

AValiação DA QUALIDADE DA ÁGUA NO Reservatório DE Itupararanga, Bacia DO ALTO Sorocaba (SP)

Felipe José de Moraes Pedrazzi¹; Fabiano Tomazini da Conceição¹; Diego de Souza Sardinha²; Viviane Moschini-Carlos³; Marcelo Pompeo⁴

- (1) Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP/Rio Claro. Avenida 24-A, 1515, CEP: 13506-900. Bela Vista, Rio Claro - São Paulo. Endereço eletrônico: ftomazini@rc.unesp.br.
(2) Instituto de Ciência e Tecnologia/UNIFAL/Poços de Caldas. Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999. CEP: 37715-400. Poços de Caldas - Minas Gerais. Endereço eletrônico: diego.sardinha@unifal-mg.edu.br.
(3) Departamento de Engenharia Ambiental/UNESP/Sorocaba. Avenida Três de Março, nº 511, CEP 18087-180. Alto da Boa Vista, Sorocaba - São Paulo, Brasil. Endereço eletrônico: viviane@sorocaba.unesp.br.
(4) Instituto de Biologia/USP/São Paulo. Rua do Matão, Travessa 14, 321, Cidade Universitária. CEP: 05580-090, São Paulo, São Paulo. Endereço eletrônico: mpompeo@ib.usp.br.

Introdução

Caracterização da área de estudo

Materiais e métodos

Resultados e discussões

Variáveis físicas e químicas

Cátions e ânions dissolvidos

Classificação das águas do Reservatório de Itupararanga e análise estatística de componentes principais

Considerações finais

Agradecimentos

Referências Bibliográficas

RESUMO - Considerando a grande importância do Reservatório de Itupararanga para o abastecimento de água para a população da região de Sorocaba (SP), este trabalho teve como objetivo principal avaliar sua qualidade da água de acordo com os seguintes parâmetros: profundidade, condutividade elétrica, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, Ca, K, Na, Mg, Al, Fe, Zn, Pb, Mn, Ni, alcalinidade, cloreto, nitrato, sulfato, fosfato. Além disso, as variáveis físicas e químicas foram analisadas em dois diferentes pontos de amostragem e períodos durante no ano 2007. Os resultados indicaram que o ponto de amostragem mais a montante (P1) é o mais afetado pelo uso e ocupação do solo da bacia do Alto Sorocaba e ao longo do Reservatório de Itupararanga, as concentrações da maioria dos cátions e ânions analisados diminuem a jusante, melhorando a qualidade das águas deste reservatório. Portanto, entende-se que são necessárias ações voltadas ao planejamento, diminuição da degradação ambiental e gerenciamento integrado do Reservatório de Itupararanga.

Palavras-chave: Qualidade de água em reservatórios, Bacia hidrográfica, Gerenciamento ambiental.

ABSTRACT - Considering the great importance of the Itupararanga Reservoir to supply water to Sorocaba inhabitants (SP), this study aimed to evaluate its water quality. The following parameters were analyzed: depth, electrical conductivity, temperature, pH, dissolved oxygen, Ca, K, Na, Mg, Al, Fe, Zn, Pb, Mn, Ni, alkalinity, chlorine, nitrate, sulfate and phosphate. Besides, the physical and chemical parameters were analyzed in two different sampling sites and periods during the year 2007. The results indicate the sampling point upstream (P1) is the most affected by the land use in the Alto Sorocaba basin. Along the Itupararanga Reservoir, the concentrations of most cations and anions decreases, improving the quality of the waters downstream of this reservoir. Therefore, it is understood that action is needed aimed at planning, reduction of environmental degradation and integrated management of the Itupararanga Reservoir.

Keywords: Quality of water in reservoir, Watershed, Environmental management.

INTRODUÇÃO

Historicamente, a civilização humana desenvolveu-se no entorno dos cursos d'água doce, pois serviam de fonte de suprimento para necessidades básicas da vida (água e alimento), além de serem utilizadas como meio de transporte, fonte de vapor e produção de energia, agente em processos tecnológicos e produtivos e, nos dias atuais, como meio para afastar resíduos. Dados recentes mostram que 1,7 bilhões de pessoas vivem sem água com qualidade adequada para consumo humano, sendo que este número pode aumentar para 3,3 bilhões de pessoas em 2020, fato que deve

causar conflitos se o gerenciamento deste importante recurso natural não for realizado.

Uma maneira encontrada para garantir o abastecimento público de água foi o barramento de cursos d'água para criação dos reservatórios artificiais, que representam as fontes de água mais abundantes, seja pelo abastecimento público, beleza cênica, recursos econômicos e científicos que dela são provenientes. Originalmente, utilizados apenas para o suprimento de água, os pequenos reservatórios de água deram lugar a complexos e sofisticados

empreendimentos, com objetivos e finalidades diversas, tais como geração de energia, suprimento para a irrigação, lazer, piscicultura, abastecimento de água, navegação e outras, de forma a atender as necessidades humanas.

No Brasil, o primeiro barramento artificial ocorreu no Rio Tietê, dando origem à barragem Edgard de Souza que tinha a finalidade de geração de energia elétrica. Nos dias atuais, o Estado de São Paulo possui 55 reservatórios de médio e grande porte, incorrendo numa área inundada estimada em 5.500 km². Ao contrário dos lagos, os reservatórios são formados pela ação direta do homem com o barramento de um vale natural ou a formação artificial de lagos. Outra característica peculiar dos reservatórios é a presença de vazões defluentes sujeitas ao controle, sendo este relacionado à exploração humana. Porém, as variações das vazões defluentes geram flutuações no nível da água e podem acarretar alterações nas condições físicas, químicas e biológicas da água (Esteves, 1988). Como consequência, uma série de impactos para as comunidades remanescentes a montante do reservatório será originada, ou seja: redução da abundância de algumas espécies e redução da riqueza presente no ambiente.

