

AValiação DA PRESENÇA DE METAIS EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E ÁGUA DO RESERVATÓRIO BILLINGS, SÃO PAULO, BRASIL

BARROZO, Fairah; COUTINHO, Suellen Nóbrega; QUINÁGLIA, Gilson Alves

fairahb@hotmail.com

Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz

Resumo: Este trabalho apresenta uma avaliação sobre a presença de metais no solo e, de metais, Cloreto e Condutividade na água do Reservatório Billings através do uso de ferramentas estatísticas. Para a comparação das médias de metais no sedimento foi utilizado o Teste-t de Student em amostras pareadas, para comparação das médias de água foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), e para os pares de médias estatisticamente diferentes na análise de variância foi realizado o teste a posteriori (Post-Hoc).

Tal estudo evidenciou diferenças estatisticamente significativas no sedimento entre os elementos Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni e Zn, ou seja, as diferenças apresentaram-se entre os macroelementos de maior importância ambiental. Com exceção do As, que apesar de ter apresentado $p\text{-value} > 0,05$ que ainda é um elemento de grande relevância ambiental. Os valores de $p\text{-value} > 0,05$ para os elementos Al e Fe evidenciaram a possível origem natural dos mesmos.

Na água superficial, os resultados obtidos para Alumínio Total, Ferro Total e Condutividade apresentaram diferenças entre os sete pontos de amostragem. Sendo que, para a Condutividade, as diferenças se deram principalmente nas amostras coletadas no eixo principal do reservatório, que abrange o braço receptor do Rio Pinheiros seguindo pelo braço margeado pela rodovia Rodoanel Mário Covas. Assim, foi possível verificar que os locais onde houve valores $p\text{-value} \leq 0,05$ para as médias de Condutividade consideradas, são os ambientes visivelmente mais impactados pelas atividades antrópicas, pois são locais altamente ocupados e influenciados pelo lançamento eventual do Rio Pinheiros.

Palavras-chave: Reservatório Billings, Metais, Condutividade elétrica, Cloreto.

Abstract: This work presents an evaluation of the metals presence in the soil and of metals, Chloride and Conductivity in the water of the Billings reservoir through the use of statistical tools. For the comparison of the metal mean values in the sediment, the Student's t-Test was used in paired samples, for comparison of water means was used the Variance Analysis (ANOVA), and for pairs of statistically different means in the analysis of variance, was carried out the Bonferroni Post-Hoc test.

This study showed statistically significant differences in the sediment among the elements Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni and Zn, therefore, the differences were among the most important macroelements. The exception was the As, which despite having presented $p\text{-value} > 0.05$, it is still an element of great environmental relevance. The values of $p\text{-value} > 0.05$ for the Al and Fe elements is an evidence of the possible natural their origin.

In surface water, the results obtained for Total Aluminum, Total Iron and Conductivity showed differences among the seven sampling points. For conductivity, the mainly differences were in the samples collected in the main axis of the dam, which is the receptor arm of the Pinheiros River following the central body of the reservoir. Thus, can be verify that the places where there were values $p\text{-value} \leq 0.05$ for the averages of Conductivity

considered, are the environments visibly more impacted by the human activities, because of the highly human occupation and influenced by the eventual launching of the Pinheiros River.

Keywords: *Reservoir Billings, Metals, Electrical conductivity, Chloride.*

1 INTRODUÇÃO

Para o presente estudo foi avaliada a presença de metais no sedimento e na água do Reservatório *Billings* devido a sua importância para a Região Metropolitana de São Paulo. Localizado na porção sul do Município de São Paulo (CARDOSO-SILVA *et al*, 2014), o reservatório é subdividido em onze unidades, denominadas Braços, são elas: Corpo Central, Grota Funda, Cocaia, Rio Grande Jusante, Rio Grande Montante, Rio Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Bororé e Alvarenga (SÃO PAULO, 2014).

O Reservatório *Billings* foi construído em meados de 1925, com a finalidade de gerar energia elétrica para a usina Henry Borden, localizado no sopé da Serra do Mar, na Baixada Santista. No início dos anos 1940, para a ampliação da capacidade de geração de energia da usina, fez-se o desvio dos rios Tietê e Pinheiros para o Reservatório *Billings*. Em 1958, o reservatório passou também a ter a finalidade de abastecimento público da região do Grande ABC (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano). Porém, os lançamentos de efluentes domésticos no leito dos rios Tietê e Pinheiros ao longo do tempo acabaram causando a aceleração do processo de eutrofização no reservatório. Outro fator que agravou a qualidade das águas do Reservatório *Billings* foi o avanço da urbanização e de outras atividades antrópicas que levaram ao desmatamento acelerado, a ocupação intensa por atividades irregulares e o aumento do descarte de efluentes da população instalada no seu entorno. Já em meados de 1981, com os sérios problemas de florações de cianobactérias devido ao descarte de efluentes, o braço Rio Grande foi totalmente isolado do restante do reservatório, objetivando manter a qualidade da água em níveis de qualidade adequados para o abastecimento público. Em 1992, o bombeamento de água dos Rios Tietê e Pinheiros passou a ser restrito a situações emergenciais de enchentes e risco de colapso na produção de energia elétrica.

Hoje, o Reservatório *Billings* possui dois importantes mananciais que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo, o Reservatório Rio Grande, isolado do restante do Reservatório, e o braço Taquacetuba (CARDOSO-SILVA *et al*, 2014).

