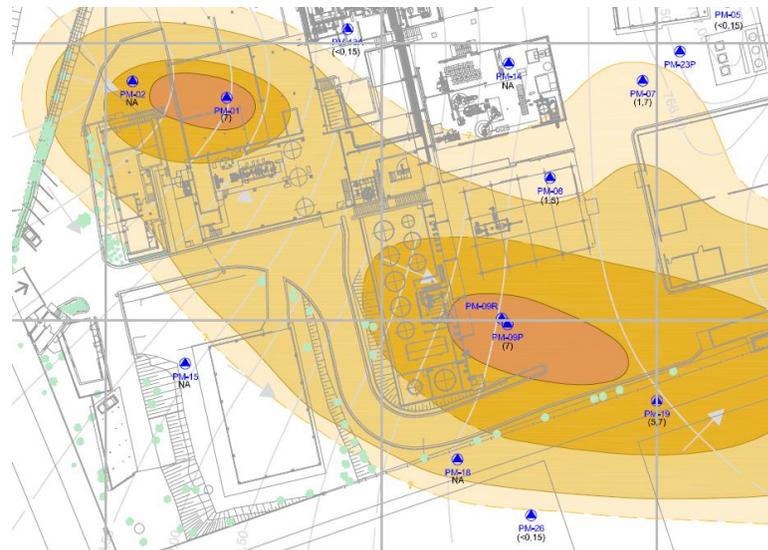


Wiedemeier, 1999

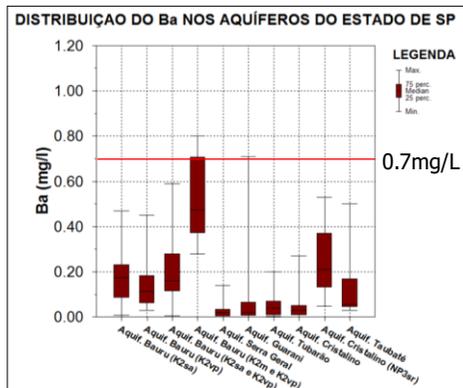
Sulfeto



Metano



Bário em água subterrânea

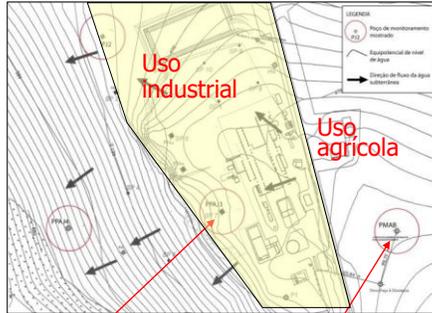


Em poços de abastecimento do Aq. Marília: origem natural
 $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

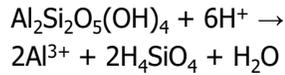
Dados: Rel. monitoramento água subterrânea - CETESB, 2008

Bário em água subterrânea

Área industrial contaminada – Aquífero Adamantina



Dissolução de caulinita à montante



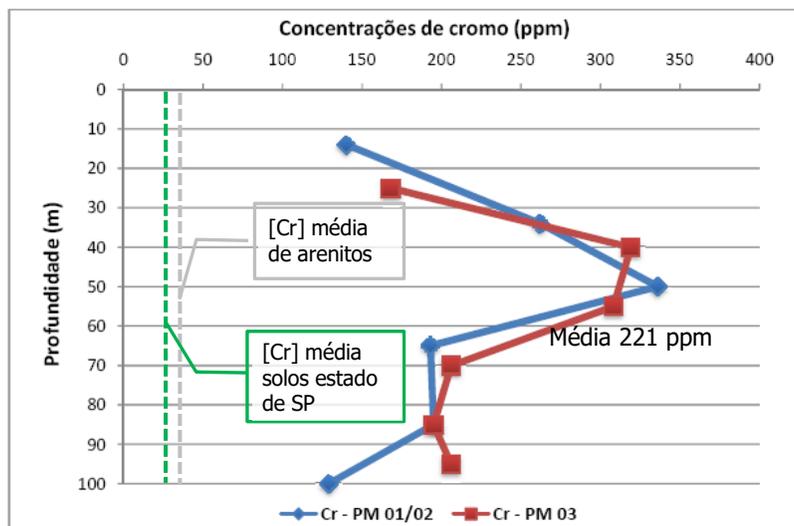
Desadsorção de Ba^{2+} e K^+

pH = 4,88
Al < 0,001 mg/L
Ba = 0,15 mg/L
K = 1,66 mg/L

pH = 3,88
Al = 1,96 mg/L
Ba = 1,47 mg/L
K = 11,7 mg/L

Origem:
Acidificação de solos
Uso de fertilizantes?

Concentrações de cromo na rocha



Concentração média nos minerais pesados: 3284 ppm

Principal mineral reativo com cromo



Diopsídio (piroxênio)

Mineral comum dentre os pesados (5 a 15% da rocha total)

Feições de dissolução

Concentrações de 1000 a 12000 ppm

Características Hidroquímicas

- Aquífero Freático
 - pH ácido a neutro
 - elevadas concentrações de NO_3
 - pequenas concentrações de Cr_{total} e Cr^{6+}
- Aquífero Profundo
 - pH elevado (até 11); Eh variável
 - elevadas concentrações de Cr^{6+} (até 0,14 mg/L)associadas com zonas de elevados pH e Eh
 - elevação conteúdo de sódio