O Reservatório de Itupararanga foi construído em 1912, pela empresa *São Paulo Eletric Company*, conhecida como “*Light*”, para a geração de energia elétrica e, em 1976, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) ficou com a operação da UHE para geração de energia para a indústria de alumínio. Este reservatório localiza-se na bacia do Alto Sorocaba, a qual possui sua economia fundamentada essencialmente na produção agrícola, sendo que nesta bacia nascem os afluentes que dão origem ao Rio Sorocaba (rios de Una, Sorocabuçu e Sorocamirim).

Posteriormente, esses rios deságuam no Reservatório de Itupararanga, sendo este manancial de fundamental importância na regularização do regime hidráulico do Rio Sorocaba e no abastecimento público da região, atendendo cerca de 1.000.000 pessoas nos municípios de Ibiúna, Sorocaba, Mairinque e Votorantim.

A classificação das águas superficiais no território brasileiro é estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357, a qual define as classes de águas superficiais como: águas doces (classes especial, 1, 2, 3 e 4), águas salobras (classes especial, 1, 2 e 3) e águas salinas (classes especial, 1, 2 e 3) (Brasil, 2005). Os corpos de água da bacia hidrográfica do Alto Sorocaba são enquadrados como Classe 2, de acordo com o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 (São Paulo, 1977), ou seja, águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) a aquíicultura e a atividade de pesca.

Contudo, este reservatório ainda tem carência quanto às informações referentes à sua qualidade, tornando-se indispensável à realização de estudos limnológicos mais detalhados sobre o Reservatório de Itupararanga. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água no Reservatório de Itupararanga, bacia hidrográfica do Alto Sorocaba (SP). Os resultados obtidos permitem gerar um diagnóstico ambiental, fornecendo, subsídios para o planejamento e gerenciamento do controle de poluição nesta importante reservatório localizado no interior paulista.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Alto Sorocaba é uma das seis sub-bacias que compõem a bacia do Sorocaba Médio Tietê (SMT), possui área de 929 km² e situa-se na porção sudeste do Estado de São Paulo, mais precisamente entre os paralelos 23°45'37'' e 23°35'02'' de latitude S e 47°21'00'' e 46°57'29'' de longitude W. Esta

bacia hidrográfica é formada pelos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos municípios de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque que formam o Rio Sorocaba, afluente do Reservatório de Itupararanga (Fig. 1).

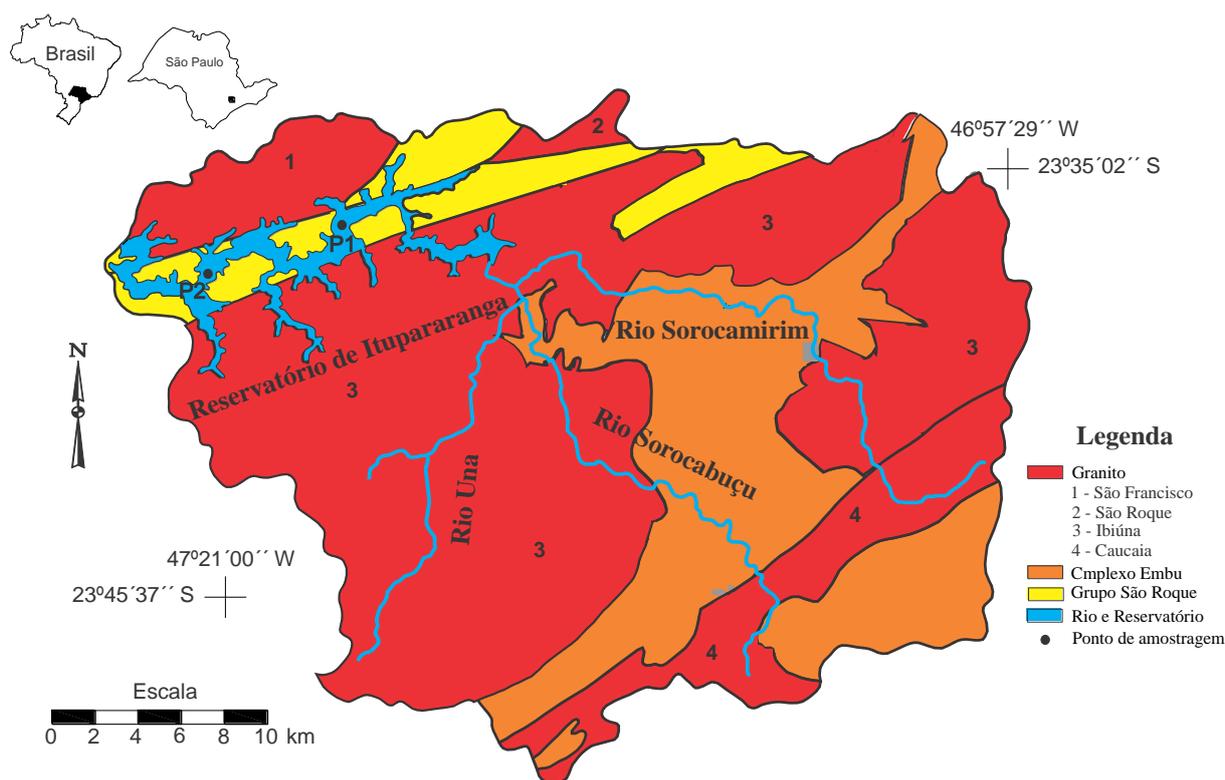


Figura 1. Mapa geológico da bacia hidrográfica do Alto Sorocaba e localização dos pontos de amostragem no Reservatório de Itupararanga (modificado de IPT, 2005).

A população total da bacia do Alto Sorocaba é de 110.577 habitantes, sendo Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim os municípios que a compõe. A área urbanizada na bacia do Alto Sorocaba ocupa 71 km², sendo 55 km² caracterizada por pequenos aglomerados populacionais como vilas e vilarejos. Com uma intensa atividade agrícola, esta bacia possui 393 km² ocupados por culturas olerícolas, seguidos da batata e do tomate. Quanto à cobertura vegetal, a bacia é composta por floresta ombrófila densa e cerrado, estando inserida no domínio da Mata Atlântica.