Estudos apontam que as águas provenientes do Reservatório *Billings* apresentaram sinais de degradação e elevada produção de nutrientes que acarretam no crescimento excessivo das algas e o aumento da infestação de macrófitas aquáticas. A diferença na qualidade das águas ao longo do Reservatório *Billings* foi associada principalmente à ocupação do entorno, além de ser um dos fatores responsáveis pela formação de compartimentos. Atualmente, o monitoramento da água do reservatório aponta que as regiões dos rios Capivari e Pequeno apresentam a melhor qualidade da água (CARDOSO-SILVA *et al*, 2014).

A população estabelecida irregularmente no entorno do reservatório carece de saneamento básico adequado, captando água para consumo de poços cacimbas e/ou estruturas de captação irregulares, porém sem nenhum tratamento prévio desta água. Estima-se que de 5 a 9 pessoas em cada 100.000 moradores da *Billings* morrem devido às doenças veiculadas pela água poluída (SÃO PAULO, 2014).

Metais

Dentre os compostos comumente estudados nas águas do Reservatório *Billings* se encontram os metais. A presença de metais no solo e na água é largamente estudada à medida que muitos são tóxicos aos seres humanos e à biota, causando interferências no desenvolvimento normal do cérebro e cânceres. Grande parte dos metais são perigosos quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono, destacando-se aqueles capazes de ultrapassar a membrana protetora da barreira cérebro-sangue-cérebro. Os metais mais estudados nesta pesquisa são Mercúrio, Chumbo, Cádmio e Crômio em suas formas catiônicas. (BAIRD *et al*, 2011).

O Mercúrio merece destaque por ser indisputavelmente capaz de passar pelo processo de bioacumulação no corpo, além de ser fatal em doses suficientemente altas. Um dos casos mais famosos de contaminação por mercúrio ocorreu na cidade de Minamata no Japão, onde uma indústria química utilizava o composto Hg^{2+} como catalisador no processo de produção de Cloreto de Polivinila, e acabou por descarregar resíduos que continham Metilmercúrio na Baía de Minamata, o que causou a morte de centenas de pessoas que utilizavam os peixes como alimento (BAIRD *et al*, 2011).

O Chumbo é comumente utilizado na indústria para soldas, munições etc. O Chumbo Branco ($Pb(CO_3)_2(OH)_2$) foi muito utilizado até meados do século XX na composição de tinta branca de interiores e também em plásticos, gasolina, plantas de reciclagem e em tintas de coloração para cabelos. Porém, em altos níveis, o Chumbo inorgânico (Pb^{2+}) é um veneno metabólico, além do potencial de bioacumular-se, substituindo o cálcio (Ca^{2+}) nos ossos (BAIRD *et al*, 2011).

O Cádmio geralmente ocorre junto ao Zinco, já que em grande parte produzido como subproduto da fusão do Zinco. É encontrado principalmente em alimentos, como batatas, trigo, arroz e outros cereais. No Japão, no Rio Jinzu, em Toyama, os habitantes se alimentaram de arroz, cuja plantação era irrigada por esse rio que apresentava contaminação por Cádmio advindo de uma mineração e fundição de Zinco. O consumo de arroz contaminado causou uma doença denominada “Itai-Itai”, onde o Cádmio substituiu o Cálcio (Ca^{2+}) nos ossos, causando dores nas articulações o que tornou os ossos porosos e propícios à fraturas (BAIRD *et al*, 2011).

O Crômio, normalmente presente no ambiente nos estados de oxidação Cr^{3+} e Cr^{6+} , é tóxico e suspeito carcinogênico na forma hexavalente, porém na forma trivalente é muito menos tóxico e age como um nutriente traço. Na sua forma hexavalente, ao entrar nas células, o composto age oxidando as bases de DNA e RNA. Sendo largamente utilizado para eletrodeposição, proteção contra corrosão e curtimento de couro é considerado o segundo contaminante inorgânico mais abundante de águas subterrâneas sobre locais de resíduos perigosos (BAIRD *et al*, 2011).

Entretanto, mesmo os metais que não são considerados perigosos devem ser monitorados, como Alumínio, Ferro etc. Estudos no Canadá e Austrália indicam que o consumo de água com mais de 100 $\mu g/L$ de Alumínio pode causar danos neurológicos. Ao precipitar, o composto fica na forma de gel que, em contato com as brânquias de peixes em águas ácidas, pode impedir a ingestão normal de oxigênio da água, causando o sufocamento do peixe (BAIRD *et al*, 2011).

Condutividade Elétrica

A condutividade é a capacidade da água de conduzir a corrente elétrica, sendo uma característica dependente das concentrações iônicas e da temperatura, indicando a quantidade

de sais existentes na coluna d'água e assim, podendo ser usada como uma ferramenta indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2009). Segundo a CETESB (2009), em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem indicar ambientes impactados.

A condutividade também é considerada como indicador de modificações na composição da água, principalmente no tocante à concentração mineral, além de aumentar à medida que adiciona-se sólidos dissolvidos. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009).

Cloreto

O Cloreto é o ânion Cl^- e nas águas superficiais são oriundos principalmente de descargas de esgotos sanitários, sendo expelido por excretos, fezes e suor. Assim, os esgotos podem apresentar concentrações de cloreto que ultrapassam 15 mg/L. Também são fontes de Cloreto, as indústrias petrolíferas, farmacêuticas, curtumes etc. O fenômeno de Intrusão Salina ocorre nas regiões costeiras e nas águas tratadas, onde ocorre a dissociação do Cloro formando o Cloreto (CETESB, 2009) e a dissolução de minerais (Oliveira *et al.*, 2010).

De forma geral, o Cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, sendo aceitável em algumas concentrações na água de consumo humano (CETESB, 2009).

Em sistemas de tratamento de efluentes, o Cloreto interfere na determinação de ensaios como a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e de Nitratos, além de causar corrosão nas estruturas hidráulicas (CETESB, 2009).

