

Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba (SP)

Fabiano Tomazini da Conceição¹
 Diego de Souza Sardinha²
 Letícia Hirata Godoy¹
 Alexandre Martins Fernandes^{3*}
 Felipe José de Moraes Pedrazzi¹

¹Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Departamento de Planejamento e Geoprocessamento (DEPLAN), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Rio Claro (SP), Brasil.

²Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) – Poços de Caldas (MG), Brasil.

³Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), Departamento de Engenharia Civil, UNESP – Bauru (SP), Brasil.

*Autor correspondente:
 alefernandes1966@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho avaliou a variação sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos na Bacia do Alto Sorocaba, Estado de São Paulo. Para isso, foram analisados os seguintes parâmetros: vazão, temperatura, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e em suspensão e as concentrações dissolvidas e totais de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} , em oito pontos de amostragem, onde foram realizadas coletas de águas superficiais em 13/08/2006 e 10/01/2007, períodos que envolvem variações extremas de chuva e vazão. De maneira geral, os metais apresentaram concentrações maiores na carga total em relação à dissolvida; variação sazonal marcante, com maiores concentrações no período chuvoso. Essa variação foi evidenciada tanto no aumento da vazão no período chuvoso, em cerca de 4 vezes, quanto das cargas específicas totais e dissolvidas de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ em 6 vezes ou mais, e ainda mais acentuada nas cargas específicas de Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} , chegando a ser 50 vezes maior no caso do Fe^{3+} durante o período chuvoso. O Reservatório de Itupararanga influenciou no transporte específico dos metais estudados, com diminuição significativa entre a entrada (P7) e saída (P8). **Palavras-chave:** hidroquímica, bacia hidrográfica, metais totais e dissolvidos.

Abstract

This study evaluated the seasonal variation on specific transport of total and dissolved metals at Alto Sorocaba basin, São Paulo, Brazil. For this, the following parameters were analyzed: discharge, temperature, electrical conductivity, pH, dissolved oxygen, total dissolved and suspended solids and dissolved and total concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+} , in eight points, where surface water samples were collected in 08/13/2006 and 01/10/2007, periods which involve extreme variations of rainfall and discharge. In general, metals showed higher concentrations in the total load in relation to dissolved load; marked seasonal variation, with higher concentrations in the rainy season. This variation was evidenced in the discharge increase during the rainy season, about 4 times, and the total and dissolved specific load of the Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and K^+ , 6-fold or more, and even more markedly in the specific loads of Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+} , getting to be 50 times higher in the case of Fe^{3+} during the rainy season. The Itupararanga Reservoir influenced the specific transport of the metals studied, with significant reduction between its inflow (P7) and outflow (P8).

Keywords: hydrochemistry, watershed, total and dissolved metals.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água significa que ela deva estar presente não apenas na quantidade adequada, mas também que sua qualidade seja satisfatória para suprir as necessidades da biosfera (Rebouças 2006). A aglomeração urbana e as áreas de lavoura extensiva que ocupam desordenadamente as áreas de entorno dos rios, onde uma grande parte da mata ciliar é retirada, elevam a pressão antrópica e provocam uma perda progressiva na qualidade da água superficial, fatos que tornam a água indisponível para as necessidades humanas. Além disso, atividades humanas podem trazer problemas em relação à quantidade de água, tais como escassez, secas e inundações.

Atualmente, uma das maiores preocupações ambientais está associada ao impacto causado por metais lançados nos recursos hídricos. Esses se destacam pela razão de serem substâncias inorgânicas não biodegradáveis, além de que, muitos deles são tóxicos, mesmo em concentrações muito baixas (Cidu & Frau 2009). Tão importante quanto a análise da quantidade total de metais, é o estudo da maneira em que as espécies metálicas se encontram no ambiente, o que é denominado de especiação química. Nesse contexto, essa caracterização nos sistemas aquáticos é de fundamental importância, pois auxilia no entendimento de sua biodisponibilidade, permitindo inferir sobre seus efeitos reais sobre as comunidades aquáticas (Rosa *et al.* 2002). Muitos são os

parâmetros que podem influenciar a reatividade de metais disponíveis, tais como pH, partículas em suspensão, material coloidal e a concentração de substâncias orgânicas, que desempenham papel importante no comportamento dos metais em ambientes aquáticos (Zarazua *et al.* 2006).

De acordo com Esteves (1998), a carga total de metais depende das características geológicas, ecológicas e sazonais da bacia de drenagem e do tipo de atividade humana que ocorre em sua área. O autor ainda destaca que o transporte de metais ocorre principalmente na forma dissolvida ou ligados a partículas em suspensão. Embora a concentração biodisponível seja de primordial importância, a avaliação da concentração de metais totais e dissolvidos permite uma visão das características gerais de um corpo de água e da bacia de drenagem estudada (Cukrov *et al.* 2008).

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência sazonal na concentração de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil. As principais drenagens formadoras da Bacia do Alto Sorocaba no Estado de São Paulo são os rios Una, Sorocabaçu e Sorocamirim, que formam o Rio Sorocaba pouco antes do Reservatório de Itupararanga, importante manancial que abastece cerca de um milhão de pessoas nos municípios de Ibiúna, Sorocaba, Mairinque e Votorantim.

2. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

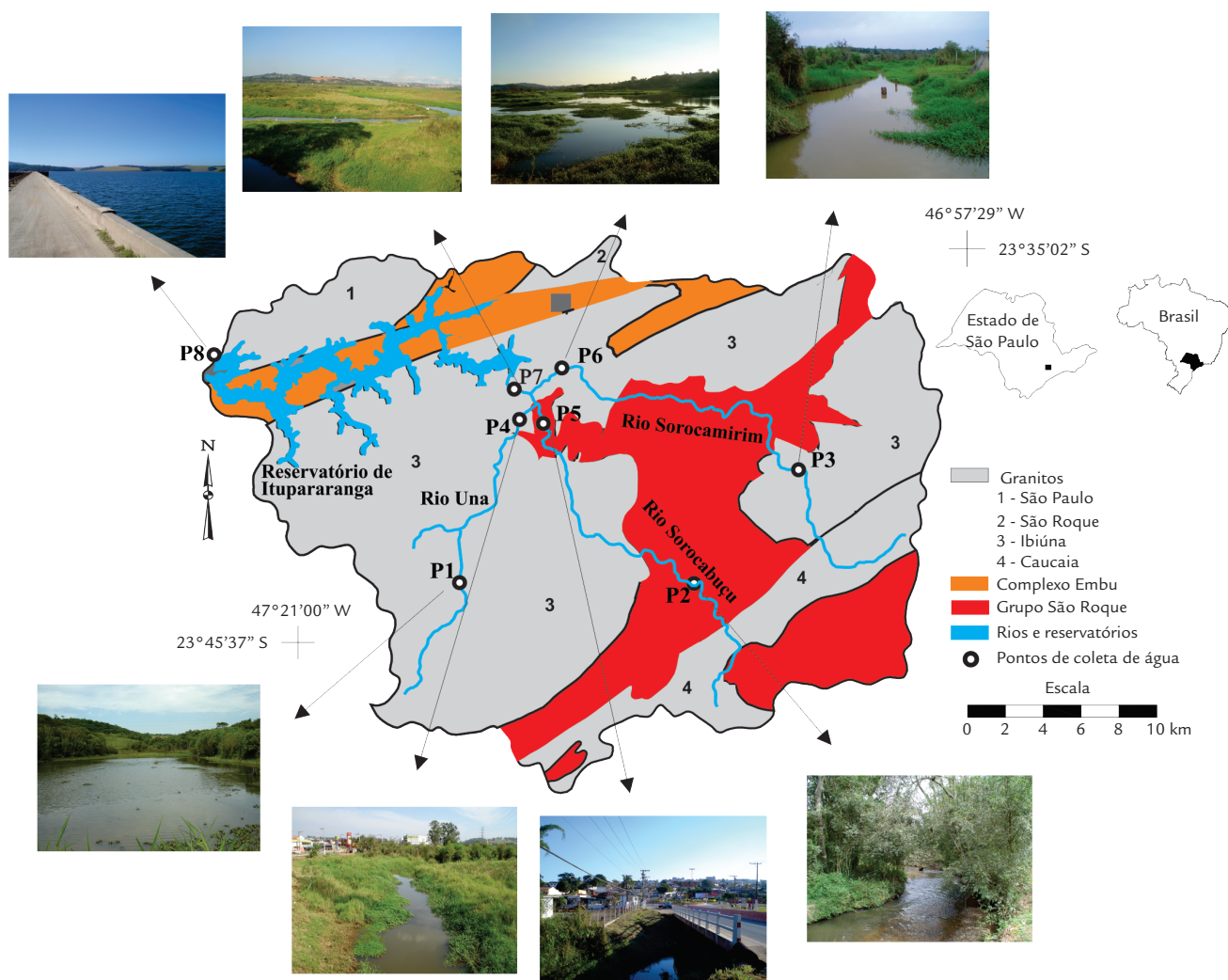
A Bacia do Alto Sorocaba é uma das seis sub-bacias que compõem a Bacia do Sorocaba Médio Tietê (929 km²) e situa-se na porção sudeste do Estado de São Paulo (23°45'37" e 23°35'02" de latitude S e 47°21'00" e 46°57'29" de longitude W). Essa bacia é formada pelos rios Una, Sorocabaçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos municípios de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque, para, posteriormente, se juntarem e formarem o Rio Sorocaba a montante do Reservatório de Itupararanga (Figura 1). A população total da bacia do Alto Sorocaba é de aproximadamente 200 mil habitantes, sendo Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim os municípios que a compõem.

A bacia do Alto Sorocaba apresenta clima Cwb, ou seja, clima úmido quente com inverno seco. Os ventos predominantes são provenientes do quadrante sudeste (SSE) e noroeste (WNW) no período seco e chuvoso, respectivamente (IPT 2005). A temperatura média anual é de 20°C e no período seco a evaporação é maior do que a precipitação. A precipitação média anual entre os anos de 1960 e 2004 foi de 1.493 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso e agosto o mês mais seco, com médias de 248,1 e 42,8 mm, respectivamente (Figura 2A). Nesse período, destacam-se os extremos de precipitação anual nessa bacia, ou seja, os anos de 1963 (969,4 mm) e 1983 (2.540,3 mm). Em relação às vazões afluentes no Reservatório de Itupararanga, a média anual entre os anos de 1960 e 2004 foi de 12,7 m³/s, sendo 1983 o ano com maior média de vazão afluente com 35,5 m³/s, que é justamente o ano com maior índice de precipitação, e 1969 o de menor

média afluente (5,30 m³/s). Os meses com maior e menor vazão média afluente foram fevereiro (21,7 m³/s) e agosto (6,7 m³/s) (Figura 2B), respectivamente, em consonância com o regime de precipitação na Bacia do Alto Sorocaba.

Os principais tipos de uso da terra na Bacia do Alto Sorocaba se caracterizam principalmente pela intensa atividade agrícola, com 393 km² ocupados por culturas e 35 km² por chácaras de lazer, que também são utilizadas para a agricultura. Destacam-se também as áreas cultivadas por olerícolas, batata, alface e tomate (IPT 2005). A área urbanizada é de aproximadamente 71 km², ocupada pelos núcleos urbanos das cidades citadas e pequenos aglomerados populacionais como vilas e vilarejos. A Bacia do Alto Sorocaba abriga a Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo, além de uma Área Natural Tombada em Caucaia do Alto e a Área de Proteção Ambiental de Itupararanga, que abrange toda a bacia de contribuição do reservatório de mesmo nome. Quanto à cobertura vegetal natural remanescente, a bacia é composta por floresta ombrófila densa e cerrado, estando inserida no domínio da Mata Atlântica (IPT 2005). As maiores porcentagens de vegetação estão concentradas ao norte do Reservatório de Itupararanga e em áreas de maior declividade, na porção sul da bacia.

A Bacia do Alto Sorocaba está situada na província geomorfológica do Planaltos e Serras do Atlântico leste sudeste (Ross 1996), mais especificamente sobre a Serra de Paranapiacaba. A região é muito montanhosa, com altitude máxima de 1.200 m ao sul da bacia, e mínima de 840 m. Em relação à pedologia, na área da Bacia do Alto Sorocaba



Fonte: modificado de IPT 2005. P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabuçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

Figura 1
Localização e mapa geológico com os pontos de amostragem da Bacia do Alto Sorocaba.

há três principais tipos de classes de solos. Os Argilossolos vermelho-amarelos distróficos de textura média argilosa, que compreendem solos minerais não hidromórficos; os Latossolos vermelho-amarelos distróficos de textura argilosa e estrutura em blocos, fraca ou moderada e/ou cerosidade pouca e moderada; e os Latossolos vermelho-amarelos distróficos pouco profundos com textura argilosa (IPT 2005).