A bacia do Alto Sorocaba é composta por diversas estruturas geológicas (IPT, 2005), com período de formação desde o Proterozóico Médio-Superior até o Quaternário, destacando-se, de acordo com Godoy (2003), os domínios São Roque e Embu (Fig. 1). O Domínio São Roque apresenta rochas de baixo grau metamórfico do Grupo São Roque (filitos e meta-básicas) e complexos granitóides associados, tais como os granitos São Francisco (sienogranitos e monzogranitos) e São Roque

(dioritos e granodioritos). No Domínio Embu predomina paragneisses e migmatitos do Complexo Embu, ocorrendo também a presença dos granitos Ibiúna (monzogranitos e sienogranitos) e Caucaia (monzogranitos e sienogranitos). Em relação aos solos, a bacia do Alto Sorocaba apresenta três tipos de classes de solos, ou seja, Argissolos, Latossolos e Cambissolos (IPT, 2005).

A bacia do Alto Sorocaba apresenta clima Cwb, ou seja, clima úmido quente com inverno seco. A temperatura média anual é de 20°C e no semestre seco a evaporação é maior que a precipitação. A precipitação média anual entre os anos de 1960 e 2004 foi de 1.492,7 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (média de 248,1 mm) e agosto o mês mais seco (média de 42,8 mm) (CBA, 2006). Em relação às vazões afluentes no Reservatório de Itupararanga (Rio Sorocaba), os meses com maior e menor vazão média afluente são fevereiro com 21,7 m³/s e agosto com 6,9 m³/s, respectivamente (CBA, 2006).

A Figura 2 apresenta a precipitação média mensal e a vazão média mensal afluente ao Reservatório de Itupararanga, podendo notar

que o regime do Rio Sorocaba é diretamente proporcional à precipitação. Além disso, a vazão afluente no Reservatório de Itupararanga é de aproximadamente 12 m³/s em 50% do tempo (Fig. 3), valor muito próximo a vazão média afluente deste reservatório, ou seja, 12,7

m³/s. De acordo com a Figura 4, a cota média do Reservatório de Itupararanga é de 823 m, com uma variação ao longo de aproximadamente 3 m, sendo a maior e menor cota obtida nos meses de abril e novembro, respectivamente.

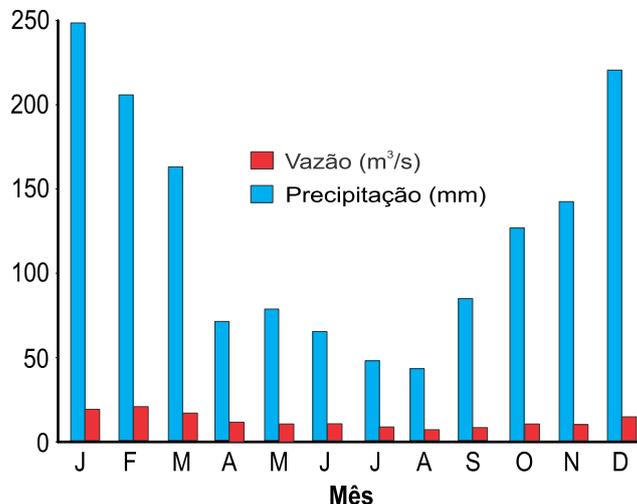


Figura 2. Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba e vazão média mensal afluente para Reservatório de Itupararanga entre 1960 e 2004 (CBA, 2006).

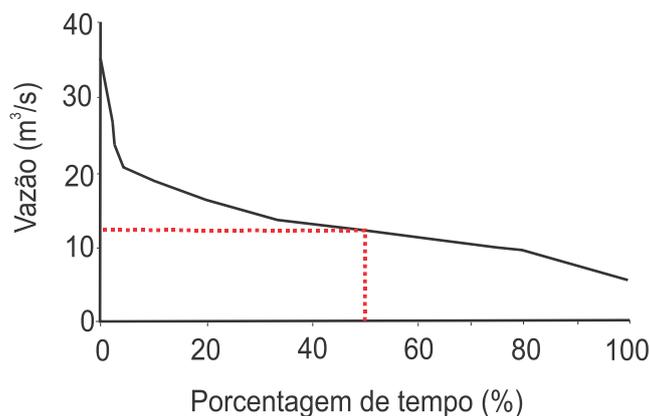


Figura 3. Curva de permanência da vazão afluente do Reservatório de Itupararanga entre 1960 e 2004.

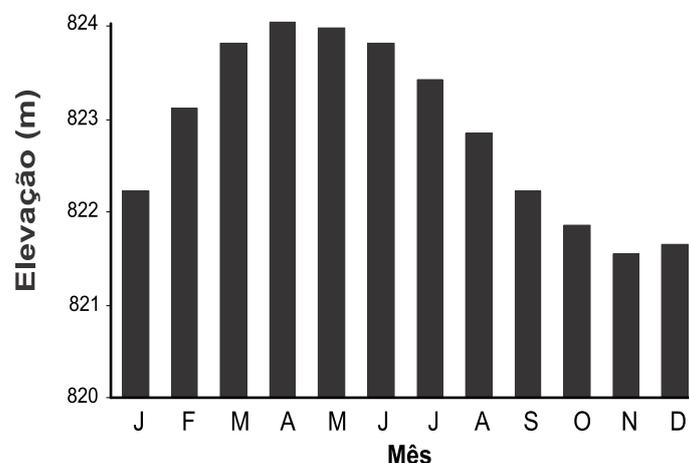


Figura 4. Cota média mensal do Reservatório de Itupararanga entre 1960 e 2004 (CBA, 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a definição dos pontos de amostragem no Reservatório de Itupararanga, houve uma saída de campo exploratória para conhecê-lo e verificar o nível da influência antropogênica. Após esta etapa, escolheram-se 2 pontos de amostragem (P1 e P2) distribuídos entre o corpo principal do reservatório e os braços afluentes de maior extensão para se realizar a avaliação hidroquímica (Fig. 1). Ao todo, realizaram-se duas campanhas de coleta no Reservatório de Itupararanga, uma no período chuvoso (24/01/2007) e outra no período de seca (01/08/2007), buscando as possíveis diferenças hidroquímicas nessas estações.