Portanto, apesar de atualmente serem utilizados outros tipos de indicadores da presença de esgotos sanitários, o cloreto foi amplamente utilizado e continua sendo monitorado (CETESB, 2009).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a presença no sedimento de metais e na água dos metais Alumínio e Ferro, além de Cloreto e Condutividade, do Reservatório *Billings* através da análise estatística e identificação de diferenças estatisticamente significativas entre os diversos pontos.

2 DESENVOLVIMENTO

Dados

As amostras foram coletadas e analisadas pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e foram divulgadas no âmbito do Monitoramento Anual da Qualidade das Águas no Estado de São Paulo.

A Tabela a seguir apresenta a descrição dos pontos de amostragem da CETESB ao longo da Represa *Billings*, e a Figura 1 ilustra a localização dos mesmos.

Tabela 1 Descrição dos Pontos de Amostragem na Represa *Billings*

Pontos	Descrição do local	Latitude	Longitude
P1 (BILL 02030)	No meio do corpo central, cerca de 1,5 km da Barragem de Pedreira	23°43'04"	46°39'51"
P2 (BILL 02100)	No meio do corpo central, na direção do braço do Bororé	23°44'57"	46°38'52"
P3 (BILL 02500)	No meio do corpo central, sob a ponte da rodovia dos Imigrantes	23°47'27"	46°35'54"
P4 (BILL 02900)	Próximo à barragem reguladora Billings-	23°49'06"	46°31'25"

Pedras (Summit Control)			
P5 (BITQ 00100)	Na baía situada no final da Rua Tomekichi Inouye (captação da SABESP)	23°50'41"	46°39'20"
P6 (RGDE 02200)	No Clube Prainha Tahiti Camping Náutica, na altura do km 42 da rodovia SP-31	23°44'23"	46°26'44"
P7 (RGDE 02900)	Próximo à rodovia Anchieta, junto à captação da SABESP	23°46'07"	46°32'00"

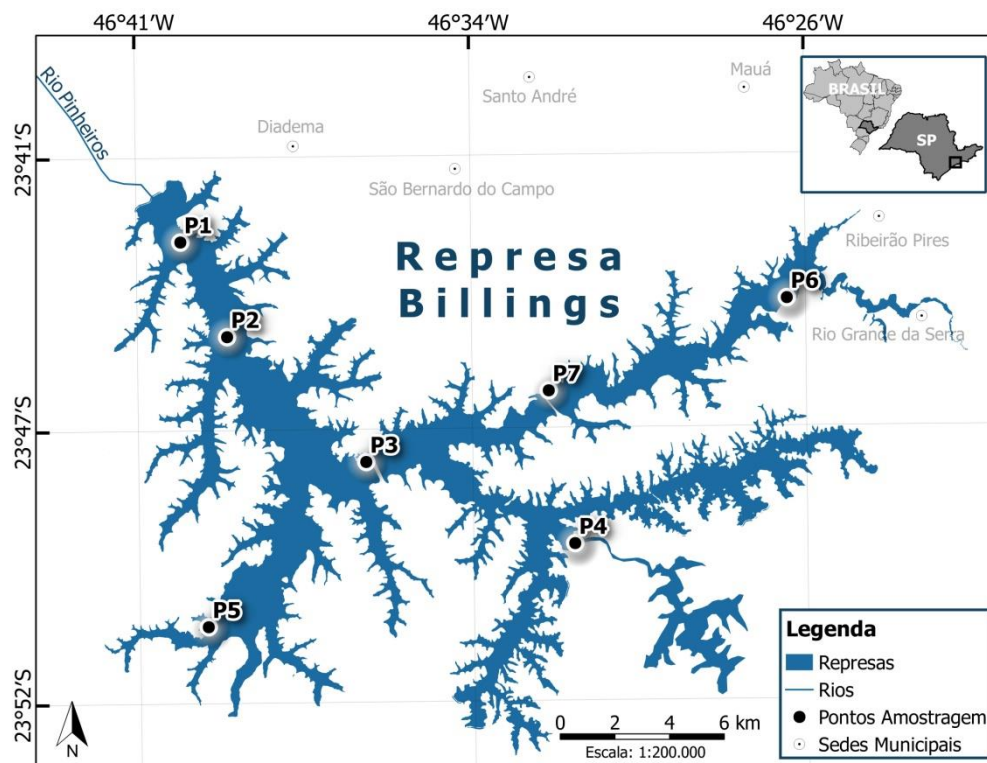


Figura 1 Localização dos Pontos de Amostragem na Represa *Billings*

Tratamento dos dados

Inicialmente, os dados foram tratados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk quanto à homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene e, por meio do Teste de Grubbs foi feita a identificação de valores anômalos (*outliers*). A análise exploratória das variáveis em estudo evidenciou que a maioria dos dados segue uma distribuição normal e são homocedásticos. Quanto à presença de valores anômalos, optou-se por manter esses resultados com o propósito de preservar a importância do dado.

Após a análise exploratória e descritiva das variáveis em estudo foi detectada a necessidade de padronização nos dados originais por meio da transformação logarítmica na base neperiana (\ln) para os ensaios avaliados na água (Alumínio Total, Ferro Total, Cloreto e Condutividade) e no sedimento (Al, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni e Zn), a fim de, melhorar a homogeneidade desses dados e aplicar os testes de hipóteses.

Ferramentas Estatísticas

A análise descritiva foi realizada utilizando medidas de tendência central, variabilidade e representação gráfica *BoxPlot*.