Composta por diversas estruturas geológicas, com período de formação variando desde o Proterozoico Médio-Superior até o Quaternário, destacam-se na bacia dois principais domínios litológicos: o Domínio São Roque e o Domínio Embu (Figura 1), onde estão inseridas diversas feições geológicas características, como é o caso dos maciços granitoides São Francisco e São Roque, per-

tencentes ao Domínio São Roque, e os maciços granitoides Ibiúna e Caucaia, inseridos no Domínio Embu (IPT 2000). Segundo Hasui e Sadowski (1976), o magmatismo da região apresenta três fases distintas: pré-tectônica, sin-tectônica e pós-tectônica. A primeira é composta por rochas básicas, submetidas a um metamorfismo regional com predomínio de fácies xisto-verde, atingindo em alguns corpos a fácies anfibólito. A fase sin-tectônica é constituída por granitoides diversos, em forma de stocks e batólitos, havendo nessa época a formação dos maciços São Roque, Caucaia, São Francisco e Ibiúna. A última fase é marcada por vários corpos granitoides heterogêneos. Diferentes tipos de coberturas Cenozoicas também ocorrem na forma de sedimentos recentes junto ao fundo de vales (aluviões de planícies e terraços).

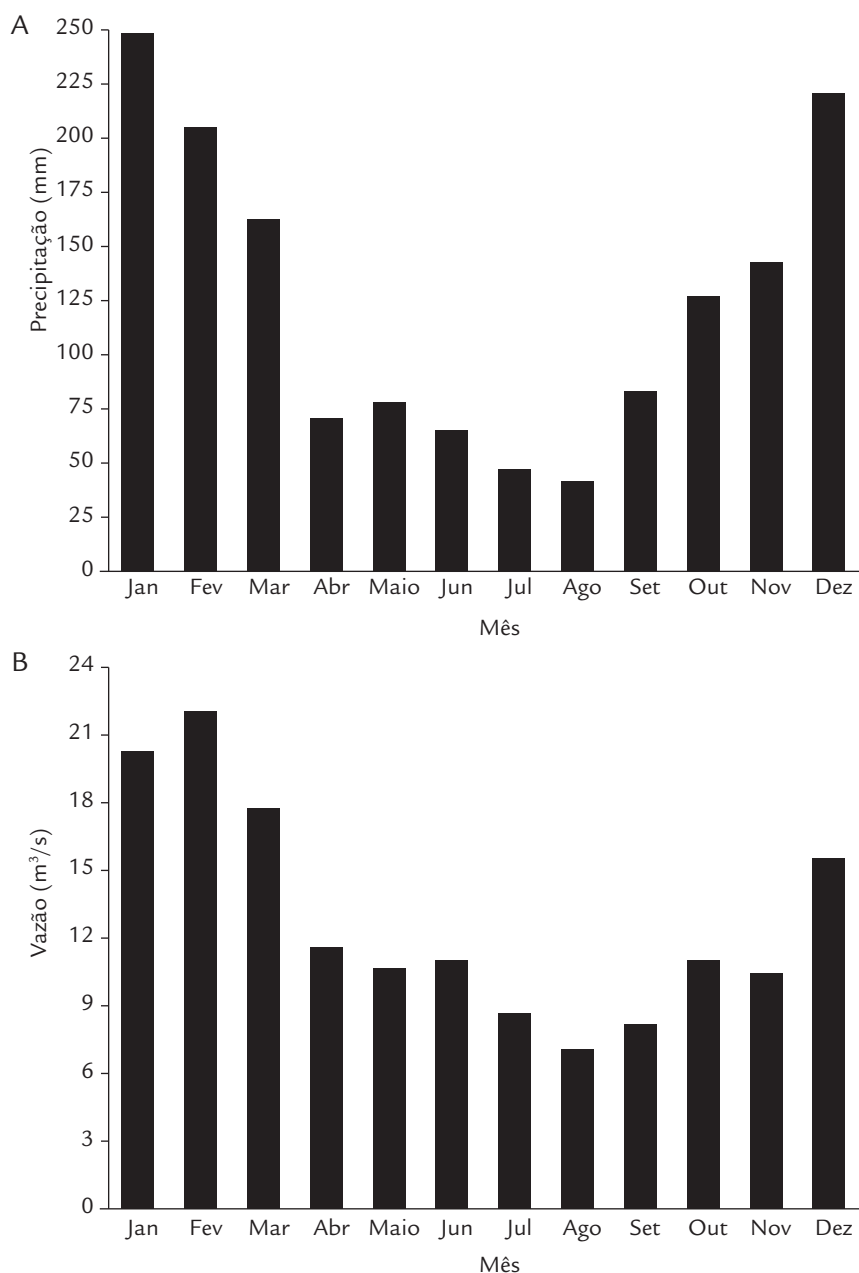


Figura 2
Dados hidrológicos da Bacia do Alto Sorocaba. (A) Precipitação média mensal (mm) (B) vazão média mensal afluenta (m³/s) no Reservatório de Itupararanga entre os anos de 1960 e 2004.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem metodológica empregada neste trabalho teve como finalidade avaliar a influência sazonal da concentração de metais totais e dissolvidos nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba. Para isso, oito pontos de amostragem foram estabelecidos (Figura 1), sendo realizadas duas coletas de águas superficiais nos dias 13/08/2006 e 10/01/2007, abrangendo os períodos que envolvem variações extremas de chuva e vazão (Figura 2B). Os pontos P1 (Rio Una), P2 (Rio Sorocabuçu) e P3 (Rio Sorocamirim) estão

localizados em uma região com menos indícios de impactos ambientais (Salles *et al.* 2008); os pontos P4 (Rio Una), P5 (Rio Sorocabuçu) e P6 (Rio Sorocamirim) correspondem aos exutórios desses rios, depois de escoarem regiões agrícolas e aglomerados urbanos; os pontos de amostragem P7 e P8 (Rio Sorocaba) estão situados a montante e a jusante do Reservatório de Itupararanga, respectivamente. A vazão em todos os pontos de coleta foi quantificada segundo a metodologia descrita por Hermes & Silva (2004), utilizando uma

trena, um objeto flutuador e um cronômetro, e calculada de acordo com a Equação 1.

$$Q = \frac{A \cdot D \cdot C}{T} \quad (1)$$

Onde,

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal do rio (m²);

D = distância percorrida pelo objeto flutuador usado para medir a velocidade do rio (m);

C = coeficiente de correção (0,9 para rios com fundo lodoso);

T = tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para percorrer a distância D.