Para a coleta das amostras em gradiente vertical utilizou-se uma garrafa de Van Dorn e recipientes de polietileno de alta densidade, previamente preparados para o recebimento das amostras. Para a manutenção das características amostradas de qualidade da água, os métodos de coleta e de preservação das amostras seguiram a metodologia proposta por Agudo (1998). A transparência da água e a profundidade nos pontos de coleta foram quantificadas com o auxílio do disco de Secchi (Wetzel & Likens, 1991). No próprio local de coleta, todas as amostras foram caracterizadas físico-quimicamente através de equipamento com eletrodos de leitura direta, marca YSI, modelo YSI 556, sendo analisadas as seguintes variáveis: temperatura da água (Temp - °C), pH, condutividade elétrica (Cond - $\mu\text{S}/\text{cm}$) e oxigênio dissolvido (OD - mg/L). O eletrodo de pH foi calibrado com soluções de alta pureza de pH 4,00 ($4,005 \pm 0,010$ a $25^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$) e 7,00 ($7,000 \pm 0,010$ a $25^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$). O eletrodo de condutividade elétrica foi calibrado usando uma solução de KCl (1.0 mmol/L) de condutividade conhecida ($147 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C).

Todas as amostras devidamente preservadas e armazenadas foram levadas ao Laboratório de Geoquímica Ambiental da UNESP de Sorocaba, sendo as seguintes variáveis quantificadas: Ca, K, Na, Mg, Al, Fe, Zn, Pb, Mn, Ni, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e PO_4^{3-} . Sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, de 0 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fósforo dissolvido (método do ácido ascórbico, de 0 a $3 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (método de redução de cádmio, de 0 a $20 \pm 0,4$ mg/L) foram quantificados utilizando-se um espectrofotômetro DR-2800 da Hach Company (Hach, 1992). As concentrações de alcalinidade e cloreto foram obtidas por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N (de 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L) e potenciometria com a utilização de eletrodos acoplados a um medidor de íons seletivo (de $0,1$ a $100 \pm 0,02$ mg/L). Cálcio, potássio, sódio, magnésio, alumínio, ferro, zinco, chumbo, manganês e níquel foram analisados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) no Laboratório de Geoquímica da UNESP de Rio Claro.

Para se obter as correlações lineares de Pearson e a análise de fatores (através do método de componentes principais) entre os parâmetros quantificados neste trabalho, utilizou-se o software *Statistica for Windows 4.3TM*. A análise de correlação linear de Pearson é um método estatístico bastante utilizado para identificar o comportamento de uma variável em relação à outra, permitindo verificar se as variáveis são dependentes ou independentes. A análise de fatores é um método estatístico que permite trabalhar com grupos grandes de variáveis com unidades distintas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis físicas e químicas

Os resultados das variáveis físicas e químicas nos pontos de amostragem P1 e P2 na

estação chuvosa e seca são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros físico-químicos no Reservatório de Itupararanga no período de chuva - 25/01/2007.

Perfil	Prof. (m)	Cond. (μS/cm)	Temp. ($^{\circ}$C)	pH	OD (mg/L)
P1-1	0,00	70,00	29,00	7,80	7,00
P1-2	1,00	70,00	26,90	7,90	6,70
P1-3	2,00	70,00	26,60	7,90	6,50
P1-4	3,00	70,00	26,10	7,80	6,30
P1-5	4,00	70,00	25,70	7,60	5,60
P1-6	6,00	70,00	25,50	7,30	4,30
P2-1	0,00	70,00	28,60	7,70	7,30
P2-2	2,00	70,00	27,30	7,80	6,90
P2-3	4,00	70,00	26,40	8,00	5,90
P2-4	6,00	70,00	26,20	7,90	5,60
P2-5	8,00	70,00	25,70	7,70	5,10
P2-6	11,00	70,00	25,00	7,40	2,60

Tabela 2. Resultados dos parâmetros físico-químicos no Reservatório de Itupararanga no período de seca - 02/08/2007.

Perfil	Prof. (m)	Cond. (μS/cm)	Temp. ($^{\circ}$C)	pH	OD (mg/L)
P1-1	0,00	70,00	16,30	7,40	8,10
P1-2	2,00	70,00	16,00	7,40	7,90
P1-3	4,00	70,00	15,30	7,50	6,90
P1-4	6,00	70,00	15,20	7,10	6,60
P1-5	8,00	70,00	15,00	7,00	6,40
P1-6	10,00	70,00	14,50	6,50	4,50
P2-1	0,00	65,00	17,10	7,40	7,40
P2-2	2,00	65,00	16,50	7,50	7,20
P2-3	4,00	65,00	16,30	7,70	6,80
P2-4	6,00	65,00	15,90	7,50	6,40
P2-5	8,00	65,00	15,80	6,70	6,00
P2-6	12,00	65,00	15,00	6,50	4,10

Para se verificar a profundidade da zona eufótica nos dois pontos de amostragem durante os períodos chuvoso e seco utilizou-se o Disco de Secchi. Os resultados para o período chuvoso indicaram a zona afótica abaixo dos 5 m no ponto P1 e 9 m no ponto P2. Na segunda amostragem, a profundidade da zona afótica ficou abaixo dos 10 e 12 m, respectivamente, nos pontos P1 e P2. Com estes resultados foi possível identificar que a zona eufótica dobra seu valor no ponto P1 e aumenta 75% no ponto P2 durante o período de seca. Esta diferença, ou seja, esta redução da zona eufótica no período chuvoso, pode ser atribuída à maior entrada de sólidos em suspensão no Reservatório de Itupararanga

neste período, devido à erosão laminar do solo, fato que reduz a transparência da água e, conseqüentemente, a zona eufótica.