Para a comparação das médias das concentrações dos metais em amostras de sedimento entre dois pontos de amostragem do Reservatório *Billings* foi utilizado o *Teste-t de Student* em amostras pareadas e, para comparar as médias dos ensaios analisados nas amostras de água entre sete pontos do Reservatório *Billings* foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA).

Os testes de hipóteses foram empregados com o objetivo de avaliar a qualidade da água e do sedimento no ambiente de estudo evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre as médias das variáveis de interesse para os locais amostrados.

Para este estudo foi adotado o nível de significância de 5%, sendo a interpretação dos dados analíticos realizada por meio de métodos estatísticos utilizando-se o Software SPSS *Statistics* (v. 22; IBM SPSS, Chicago, IL).

A fim de se identificar os pares de médias estatisticamente diferentes na análise de variância foi realizado o teste *a posteriori* (*Post-Hoc*).

Água

A ANOVA (*Analysis of Variance*) é um teste utilizado para comparar médias de mais de duas populações em busca da determinação da variabilidade da amostra.

Para o estudo comparativo foram comparadas concentrações de Alumínio Total, Ferro Total, Cloreto Total e Condutividade dos anos de 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015 na água superficial, em sete pontos de amostragem ao logo do Reservatório *Billings* (BILL 02030, BILL 02100, BILL 02500, BILL 02900, BITQ 00100, RGDE 02200, RGDE 02900) com o objetivo de avaliar os diferentes impactos sofridos no ambiente.

Tabela 2 Dados Descritivos das Amostras de Água Superficial

Área amostrada	Ensaio											
	Al Total (mg.L ⁻¹)			Fe Total (mg.L ⁻¹)			Cloreto Total (mg.L ⁻¹)			Condutividade (µs.cm ⁻¹)		
	N	Média	Desvio Padrão	N	Média	Desvio Padrão	N	Média	Desvio Padrão	N	Média	Desvio Padrão
BILL02030	7	0,291	0,140	7	0,527	0,328	7	20,771	7,470	7	213,743	24,836
BILL02100	7	0,161	0,053	7	0,250	0,040	7	21,043	8,869	7	207,900	32,023
BILL02500	7	0,131	0,029	7	0,163	0,039	7	19,914	8,652	7	188,714	31,624
BILL02900	7	0,213	0,161	7	0,143	0,039	7	17,143	7,988	7	157,900	28,103
BITQ00100	7	0,280	0,091	7	0,274	0,086	7	19,000	7,980	7	182,743	25,718
RGDE02200	7	0,351	0,206	7	0,670	0,314	7	16,257	9,960	7	122,400	33,577
RGDE02900	7	0,150	0,057	7	0,319	0,219	7	16,229	11,765	7	116,486	44,693

Para o estudo comparativo em questão, as concentrações dos elementos e condutividade apresentaram homogeneidade das variâncias. A H₀ do Teste de Levene afirma que as amostras possuem homogeneidade de variâncias.

Por meio da análise de variância foi possível observar diferenças estatisticamente significativas para os ensaios de Alumínio Total, Ferro Total e Condutividade ($p\text{-value} \leq 0,05$ e rejeição de H_0), no entanto, diferentemente para o Cloreto não houve diferença, tendo em vista que as concentrações obtidas em 2009 apresentaram valores atípicos em relação aos outros anos considerados neste estudo.

Para o Alumínio Total foram observadas diferenças entre os pontos BILL 02500 e BITQ 00100, BILL 02500 e RGDE 02200, e RGDE 02900 e RGDE 02200.

Já o Ferro Total apresentou diferença entre os pontos BILL 02030 e BILL 02500, BILL 02030 e BILL 02900, BILL 02100 e RGDE 02200, BILL 02500 e BILL 02030, BILL 02500 e RGDE 02200, BILL 02900 e BILL 02030, BILL 02900 e BITQ 00100, BILL 02900 e RGDE 02200, BILL 02900 e RGDE 02900, BITQ 00100 e RGDE 02200, BITQ 00100 e RGDE 02900, RGDE 02200 e RGDE 02900.

Por fim, para a Condutividade as diferenças foram observadas entre os pontos BILL 02030 e RGDE 02200, BILL 02030 e RGDE 02900, BILL 02100 e RGDE 02200, BILL 02100 e RGDE 02900, BILL 02500 e RGDE 02200, BILL 02500 e RGDE 02900, BILL 02900 e RGDE 02900, BITQ 00100 e RGDE 02200, BITQ 00100 e RGDE 02900.

Sedimento

Foi aplicado o Teste T de Student para comparação entre as concentrações de elementos (Al, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni e Zn) na matriz sedimento em dois pontos de amostragem do Reservatório Billings, BILL 02100 e RGDE 02900, proveniente de amostras coletadas em 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, a fim de se analisar possíveis impactos locais.

Tabela 3 Dados Descritivos das Amostras de Sedimento (mg.Kg⁻¹)

BILL 02100				RGDE 02900			
Ensaio	N	Média	Desvio Padrão	Ensaio	N	Média	Desvio Padrão
Al	6	88368,330	21689,622	Al	6	78638,670	9778,110
As	5	2,192	1,276	As	5	3,100	0,166
Cd	6	3,178	0,816	Cd	6	0,653	0,330
Pb	5	4,502	0,303	Pb	5	3,913	0,034
Cu	6	192,150	48,111	Cu	6	4597,830	1218,203
Cr	6	191,000	18,687	Cr	6	69,183	14,409
Fe	6	80248,670	10915,654	Fe	6	75630,170	6780,238
Mn	6	777,500	159,673	Mn	6	478,670	42,260
Hg	6	0,640	0,279	Hg	6	6,105	2,874
Ni	6	78,583	18,076	Ni	6	31,850	2,089
Zn	6	457,670	113,138	Zn	6	113,500	8,068

Para o estudo comparativo entre as médias dos elementos Al, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni e Zn, grande parte apresentou diferenças estatisticamente significativas, e assim

rejeitando a H_0 . Excepcionalmente os compostos Al, As e Fe apresentaram valores de $p\text{-value} > 0,05$, assim não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Portanto, de forma geral, foi possível observar que os elementos de maior importância ambiental, os macroelementos, são aqueles que apresentaram diferenças estatisticamente significativas: Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni e Zn. Com exceção do As, que apesar de ter apresentado $p\text{-value} > 0,05$, ainda é um elemento de grande relevância ambiental em decorrência do significativo impacto à saúde humana.