As amostras de água coletadas para análises químicas foram divididas em duas alíquotas diferentes e armazenadas em frascos de polietileno sob diferentes condições:

- amostras de águas superficiais *in natura*: utilizadas para quantificar o pH, temperatura (Temp. – °C), condutividade elétrica (Cond. – µS/cm), oxigênio dissolvido (OD – mg/L), sólidos totais dissolvidos (STD – mg/L) e sólidos totais em suspensão (STS – mg/L). Essas medidas foram realizadas com equipamentos de leitura direta no próprio local de amostragem, através de sonda multiparamétrica YSI 556. O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utili-

zados para calibração foram de pH 4,00 (4,01±0,01 a 25±0,2 °C) e 7,00 (7,01±0,01 a 25±0,2°C). O condutivímetro foi calibrado utilizando uma solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade conhecida, ou seja, 147 µS/cm a 25 °C. As concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) foram determinadas utilizando a sonda multiparamétrica YSI 556 e de sólidos totais em suspensão (STS) quantificadas por métodos gravimétricos (APHA 1998);

- a segunda alíquota foi separada em duas frações. A primeira fração destinou-se à determinação das concentrações dos metais dissolvidos, sendo filtrada em campo, em membrana Millipore, acidificada (HNO³, pH<2) e encaminhada ao laboratório para a quantificação de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe²⁺, Al³⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Pb²⁺ e Zn²⁺ dissolvidos. A segunda fração, utilizada na determinação das concentrações de metais totais, foi somente acidificada e submetida a um processo de digestão (Method 3010 A) da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA 2006), permitindo medir a concentração total de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Pb²⁺ e Zn²⁺. Esses metais, dissolvidos e totais, foram analisados por espectrometria de absorção atômica (AAS – Varian 240-FS), com os limites de detecção de 0,1 mg/L para Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe²⁺ e Al³⁺ e 0,01 mg/L para Ni²⁺, Mn²⁺, Pb²⁺ e Zn²⁺.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Vazão e parâmetros físico-químicos

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a vazão e os parâmetros físico-químicos na Bacia do Alto Sorocaba. As vazões medidas em todos os pontos da amostragem são mais elevadas no mês de janeiro (período chuvoso) em relação a agosto (período seco). Os dados de vazão no ponto P8, localizado a jusante do Reservatório de Itupararanga, mostraram que a vazão de saída do reservatório foi de 9,6 e 11,0 m³/s nos dois períodos analisados, e confirmam o prospoto na literatura, a qual indica que ao longo de um ano hidrológico essas vazões são similares em pelo menos 50% do tempo, sendo da ordem de 12 m³/s, e que o controle de vazão na saída do reservatório preserva, sempre que possível, a manutenção do regime hídrico do Rio Sorocaba (Pedrazzi *et al.* 2013).

Aumentos na temperatura da água podem estar relacionados com a transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo) ou por atividades antrópicas, tais como despejos de efluentes industriais e domésticos (Espíndola *et al.* 2000). A variação da temperatura da água seguiu as tendências sazonais, variando entre 16,9 e 21,6°C no período seco e superiores a 20,7°C no período chuvoso. Destaca-se que a menor temperatura foi observada no ponto P4 (16,9°C), no período seco, e a maior em P6 (25,6°C), no período chuvoso.

De forma geral a condutividade elétrica se mostrou mais elevada no período seco, entre 40 e 60 µS/cm, quando

comparada ao período chuvoso, de 30 a 40 µS/cm. As exceções foram os pontos P4 e P7, onde a condutividade elétrica foi similar ou maior do que o limite superior esperado para águas naturais, que é de 100 µS/cm (Hermes & Silva 2004), nos dois períodos estudados. Os valores mais elevados de condutividade elétrica observados no ponto P4 podem ser atribuídos principalmente à descarga de efluentes da cidade de Ibiúna, localizada a montante de P4, e às atividades agrícolas realizadas na sub-bacia do Rio Una. No ponto P7, onde ocorre a integração dos três principais rios que formam a Bacia do Alto Sorocaba, foram verificadas condutividades de 190 e 100 µS/cm nos períodos seco e chuvoso, respectivamente, indicando um possível efeito de diluição da contribuição do Rio Una pelas águas dos rios Sorocamirim e Sorocabuçu.

Os valores de pH obtidos em todos os pontos de amostragem indicam que as águas da Bacia do Alto Sorocaba variaram de 6,7 a 7,2 e 7,3 a 8,3 nos períodos secos e chuvosos, respectivamente. Os valores mais elevados de pH foram caracterizados no Rio Sorocaba após o Reservatório de Itupararanga (P8), devido à intensa fotossíntese realizada pelas algas no Reservatório de Itupararanga (Esteves 1998; Pedrazzi *et al.* 2013, 2014).

As concentrações mais elevadas de OD foram quantificadas no ponto P8 em ambos os períodos, fato que também pode ser atribuído à elevada fotossíntese das algas no

Tabela 1

Área, vazão e parâmetros físico-químicos nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

Ponto	Área (km ²)	Vazão (m ³ /s)	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (mS/cm)	pH	Oxigênio dissolvido	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Sólidos totais em suspensão
Período seco (13/08/2006)								
P1	70	0,3	20,2	60,0	6,7	6,6	50,0	15,0
P2	98	0,5	17,7	40,0	6,7	6,3	30,0	20,0
P3	126	0,8	17,6	50,0	7,0	6,4	30,0	20,0
P4	146	0,8	16,9	400,0	6,7	2,9	130,0	30,0
P5	209	1,7	17,7	40,0	6,7	6,4	60,0	25,0
P6	310	3,3	21,6	50,0	6,8	6,0	50,0	24,0
P7	694	5,9	21,6	190,0	6,8	4,8	90,0	15,0
P8	929	9,6	19,8	50,0	7,2	7,0	15,0	10,0
Período chuvoso (10/01/2006)								
P1	-	1,7	23,7	40,0	7,3	7,3	240,0	70,0
P2	-	2,7	22,6	30,0	7,4	7,4	200,0	50,0
P3	-	4,1	21,8	40,0	7,5	7,5	100,0	49,0
P4	-	4,3	20,7	190,0	7,6	3,9	360,0	75,0
P5	-	9,1	22,9	30,0	7,5	7,4	160,0	70,0
P6	-	17,3	25,6	30,0	7,6	7,5	140,0	63,0
P7	-	31,0	23,7	100,0	7,6	5,8	210,0	68,0
P8	-	11,0	23,4	30,0	8,3	8,1	80,0	20,0