A condutividade elétrica pode ser entendida como a capacidade que a água tem em conduzir corrente elétrica, variando sua concentração dependendo da temperatura e da quantidade de íons dissolvidos presentes. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem. Os valores de condutividade apresentaram-se bastante constantes ao longo dos perfis verticais do

Reservatório de Itupararanga em ambas as estações do ano, variando entre 65 e 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este mesmo comportamento foi observado por Mariani (2006) para o Reservatório de Riacho Grande, o qual faz parte do sistema Billings localizado na região metropolitana de São Paulo. Estudos com o de Calijuri et al. (1999), Bicudo et al. (2002) e Mariani (2006), realizados em reservatórios eutrofizados especificamente por esgotos domésticos, mostraram valores de condutividade elétrica maior que 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A temperatura é um fator determinante no direcionamento das reações que afetam os processos químicos, físicos e biológicos, exercendo, assim, uma enorme influência na atividade biológica e no crescimento de organismos aquáticos. Conforme as variações da temperatura, as algas e microorganismos fotossintetizantes podem se distanciar da superfície da água por migração ou até mesmo por morte. Com relação aos valores de temperatura da água, as estações do ano demonstraram-se bastantes características, ou seja, águas mais quentes no período de chuva (29,0°C a 25,5°C) e frias no período seco (17,1°C a 14,5°C), com os maiores valores quantificados na superfície da água, como também caracterizado para o Reservatório de Rio das Pedras (Padial et al., 2009). Contudo, para o Reservatório Riacho Grande, os menores valores de temperatura foram quantificados na superfície da água, devido a baixa temperatura do ar e da intensidade dos ventos locais (Mariani, 2006). Os perfis térmicos dos pontos P1 e P2 demonstraram estratificação térmica fraca à média em ambos os períodos amostrados ($\Delta_T = 1$ a 5°C), conforme Tundisi (1988), sendo a maior estratificação obtida no verão.

O pH é governado pelo equilíbrio do dióxido de carbono-bicarbonato e carbonatos, podendo alterar o processo de permeabilidade da membrana celular. Os valores obtidos em todos os pontos de amostragem indicam que as águas da bacia são praticamente neutras, encontrando-se dentro da faixa de proteção da vida aquática, preconizadas pela Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005). Os valores de pH mais elevados foram caracterizados na época de chuva, em relação à seca. Além disso,

obtiveram-se valores de pH mais alcalinos em profundidades sub-superficiais, fato que pode ser explicado devido à atividade fotossintética, que retira CO_2 e HCO_3^- , além de alterar com o sistema tampão carbonato. Os menores valores de pH foram quantificados nas regiões mais profundas do Reservatório de Itupararanga, devido à oxidação da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbicas, como também observado para o Reservatório Riacho Grande (Mariani, 2006).

A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio para as águas fluviais. Por outro lado, as perdas de oxigênio se devem ao consumo pela decomposição da matéria orgânica, trocas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (Esteves, 1988). Há um ligeiro aumento nos valores médios de oxigênio dissolvido da época seca para a chuvosa em ambos os pontos de amostragem, sendo os valores mais elevados quantificados na superfície da água. Os resultados obtidos, em ambos os pontos de amostragem, indicam que a concentração de oxigênio dissolvido em seu gradiente vertical ficou acima de 5,0 mg/L, valor mínimo indicado para as águas de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005). As exceções foram as amostras coletadas nas regiões mais profundas, onde a concentração de oxigênio dissolvido sempre ficou abaixo de 5,0 mg/L. De acordo com Tundisi (1988), o decréscimo de temperatura em profundidade causa também o decréscimo de oxigênio dissolvido nas regiões mais profundas dos reservatórios, como já indicado para o Reservatório de Rio da Pedras (Padial et al., 2009). Testes estatísticos de correlação entre temperatura e oxigênio dissolvido ($r = 0,75 - \text{P1}$ e $0,90 - \text{P2}$ no período chuvoso e $r = 0,95 - \text{P1}$ e $0,94 - \text{P2}$ no período seco) também apontam esta tendência para o Reservatório de Itupararanga, ou seja, a temperatura controla a concentração de oxigênio dissolvido em seu gradiente vertical.

Cátions e ânions dissolvidos

Os resultados cátions e ânions dissolvidos nos pontos de amostragem P1 e P2 na estação chuvosa e seca são apresentados nas Tabelas 3 e 4 e Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 3. Resultados obtidos para os cátions (em mg/L) no Reservatório de Itupararanga no período de chuva - 25/01/2007.

Perfil	Ca	K	Na	Mg	Al	Fe	Zn	Pb	Mn	Ni
P1-1	8,57	1,94	8,42	4,23	0,77	0,58	0,06	0,05	<0,01	<0,01
P1-2	10,28	2,24	10,60	4,77	0,72	0,81	0,12	0,08	<0,01	<0,01
P1-3	9,32	2,11	11,05	4,45	0,73	0,79	0,08	0,08	<0,01	<0,01
P1-4	8,52	2,04	10,93	4,10	0,65	0,62	0,04	0,04	<0,01	<0,01
P1-5	7,14	1,79	7,91	3,64	0,60	0,57	0,02	0,03	<0,01	<0,01
P1-6	6,65	1,69	7,10	3,53	0,55	0,42	0,01	0,02	<0,01	<0,01
P2-1	7,79	1,91	7,77	4,05	0,71	0,14	0,03	0,04	<0,01	<0,01
P2-2	7,52	1,82	10,77	4,19	0,73	0,10	0,04	0,02	<0,01	<0,01
P2-3	11,56	2,20	11,03	4,86	0,56	0,19	0,06	0,02	<0,01	<0,01
P2-4	11,09	2,17	10,36	4,67	0,61	0,13	0,04	0,02	<0,01	<0,01
P2-5	8,07	1,77	9,27	3,53	0,58	0,10	0,02	0,01	<0,01	<0,01
P2-6	5,23	1,69	9,26	3,43	0,43	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01

Tabela 4. Resultados obtidos para os cátions (em mg/L) no Reservatório de Itupararanga no período de seca - 02/08/2007.

