

Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação

Quality of sediments of the Monjolinho River: geoaccumulation index

Fabio Leandro da Silva^{1*}, Marcel Loyo Moitas², Irineu Bianchini Jr.^{2,3},
Marcela Bianchessi da Cunha-Santino^{2,3}

¹ Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo – USP, Itirapina, SP, Brasil. Autor para correspondência: fabioleodasilva@gmail.com

² Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

³ Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática, Departamento de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

RESUMO

A adoção de valores de referência (*guidelines*) para as concentrações de metais auxilia no diagnóstico de ambientes antropizados, bem como na elaboração de diretrizes para o manejo. Este estudo buscou avaliar a qualidade do sedimento do rio Monjolinho (São Carlos, SP) utilizando o índice de geoacumulação aplicado aos metais analisados (Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Ni, Mn e Zn) em três trechos: nascente, curso médio e foz durante a estação seca e de cheia. Os resultados indicaram que o Cd foi o único elemento que se enquadrou na categoria que indica contaminação moderada a forte. Verificou-se que Zn, Pb, Ni e Cu apresentaram concentrações significativamente diferentes entre o curso alto e baixo. A poluição difusa das áreas agrícolas e urbana são as principais causas do enriquecimento de Cd nos sedimentos do rio Monjolinho.

Palavras-chave: limnologia, índice de qualidade, metais.

ABSTRACT

The adoption of reference values (*guidelines*) for metals concentrations support the evaluative studies of areas under anthropic influence as well as in the environmental management. This study aimed at evaluating the quality of sediment from Monjolinho River (São Carlos, SP) employing the geoaccumulation index applied to the metals evaluated (Cu, Pb, Cr, Fe, Ni, Mn and Zn) in three sampling stations: spring, medium course and river mouth during the dry and rainy season. Concentrations of Zn, Pb, Ni and Cu showed significantly differences between spring and river mouth. The results demonstrated that the Cd was the only element categorizes in the moderate to strong contamination category. It was possible to verify that diffuse pollution of agricultural and urban areas are the main source of Cd enrichment in sediments.

Keywords: limnology, quality index, metals.



INTRODUÇÃO

Historicamente, a partir da Revolução Industrial, a urbanização desordenada e as atividades manufatureiras industriais aumentaram de forma não planejada, impactando o ambiente, tanto pela exploração não planejada de matéria-prima quanto por introdução de contaminantes e de poluentes no ar, no solo e na água. Dessa forma, considerando os recursos hídricos continentais como um bem finito, indispensável para a manutenção e o funcionamento dos sistemas ecológicos, esse se encontra ameaçado pela elevada demanda e aumento populacional global (Roser e Ortiz-Ospina, 2016).

Entre as ações antrópicas responsáveis por impactar negativamente a integridade ecológica dos ambientes aquáticos, podemos citar: (i) a perda de áreas naturais, (ii) a poluição química e (iii) perda da biodiversidade (Rockström et al., 2009). O uso inadequado e intensivo da terra nas bacias hidrográficas incide no comprometimento da qualidade tanto das águas quanto dos sedimentos dos recursos hídricos (Tundisi e Tundisi, 2010).

A degradação da qualidade dos sedimentos é um reflexo dos impactos ocasionados pelas atividades humanas sobre os ecossistemas aquáticos (Poletto e Merten, 2008), sendo que a origem das substâncias que interferem na qualidade das águas encontra-se no aporte de efluentes domésticos, industriais e agrícolas.

Os sedimentos podem ser utilizados em estudos de contaminação por refletirem a qualidade ambiental do sistema aquático (Lemes et al., 2003), visto que consiste em um compartimento que acumula uma série de substâncias (e.g. agrotóxicos). Assim, os teores dos elementos encontradas nos sedimentos refletem especificamente a qualidade do sistema aquático, pois nesse compartimento, as substâncias que não se solubilizaram na coluna d'água após seu lançamento nos ambientes lóticos ou lênticos irão se acumular, podendo ocasionar efeitos deletérios a biota ou restringir os usos múltiplos da água (Chapman, 2003).

A adoção de concentrações de metais presentes em ambientes naturais como valores de referência auxilia nos estudos avaliativos de regiões antropizadas, bem como na elaboração de diretrizes para manejo (Heise, 2007). Nesse contexto, o emprego de índices limnológicos contribui com a mensuração do grau de degradação

atribuído ao desenvolvimento das atividades humanas (Croft e Chow-Fraser, 2007), classificação de áreas, análises de tendências e difusão de informações para o público (Fernández e Solano, 2008).

Diante do exposto, o presente estudo buscou avaliar a qualidade do sedimento no gradiente longitudinal do rio Monjolinho (São Carlos, SP) utilizando o índice de geoacumulação aplicados aos metais analisados em três trechos: nascente (curso alto), curso médio e foz (curso baixo) durante o período de cheia e de seca.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da Área de Estudo

De acordo com o censo de 2010, São Carlos possui uma população de 221.950 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015). O município localiza-se na porção centro-oeste do estado de São Paulo, região que está em processo de industrialização. Tal situação favorece o crescimento populacional por conta das oportunidades de emprego, o que por sua vez incide em uma maior demanda por recursos hídricos e aumento da geração de cargas poluidoras.