P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabaçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

Reservatório de Itupararanga. As menores concentrações de OD foram observadas junto à foz do Rio Una (P4), com 2,9 mg/L no período seco e 3,9 mg/L no chuvoso, o que pode ser atribuído à decomposição de matéria orgânica oriunda dos efluentes domésticos da cidade de Ibiúna. Apesar dos baixos valores encontrados nesse ponto, as concentrações de OD no ponto P7 (Rio Sorocaba) foram maiores ou próximos a 5 mg/L, valor mínimo preconizado pela legislação brasileira para rios Classe 2, devido à contribuição de águas dos Rios Sorocabaçu e Sorocamirim, que proporcionam a diluição dessa carga orgânica e também apresentaram maiores teores de OD.

Todas as impurezas encontradas no curso da água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos totais presentes nos corpos d'água (Espíndola *et al.* 2000). Os valores de STD e STS aumentam ao longo do curso dos afluentes do Rio Sorocaba em ambos os períodos devido ao uso da terra. O aumento dos valores de STS e STD na época chuvosa é atribuído ao maior arraste de sedimentos pela erosão laminar, o qual é muito acentuado nesse período. Além disso, os valores de sólidos totais (ST = STD + STS) indicam a carga

de sedimentos que adentram ao Reservatório de Itupararanga (P7) nos períodos seco (ST = 105 mg/L) e chuvoso (ST = 278 mg/L). Considerando a carga de ST no exutório desse reservatório (P8), durante os períodos seco (ST = 25 mg/L) e chuvoso (ST = 100 mg/L), e a vazão em ambos os pontos nos dois períodos (Tabela 1), pode-se calcular a quantidade de sólidos retidos no Reservatório de Itupararanga, possivelmente pela sedimentação, absorção e/ou complexação dos elementos/compostos, nos períodos seco (0,85 g/s ou 73 kg/dia) e chuvoso (2,31 g/s ou 199 kg/dia), respectivamente.

Testes estatísticos de correlação linear de Pearson foram aplicados aos resultados de vazão e parâmetros físico-químicos obtidos, estando os valores apresentados na Tabela 2. Valores positivos e significativos envolvendo condutividade elétrica e STD e STD e STS foram obtidos para os períodos secos e chuvosos. Já para condutividade elétrica e OD e OD e STD obteve-se correlações negativas significativas. Essas correlações confirmam que durante o período chuvoso há um aumento da temperatura e vazão e, conseqüentemente, dos valores de condutividade elétrica, STD e STS devido à maior erosão laminar neste período.

4.2. Concentrações de metais dissolvidos e totais

A Tabela 3 apresenta as concentrações de metais macronutrientes Ca²⁺, Mg²⁺, Na²⁺ e K⁺ dissolvidos e totais nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba nos períodos seco e chuvoso.

O cálcio influencia a ciclagem do fosfato, além de interferir no pH das águas fluviais e pluviais. O magnésio é um constituinte necessário da clorofila. Já o sódio possui as mesmas funções que o potássio, atuando na troca e trans-

Tabela 2

Correlação ($p \leq 0,01$) entre vazão e parâmetros físico-químicos obtidos nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

	Vazão	Temperatura	Condutividade elétrica	pH	Oxigênio dissolvido	Sólidos totais dissolvidos	Sólidos totais em suspensão
Período seco (13/08/2006)							
Vazão	1,00						
Temperatura	0,56	1,00					
Condutividade elétrica	-0,01	-0,24	1,00				
pH	0,45	0,15	-0,28	1,00			
Oxigênio dissolvido	-0,01	0,21	-0,97	0,41	1,00		
Sólidos totais dissolvidos	-0,02	-0,12	0,91	-0,55	-0,95	1,00	
Sólidos totais em suspensão	-0,34	-0,26	0,10	-0,55	-0,26	0,72	1,00
Período chuvoso (10/01/2007)							
Vazão	1,00						
Temperatura	0,51	1,00					
Condutividade elétrica	-0,03	-0,34	1,00				
pH	0,54	0,62	-0,03	1,00			
Oxigênio dissolvido	0,07	0,41	-0,98	0,18	1,00		
Sólidos totais dissolvidos	-0,39	-0,48	0,82	-0,44	-0,87	1,00	
Sólidos totais em suspensão	-0,31	-0,42	0,47	-0,75	-0,60	0,71	1,00

porte de outros íons para os meios intra e extracelulares (Esteves 1998). Quanto a esses cátions, nos rios Una (P4) e Sorocabaçu (P2) foram encontradas as maiores e menores concentrações em relação aos demais pontos, respectivamente, havendo um aumento desses valores da época seca para o período chuvoso, mesmo comportamento observado para o pH, condutividade elétrica, STD e STS, indicando que as concentrações dos cátions estão influenciando diretamente esses parâmetros.

A influência sazonal fica ainda mais evidente quando se observa a participação percentual da concentração dissolvida de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ em relação à concentração total. No período seco essa porcentagem é de 83, 96, 88 e 92%, respectivamente, sendo que no período chuvoso essa participação é menor, com 65, 87, 57 e 76%, respectivamente, indicando que esses cátions devem estar complexados em coloides, matéria orgânica ou sedimentos carregados pela erosão laminar que é muita intensa nesse período. Outro fato importante é o efeito de retenção desses cátions pelo Reservatório de Itupararanga, ou seja, as concentrações desses metais dissolvidos ou totais diminuem em ambas as épocas de amostragem a jusante do mesmo.

As concentrações de metais micronutrientes ou tóxicos Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} encontram-se na Tabela 4.

As concentrações dos metais micronutrientes e tóxicos se mostraram mais elevadas junto à foz dos rios Una (P4), Sorocabaçu (P5) e Sorocamirim (P6) em comparação aos pontos de amostragem localizados próximos às respectivas nascentes. Destaca-se que no período seco as concentrações dos metais Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} , tanto dissolvido quanto total, apresentaram-se abaixo dos limites de detecção da metodologia analítica empregada. As concentrações dos metais micronutrientes ou tóxicos apresentaram comportamento semelhante à observada para os metais macronutrientes, ou seja, concentrações maiores na carga total em relação à dissolvida. Além disso, houve influência sazonal, com maiores concentrações no período chuvoso, associadas ao aumento do processo de erosão laminar nesse período, que possibilita o carreamento desses elementos para os corpos de água. Outro fato é o efeito de retenção pelo Reservatório de Itupararanga, com provável sedimentação e precipitação desses metais ao longo do reservatório, após o qual foram verificadas as menores concentrações, independente do período analisado.