Representação Gráfica BoxPlot

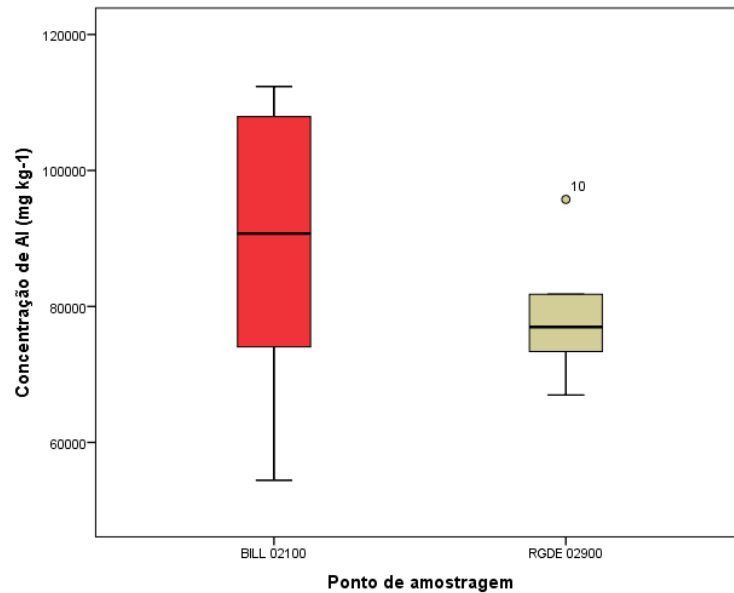


Figura 2 *BoxPlot* da média das concentrações de Al.

As concentrações de Alumínio apresentaram valores médios de $88368,33 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $78638,67 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto que as concentrações de mediana foram de $90722,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $76981,00 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. O valor 95741 mg kg^{-1} foi considerado um valor anômalo.

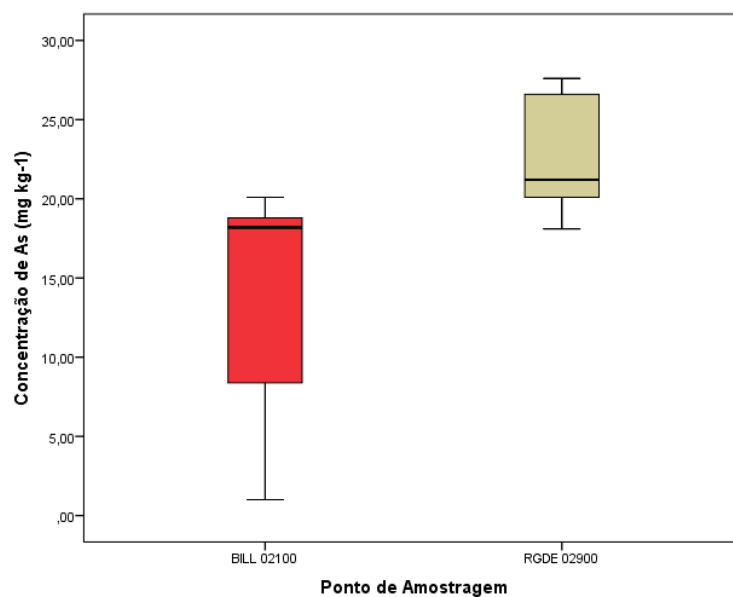


Figura 3 BoxPlot da média das concentrações de As.

As concentrações de Arsênio apresentaram valores médios de $13,2960 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $22,4667 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $18,2000 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $21,2000 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900.

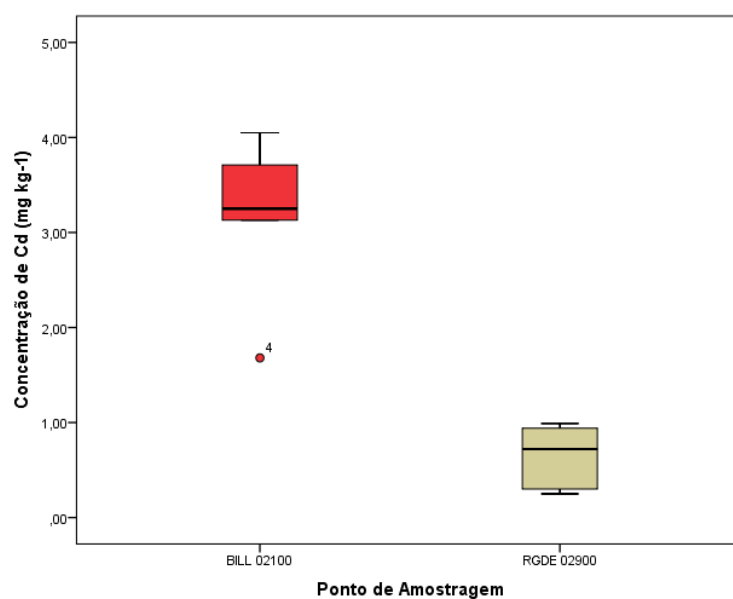


Figura 4 BoxPlot da média das concentrações de Cd.