Perfil	Ca	K	Na	Mg	Al	Fe	Zn	Pb	Mn	Ni
P1-1	6,15	1,57	9,41	4,07	0,02	0,11	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
P1-2	6,77	1,82	11,63	4,25	0,03	0,09	0,08	<0,01	<0,01	<0,01
P1-3	7,67	2,95	14,24	4,77	0,10	0,25	0,09	<0,01	<0,01	<0,01
P1-4	5,07	1,62	9,76	3,95	0,06	0,26	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
P1-5	4,90	1,37	9,45	3,92	0,02	0,16	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
P1-6	4,35	1,35	9,41	3,63	0,01	0,05	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
P2-1	5,42	1,45	9,34	3,62	0,02	0,10	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
P2-2	5,32	1,25	8,43	3,25	0,02	0,06	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
P2-3	6,77	1,75	9,65	4,15	0,10	0,19	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
P2-4	4,90	1,35	8,55	3,75	0,04	0,12	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
P2-5	4,52	1,25	7,87	2,97	0,01	0,05	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
P2-6	4,13	1,20	7,65	2,65	0,01	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01

Tabela 5. Resultados obtidos para os ânions (em mg/L) no Reservatório de Itupararanga no período de chuva - 25/01/2007.

Perfil	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
P1-1	20,00	8,31	1,32	6,00	0,10
P1-2	15,00	7,34	1,32	5,00	0,08
P1-3	15,00	7,63	1,32	5,00	0,08
P1-4	20,00	7,12	0,88	5,00	0,09
P1-5	20,00	6,87	0,88	4,00	0,08
P1-6	20,00	7,45	0,88	6,00	0,08
P2-1	25,00	2,56	0,44	7,00	0,07
P2-2	15,00	2,42	0,44	6,00	0,06
P2-3	15,00	2,35	0,44	5,00	0,05
P2-4	15,00	2,27	0,44	7,00	0,07
P2-5	20,00	2,10	0,44	7,00	0,06
P2-6	20,00	2,38	0,44	7,00	0,07

Tabela 6. Resultados obtidos para os ânions (em mg/L) no Reservatório de Itupararanga no período de seca - 02/08/2007.

Perfil	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
P1-1	20,00	12,51	0,88	4,00	0,08
P1-2	15,00	11,68	0,88	3,00	0,07
P1-3	15,00	12,01	0,44	4,00	0,07
P1-4	20,00	12,34	0,44	3,00	0,08
P1-5	20,00	11,02	0,44	2,00	0,08
P1-6	20,00	11,65	0,44	2,00	0,09
P2-1	25,00	4,20	0,44	2,00	0,05
P2-2	15,00	4,13	0,44	1,00	0,05
P2-3	20,00	4,01	0,44	1,00	0,06
P2-4	25,00	4,24	0,44	1,00	0,06
P2-5	25,00	3,98	0,44	1,00	0,06
P2-6	25,00	4,07	0,44	1,00	0,07

O cálcio é essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial moluscos. Encontra-se combinado em duas formas principais: carbonato e bicarbonato de cálcio. Este cátion tem grande importância, pois sua dinâmica influencia a ciclagem de outros elementos importantes com o fósforo, além disso, interfere em um dos fatores físico-químicos mais importantes do meio aquático que é o pH (Esteves, 1998). O magnésio é um elemento essencial para a vida animal e vegetal. A maior importância do magnésio se deve à sua participação na formação da molécula de clorofila. Além disto, toma parte de inúmeros processos metabólicos na célula como, por exemplo, no metabolismo do nitrogênio. Entre as principais funções do sódio e do potássio, está a troca e o transporte de outros íons para os meios intra e extracelulares. No meio aquático, estes íons dificilmente atuam como fatores limitantes (Esteves, 1998).

Em geral, as concentrações de Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn dissolvidos são maiores no período chuvoso e nos horizontes com maiores valores de pH, indicando que o comportamento desses elementos no Reservatório de Itupararanga deve estar sendo controlado pelo pH. Ressalta-se o fato que no período chuvoso, há maior aporte desses elementos para dentro do reservatório devido lixiviação dos solos agrícolas na bacia do Alto Sorocaba causada pelas chuvas. Em relação ao comportamento de Al, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, exceto o ferro para o ponto P1 e alumínio no

pontos P1 e P2 no período chuvoso, apresentam valores dentro dos valores máximos permitidos para a Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005), ou seja, 0,10, 0,30, 0,10, 0,025, 0,01 e 0,18 mg/L, respectivamente.

A alcalinidade decorre da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, quase sempre alcalinos ou alcalino-terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio, etc.) (Esteves, 1988). Quanto ao cloreto, sua presença nas águas naturais se deve à alteração das rochas, dentre outros fatores (Esteves, 1988). O nitrato é encontrado em águas como resultado da oxidação de compostos nitrogenados (Tundisi, 1988). O íon sulfato constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários (Tundisi, 1988). O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos (Esteves, 1988). Cloreto, sulfato e nitrato apresentam valores de concentração menores que os permitidos para a Classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005), isto é, 250 mg/L, 250 mg/L e 10 mg/L, respectivamente. Todos os valores de fósforo apresentados nas Tabelas 5 e 6 estão acima dos valores permitidos para fósforo total em ambientes lênticos para a Classe 2 desta resolução, isto é, 0,05 mg/L.

Além disso, os resultados apresentados para os ânions quantificados neste trabalho deixam claro uma maior concentração de cloreto, nitrato, sulfato e fósforo no ponto de amostragem P1, para os dois períodos de amostragem. A alcalinidade manteve

praticamente constante nos ambos os pontos e períodos de amostragem. Os maiores valores de nitrato, sulfato e fosfato foram obtidos para o período chuvoso, sendo este mesmo comportamento observado para o potássio. Já, em relação ao cloreto, as maiores concentrações foram quantificadas na época de seca, fato também relatado para o sódio.

O Rio Sorocaba, antes de entrar no Reservatório de Itupararanga, sofre severos impactos ambientais que alteram sua qualidade. O crescimento urbano de Ibiúna, sem planejamento, com o descarte de efluentes domésticos e industriais “in natura” no Rio de Una faz com que óleos, lixo, cor, odor, larvas vermelhas (*Chironomidae*) sejam componentes da paisagem, de acordo com Salles et al. (2008) e Sardinha (2008). A degradação da qualidade da água, ao passar pelo município de Ibiúna é evidenciada pelos valores mais acentuados obtidos para o sódio e cloreto na época seca, evidenciando uma maior carga de efluentes domésticos nesta época do ano, onde não há o efeito de diluição relacionado às águas pluviais. O Rio Sorocabuçu e o Rio Sorocamirim não passam por nenhum centro urbano, porém, recebem cargas difusas devido ao cultivo de olerícolas, onde há intenso uso de fertilizantes fosfatados e corretivos agrícolas. Com isso, durante o período chuvoso, há

grande lixiviação de cálcio e magnésio (calcários dolomíticos) e potássio, nitrato e fosfato (fertilizantes fosfatados).