As águas do Alto Sorocaba são enquadradas como Classe 2, segundo o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 (São Paulo 1977), sendo esta classe definida na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de

Tabela 3

Concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} e K^{+} dissolvido e total (mg/L) nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

Ponto	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}
	Dissolvido				Total			
Período seco (13/08/2006)								
P1	7,55	1,34	3,54	3,63	8,21	1,40	4,16	4,01
P2	3,96	0,92	2,38	1,42	4,23	1,01	2,83	1,50
P3	4,17	1,46	2,79	2,52	6,79	1,48	3,38	2,58
P4	11,69	1,62	59,84	3,82	11,89	1,65	64,39	4,12
P5	4,90	0,95	2,76	1,89	4,97	1,02	3,10	2,77
P6	8,50	1,48	5,33	3,17	10,92	1,49	5,93	3,36
P7	7,03	1,42	15,06	2,98	9,85	1,42	15,71	2,99
P8	5,49	1,36	5,37	2,06	7,68	1,38	5,95	2,09
Período chuvoso (10/01/2007)								
P1	10,06	3,29	7,03	9,00	17,22	4,02	9,07	9,99
P2	7,03	1,99	4,42	3,63	12,76	2,68	5,93	4,69
P3	8,82	2,69	4,40	3,97	16,15	3,44	7,46	6,95
P4	16,67	4,18	15,33	9,74	21,77	4,43	71,96	12,02
P5	7,38	2,44	4,11	3,89	11,71	2,80	8,83	5,08
P6	11,31	3,41	4,79	5,07	13,52	3,76	7,54	5,80
P7	10,83	3,84	4,91	4,11	15,04	4,14	24,52	6,57
P8	7,56	1,97	8,57	3,10	13,59	1,99	9,22	4,13

P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabuçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

Tabela 4

Concentração de Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} dissolvido e total (mg/L) nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

Ponto	Al^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	Al^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
	Dissolvido						Total					
Período seco (13/08/2006)												
P1	0,17	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,60	1,70	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P2	0,23	0,42	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,11	1,28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P3	0,52	0,69	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,53	0,85	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P4	0,24	0,26	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,64	1,33	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P5	0,41	0,53	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,10	1,33	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P6	0,65	0,75	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,75	1,66	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P7	0,44	0,44	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,83	1,37	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P8	0,14	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Período chuvoso (10/01/2007)												
P1	0,71	2,18	0,15	0,04	0,08	0,12	1,53	2,76	0,17	0,04	0,08	0,14
P2	0,78	1,60	0,09	0,04	0,08	1,01	1,85	2,17	0,11	0,05	0,08	1,03
P3	0,86	2,01	0,09	0,05	0,05	0,11	2,62	2,70	0,09	0,06	0,05	0,13
P4	0,96	2,41	0,22	0,05	0,09	0,35	1,17	2,57	0,24	0,05	0,09	0,37
P5	0,84	1,84	0,11	0,05	0,08	1,04	1,24	1,99	0,11	0,05	0,08	1,10
P6	0,98	2,20	0,10	0,05	0,06	1,03	1,22	1,47	0,10	0,06	0,06	1,09
P7	0,81	1,43	0,11	0,05	0,08	0,86	1,15	1,57	0,14	0,05	0,09	0,89
P8	0,65	0,32	0,03	0,02	0,02	0,03	0,76	0,37	0,04	0,02	0,03	0,03

P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabuçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

2005 (Brasil 2005), ou seja, destina-se ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à 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, à aquicultura e à atividade de pesca.

Entretanto, ao comparar com os valores máximos de referência para a Classe 2 dos metais micronutrientes e tóxicos, (Al^{3+} dissolvido = 0,1 mg/L, Fe^{3+} dissolvido =

0,3 mg/L, Mn^{2+} total = 0,1 mg/L, Ni^{2+} total = 0,025 mg/L, Pb^{2+} total = 0,01 mg/L e Zn^{2+} total = 0,18 mg/L), as concentrações obtidas ultrapassaram esses valores em quase todos os pontos de coleta, tanto no período seco quanto no período chuvoso, onde o aumento das concentrações fluviais desses metais aponta para uma situação mais crítica, estando acima dos limites estabelecidos pela legislação, com poucas exceções para alguns metais em pontos específicos, como Mn^{2+} em P3, P6 e P8, o Ni^{2+} em P8 e o Zn^{2+} em P1, P3 e P8.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS 1998), esses metais, quando ingeridos em excesso pelo homem, podem causar efeitos adversos à saúde. O Al^{3+} , Pb^{2+} e Ni^{2+} não possuem efeitos benéficos ou nutricionais desejáveis à saúde humana e são considerados tóxicos. O excesso de Al^{3+} causa riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, visto que há considerável evidência que esse metal é neurotóxico e seu acúmulo no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. Já o Pb^{2+} e Ni^{2+} tendem a se acumular no tecido humano e, dependendo do tempo de exposição, podem causar alergia, diarreia ou vômito, passando para

danos a órgãos, disfunção cerebral e chegar a causar a morte. O Fe^{3+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , são considerados elementos essenciais na formação de enzimas organometálicas biologicamente fundamentais à vida, como o Fe^{3+} na composição da hemoglobina do sangue, responsável pelo transporte de oxigênio. Entretanto, quando em excesso, o Fe^{3+} é cancerígeno, o Mn^{2+} contribui para casos de oclusões coronárias e artrite reumatoide e também podem causar distúrbios neurológicos e psiquiátricos, e a ingestão de altas doses de Zn^{2+} pode causar danos a órgãos, anemia, diminuição do HDL no sangue e taquicardia, podendo também levar à morte.