As concentrações de Cádmiu apresentaram valores médios de $3,1783 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $0,6533 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $3,25 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $0,72 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. O valor $1,68 \text{ mg kg}^{-1}$ foi considerado um valor anômalo.

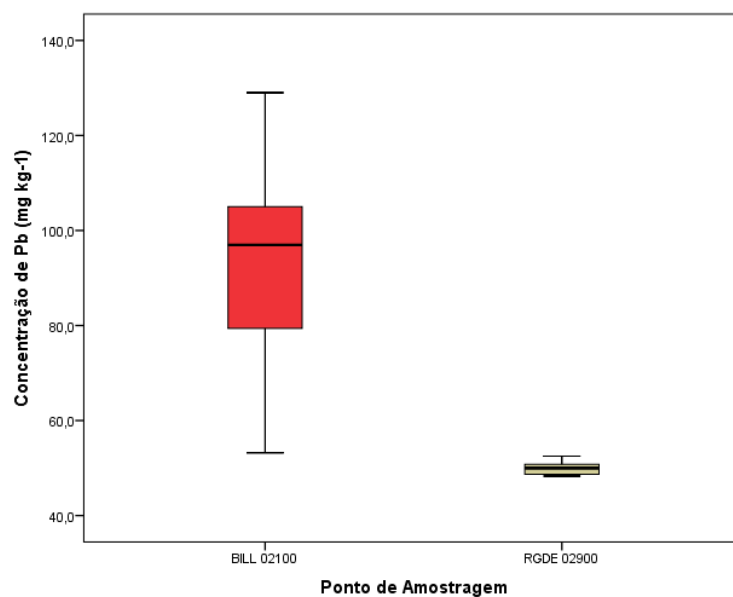


Figura 5 BoxPlot da média das concentrações de Pb.

As concentrações de Chumbo apresentaram valores médios de $93,417 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $50,060 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $96,950 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $50,000 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900.

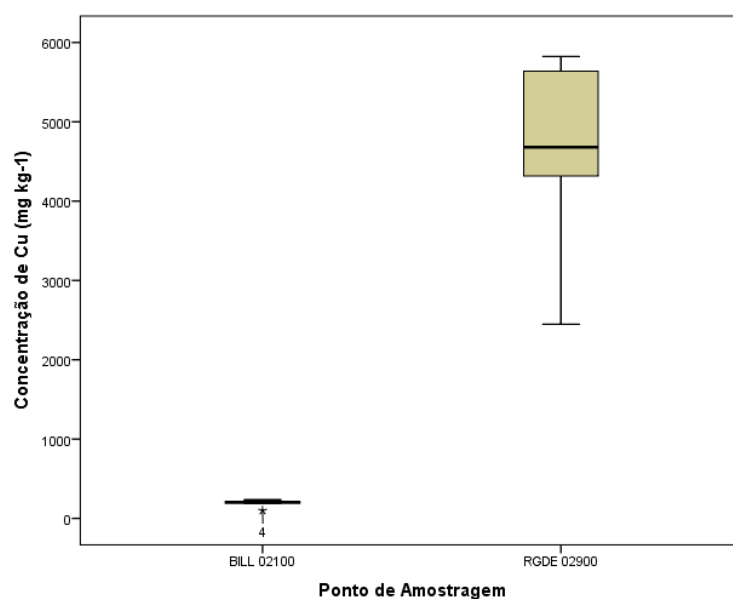


Figura 6 BoxPlot da média das concentrações de Cu.

As concentrações de Cobre apresentaram valores médios de $192,15 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $4597,83 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $206,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $4679,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. O valor $98,9 \text{ mg kg}^{-1}$ foi considerado um valor anômalo.

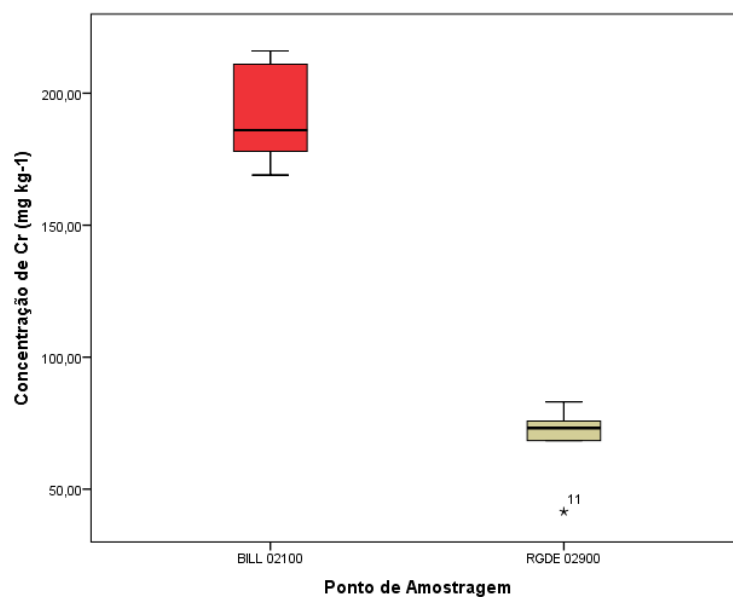


Figura 7 *BoxPlot* da média das concentrações de Cr.

As concentrações de Cromo apresentaram valores médios de $191,000 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $69,1833 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $186,000 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $73,1500 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. O valor $41,50 \text{ mg kg}^{-1}$ foi considerado um valor anômalo.