Classificação das águas do Reservatório de Itupararanga e análise estatística de componentes principais

Os termos duro ou mole são termos antigos aplicados as águas, os quais tiveram origem no discurso de Hipócrates, o pai da medicina, em seu tratado de higiene pública “Ar, água e localidades” (Todd, 1980). A dureza é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio da água. A dureza relativa ao CaCO_3 (mg/L) é obtida pela Equação 1. A Tabela 7 representa a classificação das águas em relação à sua dureza, de acordo com Sawyer et al. (2000). Todas as amostras de águas do Reservatório de Itupararanga podem ser classificadas como mole, uma vez que os valores variaram entre 27,1 e 48,8 mg/L e 21,2 e 38,7 mg/L para os períodos chuvoso e seco.

$$DT = 2,5.[Ca] + 4,1.[Mg] \quad (1)$$

Onde:

DT = dureza total (mg/L);

$[Ca]$ = concentração de cálcio (mg/L);

$[Mg]$ = concentração de magnésio (mg/L).

Tabela 7. Classificação de dureza das águas (Sawye et al., 2000).

Dureza (mg/L de CaCO_3)	Classificação das águas
0-75	Mole
76-150	Moderadamente dura
151-300	Dura
>301	Muito dura

De maneira a classificar quimicamente as águas do Reservatório de Itupararanga, decidiu-se utilizar um dos diagramas mais úteis para representar e comparar os resultados das análises das águas de reservatório, isto é, o diagrama de Piper (1944), sendo os resultados ilustrados na Figura 5. Os cátions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de cátions), são representados por um ponto em um

triângulo e os ânions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de ânions) são representados como um ponto em um outro triângulo, indicando a característica química da água e apontando semelhanças entre várias águas. As águas do Reservatório de Itupararanga são classificadas como sódicas-potássicas, em relação aos cátions dissolvidos, e bicarbonatadas, quanto aos ânions dissolvidos.

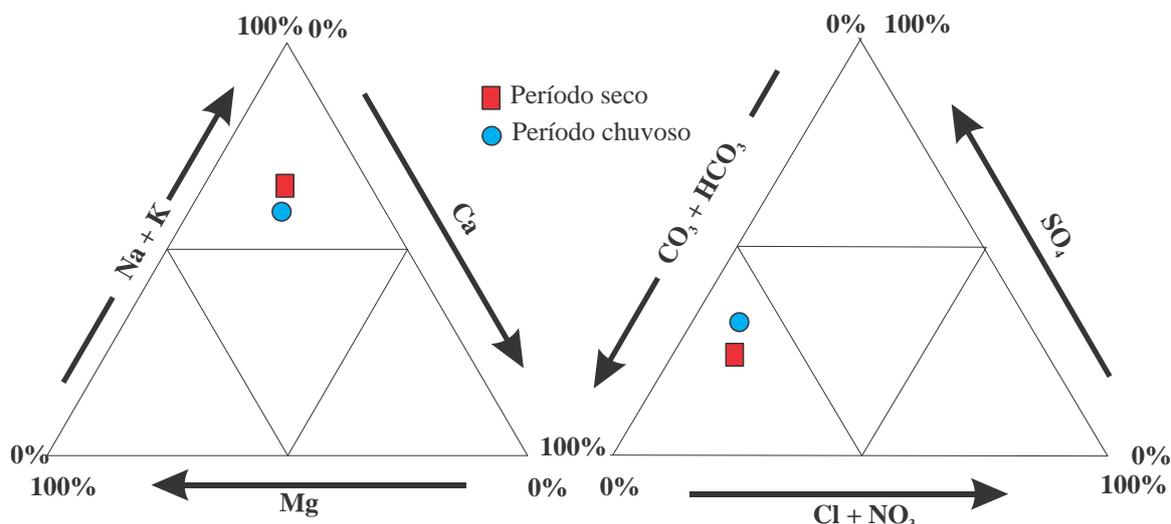


Figura 5. Classificação das águas do Reservatório de Itupararanga de acordo com o diagrama de Piper (1944).

A análise de componentes principais dos dados referentes ao gradiente vertical do Reservatório de Itupararanga foi modelada para verificar as relações entre os pontos de amostragem, variáveis analisadas e período do ano. Como se pode observar na Figura 6, as estações do ano apresentam agrupamentos distintos dos pontos de amostragem. Além disso, com relação aos parâmetros analisados,

os parâmetros que mais influenciaram no agrupamento dos pontos foram o cálcio, magnésio, potássio e pH (fator 1) e temperatura e sulfato (fator 2). Tais parâmetros estão todos relacionados, visto que o oxigênio é gerado pela atividade dos organismos fotossintetizantes, que necessitam de cálcio e magnésio na sua complexa molécula de clorofila, alterando o pH do meio.

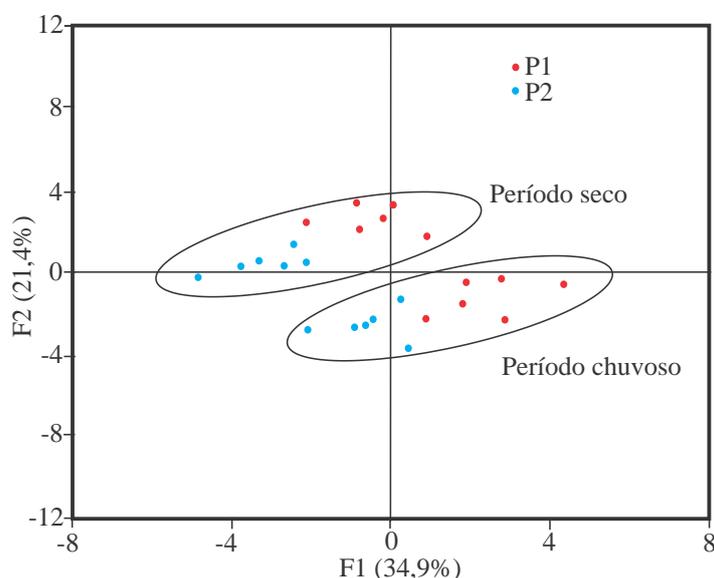


Figura 6. Análise de componentes principais dos pontos de amostragem de águas do Reservatório e Itupararanga nas diferentes estações do ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho reporta as variações de alguns parâmetros de qualidade de água no Reservatório de Itupararanga, bacia do Alto Sorocaba, nos períodos de chuva e seca de