4.3. Transporte específico de metais dissolvidos e totais

Para se conhecer o transporte específico na Bacia do Alto Sorocaba, é necessário relacionar os dados da área drenada pelo Rio Sorocaba e seus afluentes com a vazão média do rio e a concentração para cada metal em cada período do avaliado, isto é, deve-se estimar a quantidade total evacuada pelo rio em $\text{kg}/\text{km}^2/\text{ano}$. A Tabela 1 apresenta os dados de área (km^2) e vazão do período de amostragem (m^3/s) para todos os pontos de coleta. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 5 e 6 e foram adotados para representar os períodos seco e chuvoso na área estudada. Para o Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} dissolvidos e totais não foi possível calcular o transporte específico, tendo em vista que as concentrações obtidas ficaram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada neste estudo. Com isso, é possível efetuar uma melhor comparação entre todos os pontos de coleta e verificar possíveis entradas antrópicas ocorrendo na Bacia do Alto Sorocaba.

Foi verificada uma influência sazonal marcante, onde o aumento da vazão em mais de quatro vezes proporcionou um aumento significativo das cargas específicas de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , tanto na fração dissolvida quanto na carga total, sendo superior em cerca de seis vezes ou mais no período chuvoso, quando comparado ao período seco. Para os metais Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} , esse aumento foi mais acentuado, chegando a ser 50 vezes maior para a carga específica de Fe^{3+} nos pontos do Rio Una durante o período chuvoso. Destaca-se ainda a presença de cargas de Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} somente no período chuvoso.

Além disso, foi possível observar um aumento do transporte específico entre as nascentes e os exutórios dos Rios Una (P1 e P4), Sorocabuçu (P2 e P5) e Sorocamirim (P3 e P6), reflexo da contribuição da área de drenagem entre os pontos de amostragem nos respectivos rios e dos usos da terra em cada bacia hidrográfica. Houve uma

Tabela 5
Transporte específico de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ dissolvido e total ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{ano}$) nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

Ponto	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
	Dissolvido				Total			
Período seco (13/08/2006)								
P1	1.015	180	476	488	1.104	188	559	539
P2	638	148	384	229	682	163	456	242
P3	833	292	557	503	1.356	296	675	515
P4	2.023	280	10.357	661	2.058	286	11.144	713
P5	1.254	243	706	484	1.272	261	793	709
P6	2.854	497	1.790	1.064	3.667	500	1.991	1.128
P7	1.885	381	4.038	799	2.641	381	4.212	802
P8	1.797	445	1.758	674	2.514	452	1.947	684
Período chuvoso (10/01/2007)								
P1	7.666	2.507	5.357	6.858	13.122	3.063	6.911	7.613
P2	6.120	1.732	3.848	3.160	11.109	2.333	5.163	4.083
P3	9.028	2.753	4.504	4.064	16.531	3.521	7.636	7.114
P4	15.507	3.888	14.261	9.061	20.252	4.121	66.941	11.182
P5	10.111	3.343	5.631	5.330	16.043	3.836	12.098	6.960
P6	19.909	6.003	8.432	8.925	23.799	6.619	13.273	10.210
P7	15.257	5.410	6.917	5.790	21.188	5.832	34.543	9.256
P8	2.835	739	3.214	1.163	5.097	746	3.458	1.549

P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabuçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

diminuição no transporte específico de todos os metais, tanto dissolvido como total, entre os pontos P7 e P8 do Rio Sorocaba, evidenciando a influência do Reservatório de Itupararanga, que além de regular as vazões de saída também atuou na retenção das cargas dissolvidas e totais nos dois períodos analisados.

Notou-se que após sua passagem pela cidade de Ibiúna, o Rio Una tem sua qualidade degradada devido à contribuição de efluentes domésticos e industriais, fato bem delineado pelos valores dos parâmetros físico-químicos e os transportes específicos dos metais dissolvidos e totais obtidos no P4. Assim, a cidade de Ibiúna destaca-se como principal agente poluidor dessa área, exigindo ações de recuperação ambiental como um todo.

Na Bacia do Rio Sorocabuçu a vegetação ciliar é preservada, embora muitas vezes houvesse a presença de plantações nas proximidades dos corpos de água, sendo a presença de esgoto e/ou fossa e lixo os principais impactos sofridos pela bacia. No exutório dessa bacia há a presença de um posto de captação de água da Sabesp, devendo ser monitorado esse rio para evitar que possíveis entradas de elementos/compostos degradem ainda mais a qualidade do Rio Sorocabuçu. Também há de se considerar que, nesse local, o rio ainda não passou, efetivamente, por dentro da cidade de Ibiúna, embora tenha recebido possíveis cargas poluidoras ao longo de sua extensão.

Na Bacia do Rio Sorocamirim a situação é mais crítica em relação ao restante da Bacia do Alto Sorocaba, pois

a presença da cidade de Vargem Grande exerce influência negativa na qualidade da água dessa bacia, pois esse município despeja todo seu efluente no mesmo. As águas da Bacia do Sorocamirim tendem a melhorar sua qualidade à medida que fluem em direção ao Reservatório de Itupararanga.

A vegetação natural ao redor do Reservatório de Itupararanga é o componente ambiental que mais tem sofrido com as pressões antrópicas nessa região. Isto se deve fundamentalmente à utilização das terras para a agricultura, principalmente hortifrutigranjeiras, chácaras e residências localizadas ao sul desse reservatório. Despejo de esgoto doméstico sem tratamento também é frequentemente encontrado nos afluentes da represa, principalmente por pequenos aglomerados populacionais em sítios e vilarejos. Ainda, a presença desses vilarejos está associada ao descarte de entulhos no leito e às margens dos rios, já que não existem sistemas de coleta e transporte de lixo. Entretanto, o Reservatório de Itupararanga ainda não foi fortemente afetado pelos distintos e impactantes tipos de uso da terra na Bacia do Alto Sorocaba. O fator fundamental para essa situação é que muitos dos municípios lançam seus esgotos gerados em outras bacias hidrográficas, como é o caso dos municípios de São Roque e Mairinque, que lançam seus efluentes domésticos em afluentes do Rio Tietê, ou mesmo as cidades de Alumínio, Piedade e Votorantim, que despejam seus esgotos no Rio Sorocaba (a jusante da área de estudo) ou em afluentes deste.

Tabela 6

Transporte específico de Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} dissolvido e total ($kg/km^2/ano$) nas águas superficiais da Bacia do Alto Sorocaba.