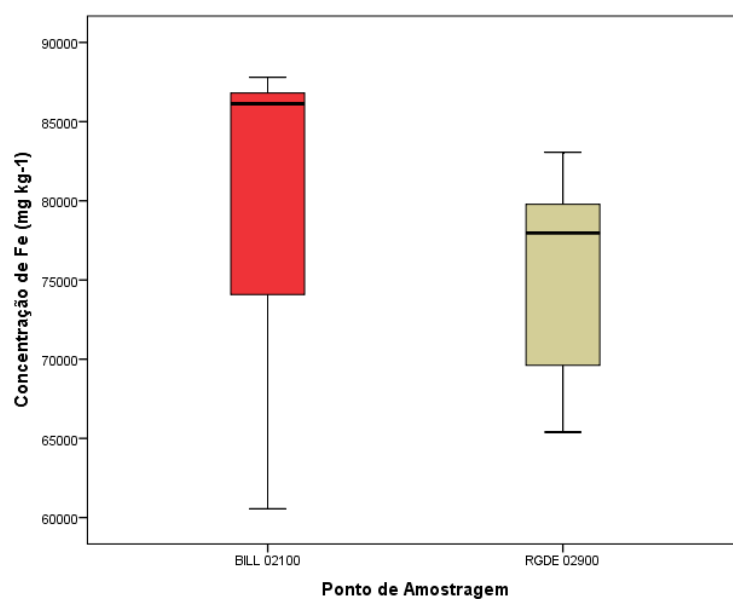


Figura 8 *BoxPlot* da média das concentrações de Fe.

As concentrações de Ferro apresentaram valores médios de $80248,67 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $75630,17 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $86129,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $77965,00 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900.

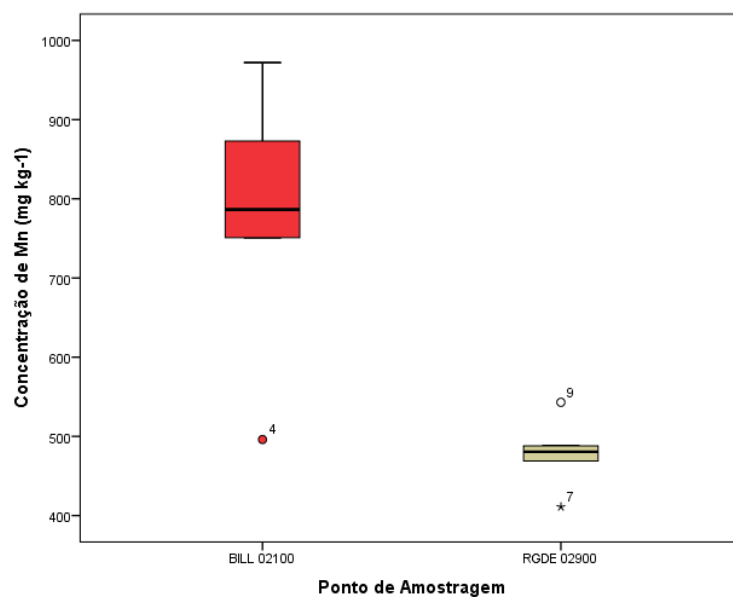


Figura 9 BoxPlot da média das concentrações de Mn.

As concentrações de Manganês apresentaram valores médios de $777,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $478,67 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $786,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $480,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Os valores 496, 411 e 543 mg kg^{-1} foram considerados valores anômalos.

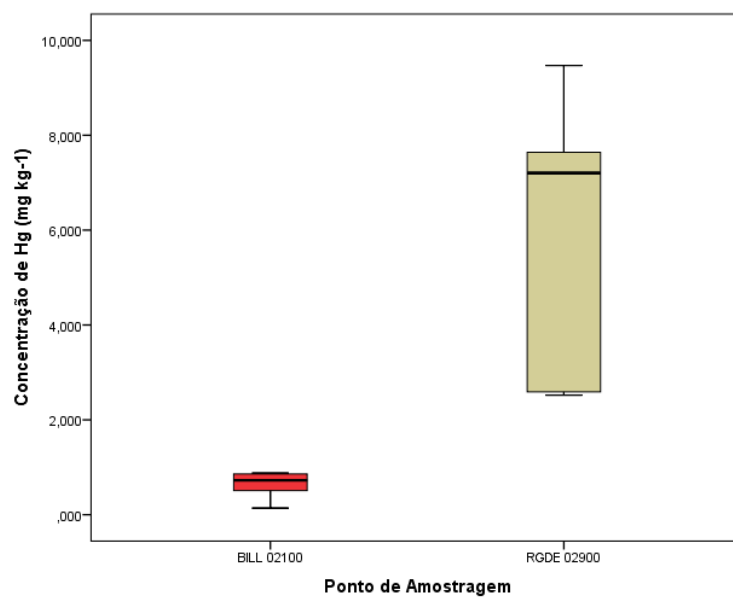


Figura 10 BoxPlot da média das concentrações de Hg.

As concentrações de Mercúrio apresentaram valores médios de $0,63967 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $6,10500 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $0,72500 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $7,20500 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900.