2007. De acordo com os parâmetros analisados, o Reservatório de Itupararanga ainda não foi fortemente afetado pelos distintos e impactantes tipos de uso e ocupação do solo

na bacia. Pode-se concluir que o ponto de amostragem P1 é o mais afetado pelo uso e ocupação da terra na bacia do Alto Sorocaba, que demonstra valores elevados de nutrientes orgânicos, indicando contaminação por esgotos sanitários. Ao longo do Reservatório de Itupararanga, as concentrações de cálcio, sódio, potássio, magnésio, cloreto, nitrato, sulfato e fosfato são reduzidas, esta explicação se deve ao consumo pelas atividades dos organismos fotossintetizantes, que necessitam destes macro-nutrientes para sua sobrevivência. Esta fato ocasiona a melhora dos indicadores da qualidade das águas deste reservatório.

Algumas medidas de manejo poderiam ser adotadas para reduzir esses impactos nas áreas rurais ou urbanas, tais como: cumprimento da legislação para a conservação da vegetação ciliar, recuperação de áreas

degradadas, controle e planejamento da expansão urbana, estrutura adequada para a prestação de serviços públicos, fiscalização mais eficiente, coleta e disposição adequada dos resíduos sólidos e sistema de tratamento de efluentes domésticos.

Além destas sugestões, ainda é possível citar mais algumas medidas que deveriam ser implementadas, tais como: aumentar a qualidade ambiental através da implantação de unidades de conservação, manter programas de educação e saúde com as comunidades locais, criar mecanismos para facilitar a interlocução poder público e sociedade, incentivar atividades de turismo rural e ecológico, melhorar a colaboração entre os órgãos governamentais e os produtores rurais, capacitar mão-de-obra, aplicar técnicas de uso e conservação do solo e fomentar atividades florestais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de mestrado para F. J. M. Pedrazzi. Além disso, nossos especiais agradecimentos a Prefeitura Municipal de Ibiúna e ONG SOS Itupararanga pelo suporte operacional durante este estudo. Além disso, os autores também gostariam de agradecer a dois relatores anônimos pelas importantes sugestões, as quais possibilitaram uma significativa melhora na qualidade do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUDO, E. G. **Guia técnico de coleta e preservação de amostras de água**. CETESB, São Paulo, 1988.
2. BICUDO, D. C., FORTI, M. C., CARMO, F. C. D., BOUROTTE, C., BICUDO, C. E. M., MELFI, J. A., LUCAS, Y. A atmosfera, as águas e os reservatórios do PEFI: caracterização química. In: Bicudo, D. C., Forti, M. C., Bicudo, C. E. M. **Parque Estadual das Fontes de Ipiranga (PEFI): unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo**. São Paulo, SMA, 2002, p:161-200.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA n° 357**. Brasil, CONAMA, 2005.
4. CALIJURI, M. C. A., DEBERDT, G. L. B., MINOTI, R. T. A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande. In: Henry, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. FUNDIBIO/FAPESP, Botucatu, 1990, p:109-148.
5. CBA (Companhia Brasileira de Alumínio). **Dados de vazão e precipitação. Estação meteorológica na Represa de Itupararanga, Votorantim (SP)**. Relatório Interno, 2006.
6. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2^oed, Interciência, Rio de Janeiro, 1988, 602p.
7. GODOY, A. M. **Estudos geológicos das rochas granitóides e metamórficas e suas aplicações como rochas ornamentais e de revestimento: sistematização crítica da produção técnico-científica**. Tese de Livre Docência. IGCE, UNESP, Rio Claro, 2003, 243p.
8. HACH. **Water Analysis Handbook**. 2nd ed. Hach Company, Loveland, Colorado, USA, 1992, 831p.
9. IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo). Relatório Técnico n° 80: **Atualização do relatório de situação dos recursos hídricos da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê (Relatório Zero) como subsídio á elaboração do Plano de Bacia**. IPT, São Paulo, 2005, 420p.
10. MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: Caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. Tese de Doutorado, USP, 2006.
11. PADIAL, P. R., POMPÊO, M. L. M., MOSCHINI-CARLOS, V. Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água no reservatório Rio das Pedras (Complexo Billigs, São Paulo). **Revista Ambienta e Água**, 2009, 4:35-53.
12. PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Transecting American Geophysical Union**, 1944, 25, p:914-918.
13. SALLES, M. H. D.; CONCEIÇÃO, F. T.; ANGELUCCI, V. A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F. J.; CARRA, T. A.; MONTEIRO, G. F.; SARDINHA, D. S.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista de Estudos Ambientais**. 2008, 10(2):6-20.
14. SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decreto n° 10.755**. São Paulo, CETESB, 1977.
15. SARDINHA, D. S., CONCEIÇÃO, F. T., BONOTTO, D. M., SALLES, M. H. D., ANGELUCCI, V. A. Avaliação do balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, 2008, 38:730-740.

16. SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for sanitary engineers**. 4^o ed, New York, McGraw-Hill, 2000.
17. TODD, D.K. **Groundwater Hydrology**. John Wiley & Sons, New York, 1980.
18. TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas**. São Carlos: EESC-USP/CRHEA/ACIESP, 1988, 506p.
19. WETZEL, R. G., LIKENS, G. E. **Limnological Analises**. New York: Springer Verlag. 2nd. Ed., 1991, 391p.

Manuscrito recebido em: 13 de março de 2012
Revisado e Aceito em: 12 de setembro de 2012