Ponto	Al^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	Al^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
	Dissolvido						Total					
Período seco (13/08/2006)												
P1	23	28	-	-	-	-	81	229	-	-	-	-
P2	37	68	-	-	-	-	179	206	-	-	-	-
P3	104	138	-	-	-	-	306	170	-	-	-	-
P4	42	45	-	-	-	-	111	230	-	-	-	-
P5	105	136	-	-	-	-	282	340	-	-	-	-
P6	218	252	-	-	-	-	252	557	-	-	-	-
P7	118	118	-	-	-	-	223	367	-	-	-	-
P8	46	13	-	-	-	-	59	13	-	-	-	-
Período chuvoso (10/01/2007)												
P1	541	1.661	114	30	61	91	1.166	2.103	130	30	61	107
P2	679	1.393	78	35	70	879	1.611	1.889	96	44	70	897
P3	880	2.057	92	51	51	113	2.682	2.764	92	61	51	133
P4	893	2.242	205	47	84	326	1.088	2.391	223	47	84	344
P5	1.151	2.521	151	69	110	1.425	1.699	2.726	151	69	110	1.507
P6	1.725	3.873	176	88	106	1.813	2.148	2.588	176	106	106	1.919
P7	1.141	2.015	155	70	113	1.212	1.620	2.212	197	70	127	1.254
P8	244	120	11	8	8	11	285	139	15	8	11	11

P1 e P4: Rio Una; P2 e P5: Rio Sorocabuçu; P3 e P6: Rio Sorocamirim; P7 e P8: Rio Sorocaba.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba, no Estado de São Paulo. Os resultados de vazão e dos parâmetros físico-químicos demonstram que durante o período chuvoso há um aumento da temperatura e vazão e, conseqüentemente, dos valores de condutividade elétrica, STD e STS devido à maior erosão laminar nesse período. Para os metais analisados (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+}), são observados comportamentos semelhantes, com maior concentração no período chuvoso e na forma total. Já as concentrações de alguns metais micronutrientes e tóxicos se mostraram superiores aos valores máximos permitidos para a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357, sugerindo rever seu enquadramento para Classe 4, indicando um uso restrito à navegação e à harmonia da paisagem.

Além do mais, foi possível observar o comportamento dos pontos analisados na bacia, com perda da qualidade da água, provavelmente devido às condições antrópicas, constatado pelas altas concentrações dos elementos analisados

junto à foz do Rio Una, ponto P4. À jusante na confluência dos Rios Una, Sorocabaçu e Sorocamirim, ponto P7, a água apresentou características de qualidade intermediárias àquelas apresentadas nos exutórios desses rios, sendo que no ponto P8, Reservatório de Itupararanga, a água recupera sua qualidade, indicando sua atuação como “sumidouro”, possivelmente pela sedimentação, absorção e/ou complexação dos elementos analisados.

Com isso, verifica-se que a maioria dos problemas ambientais na Bacia do Alto Sorocaba, por atividades antrópicas, tem como causas principais a sua má utilização e falta de planejamento. Uma política que englobe como principal prioridade o desenvolvimento sustentável (desenvolvimento socioeconômico com justiça social e em harmonia com o meio ambiente) deve ser exercida na Bacia do Alto Sorocaba, de maneira que manter a qualidade de água do Rio Sorocaba e seus afluentes é de extrema importância na integridade do sistema como um todo, protegendo os mananciais de abastecimento de água de Sorocaba e outras cidades.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processos nº 06/55477-2

e 06/61208-4) pelas bolsas concedidas para o desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- APHA. American Public Health Association. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. American Public Health Association, Washington, 663 p.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.
- Cidu R. & Frau F. 2009. Distribution of trace elements in filtered and non filtered aqueous fractions: insights from rivers and streams of Sardinia (Italy), *Applied Geochemistry*, 24:611-623.
- Cukrov N., Cmk P., Mlkar M., Omanovic D. 2008. Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: an example of the self-purification. *Chemosphere*, 72:1559-1566.
- Espíndola E.L.G., Silva J.S.V., Marinelli C.E., Abdon M.M. 2000. *A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar*. Editora Rima, São Carlos, 188 p.
- Esteves F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro, 602 p.
- Hasui Y. & Sadowski G.R. 1976. Evolução Geológica do Pré-Cambriano na Região Nordeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6:182-200.
- Hermes L.C. & Silva A.S. 2004. *Avaliação da qualidade das águas: manual prático*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 55 p.
- IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. 2005. *Relatório Técnico nº 80 401-205*. Atualização do relatório de situação dos recursos hídricos da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê (Relatório Zero) como subsídio à elaboração do Plano de Bacia. IPT, São Paulo, 420 p.
- IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. 2000. *Relatório Zero da Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê*. IPT, São Paulo, 277 p.
- OMS. Organização Mundial de Saúde. 1998. *Elementos traço na nutrição e saúde humana*. Editora Roca, São Paulo, 316 p.
- Pedrazzi F.J.M., Conceição F.T., Sardinha D.S., Moschini-Carlos V., Pompêo M. 2013. Spatial and temporal quality of water in the Itupararanga Reservoir, Alto Sorocaba Basin (SP), Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 5:64-71.
- Pedrazzi F.J.M., Conceição F.T., Sardinha D.S., Moschini-Carlos V., Pompêo M. 2014. Avaliação da qualidade da água no Reservatório de Itupararanga, Bacia do Alto Sorocaba (SP). *Geociências*, 33:26-38.
- Rebouças A.C. 2006. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças A.C., Braga B., Tundisi J.G. (Eds.) *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3 ed. Editora Escrituras, São Paulo, p. 1-33.

- Rosa A.H., Rocha J.C., Burba P. 2002. Extraction and exchange behavior of metal species in therapeutically applied peat. *Talanta*, 58:969-978.
- Ross J.L.S. 1996. *Geografia do Brasil*. v. 3. EDUSP, São Paulo, 546 p.
- Salles M.H.D., Conceição F.T., Angelucci V.A., Sia R., Pedrazzi F.J.M., Carra T.A., Monteiro G.F., Sardinha D.S., Navarro G.R.B. 2008. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista de Estudos Ambientais*, 10:6-20.
- São Paulo. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 1977. Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá outras providências.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. 1992. Wastes, Hazardous Waste and Test Methods. *Method 3010 A: Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by FLAA or ICP Spectroscopy*. Disponível em: <http://www.epa.gov/solidwaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3010a.pdf>. Acessado em 28 jun 2006.
- Zarazua G., Ávila-Pérez P., Tejeda S., Barcelo-Quintal I., Martínez T. 2006. Analysis of total and dissolved heavy metals in surface water of a Mexican polluted river by total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61:1180-1184.