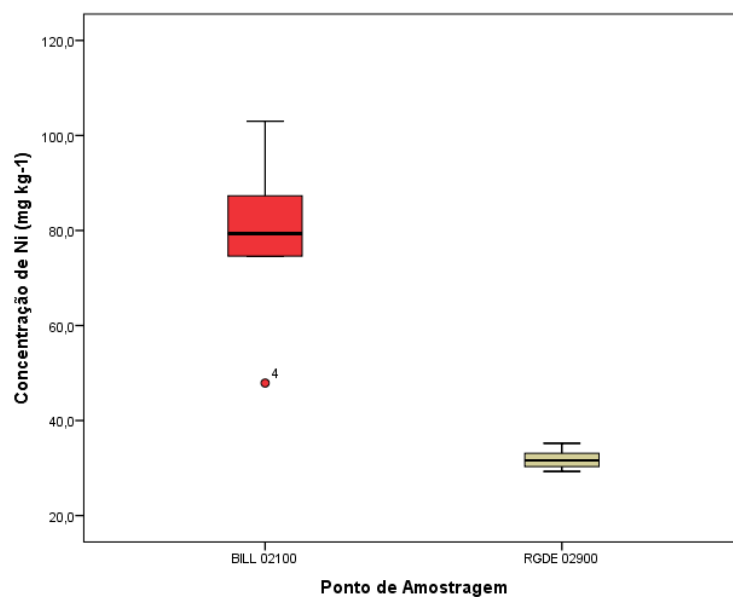


Figura 11 *BoxPlot* da média das concentrações de Ni.

As concentrações de Níquel apresentaram valores médios de $78,583 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $31,850 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $79,350 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $31,600 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. O valor $47,9 \text{ mg kg}^{-1}$ foi considerado um valor anômalo.

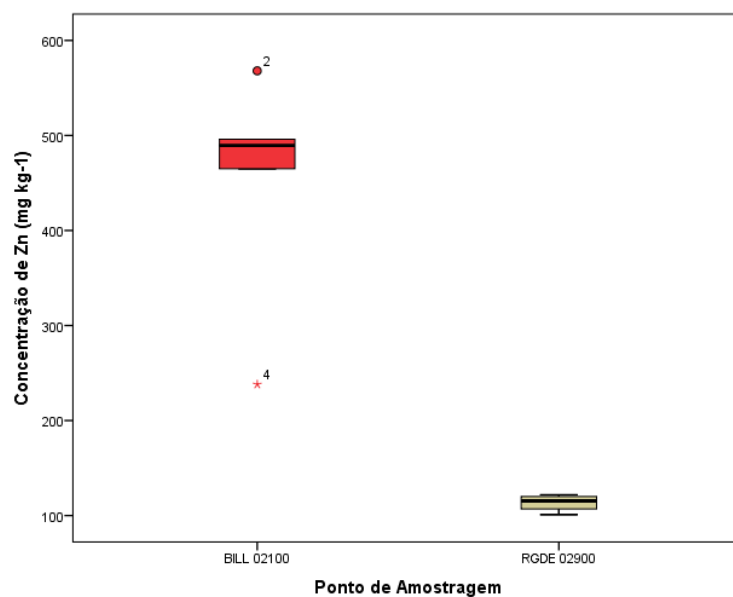


Figura 12 *BoxPlot* da média das concentrações de Zn.

As concentrações de Zinco apresentaram valores médios de $457,67 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e de $113,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Enquanto as concentrações de mediana foram de $489,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto BILL 02100 e $115,50 \text{ mg kg}^{-1}$ no Ponto RGDE 02900. Os valores 568 e 238 mg kg^{-1} foram considerados anômalos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas amostras de sedimento do Reservatório *Billings* foram observadas diferenças estatisticamente significativas para os Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni e Zn nos dois pontos de amostragem. Evidenciando que as diferenças estão entre os macroelementos de maior importância ambiental. Com exceção do As que não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os pontos de coleta.

A ausência de diferenças estatisticamente significantes para os elementos Al e Fe evidenciam a possível origem natural dos mesmos.

Para a água superficial, apesar dos dados obtidos de Cloreto no ano de 2009 serem atípicos, os resultados obtidos para Alumínio Total, Ferro Total e Condutividade apresentaram diferenças entre os sete pontos de amostragem ao longo do Reservatório *Billings*.

Destaca-se principalmente as diferenças estatisticamente significativas verificadas para as médias de Condutividade, nas quais se mostraram diferentes principalmente nas amostras coletadas no eixo principal do reservatório, que abrange o braço receptor das águas do Rio Pinheiros seguindo pelo braço margeado pela rodovia Rodoanel Mario Covas.

Assim, foi possível verificar que os locais que apresentaram médias de Condutividade acima de 100 $\mu\text{s/cm}$ são os locais mais impactados pelas atividades antrópicas, pois são locais altamente ocupados e influenciados pelo lançamento eventual do Rio Pinheiros.

Agradecimento

O presente trabalho não poderia ter sido concluído sem a valiosa colaboração de Suellen Nobrega Coutinho e Gilson Alves Quinágua. Agradeço pela orientação e incentivo.

REFERÊNCIAS

- BAIRD, C., CAIN, M. Química Ambiental. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- CARDOSO-SILVA, S., NISHIMURA, P.Y., PADIAL, P.R., MARIANI, C.F., MOSCHINI-CARLOS, V., POMPEO, M.L.M. Compartimentalização e Qualidade da Água: o Caso da Represa *Billings*. *Bioikos*, Campinas, 28 (1): 31-43. 2014. Disponível em <<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/46539>>. Acesso em 19/06/2016.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo - Apêndice A. São Paulo, 2009. 44p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo Parte 1 – Águas Doces. São Paulo, 2015. 206p.
- FÁVERO, L.P., BELFIORE, P., SILVA, F.L., CHAN, B.L. Análise de Dados: Modelagem Multivariada Para Tomada de Decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- MORÔCO, J. Análise Estatística Com o SPSS Statistics. *Report Number*: Portugal, 2014.
- OLIVEIRA, C.N., Campos, V.P., Medeiros, Y.D.P. Avaliação e Identificação de Parâmetros Importantes Para a Qualidade de Corpos D'água no Semiárido Baiano. Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Salitre. *Química Nova*, vol.33, nº 5. São Paulo, 2010.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. *Billings*. São Paulo, 2010. 148 p.