A bacia hidrográfica do rio Monjolinho encontra-se inserida nos municípios de São Carlos e Ibaté, entre as coordenadas geográficas 21°35'50,7S/48°5'27,6"W e 22°9'39,7"S/47°43'8,4"W, na porção central do estado de São Paulo (Figura 1). O principal afluente é o rio Monjolinho, que possui uma extensão de 43,25 km e percorre áreas rurais e urbanas do município de São Carlos (Dornfeld et al., 2006). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwa (tropical de altitude), caracterizado pela existência de uma estação seca e outra chuvosa bem definidas (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, 2016).

Predominam na área de estudo rochas sedimentares e vulcânicas. A pedologia da bacia hidrográfica é composta por Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quarterênicos, Nitossolos Vermelhos, Organossolos Fólicos e Gleissolos Háplicos (Figura 2).

O relevo da bacia hidrográfica apresenta altitudes que variam de 520 a 936 metros, a cota mais baixa fica localizada próxima da região sudoeste da área de estudo,

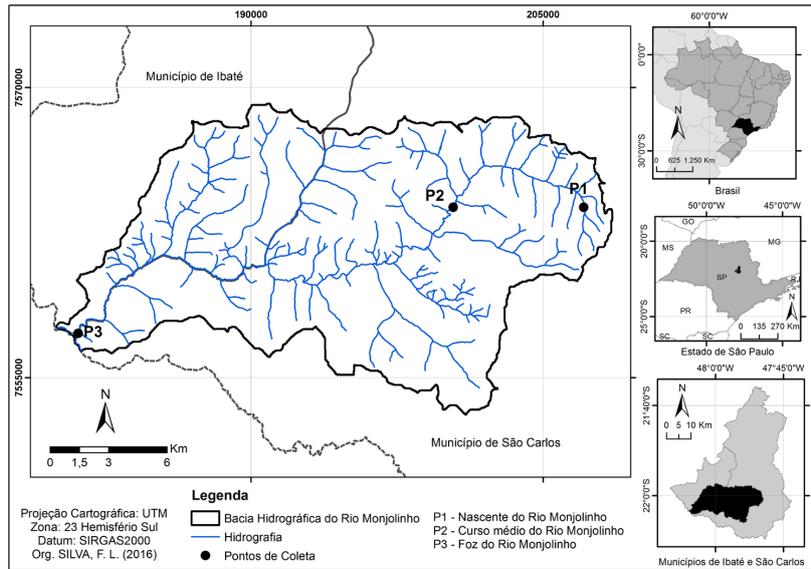


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Monjolinho e estações de coleta.

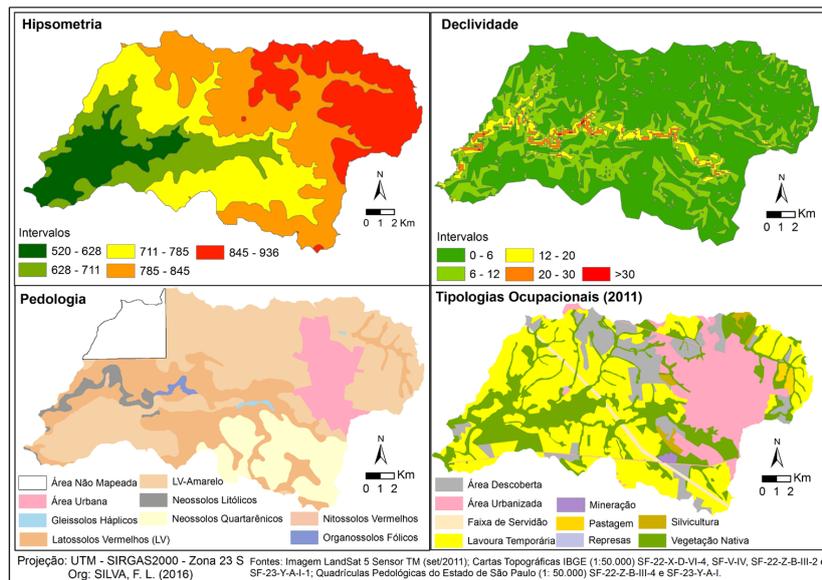


Figura 2. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Monjolinho. Fonte: Elaborado pelos autores.

já a cota mais alta encontra-se na porção noroeste da bacia hidrográfica (Figura 2). Em relação à declividade, nota-se que 91% da área de estudo possui declividade variando entre 0 e 12%, fator que propicia a urbanização e o desenvolvimento de atividades agropecuárias. Somente 3% do território apresentam áreas declivosas com suscetibilidade muito forte ao desencadeamento de processos erosivos (>30%), de acordo com Sporn e Ross (2004).

As tipologias ocupacionais (Figura 2) da terra existentes na bacia hidrográfica durante 2011 eram: área descoberta (11,85%), área urbanizada (19,84%),

faixa de servidão (1,3%), lavoura temporária (39,73%), mineração (0,31%), pastagem (0,65%), represas (0,10%), silvicultura (1,07) e vegetação nativa – cerrado e floresta semidecídua (25,15%).

Amostragem e Análise do Sedimento

Três amostras de sedimento foram coletadas na estação chuvosa (fevereiro/11, março/11 e abril/11) e outras três durante a estiagem (julho/11, agosto/11 e setembro/11) no curso alto (P1 - 23K 207.222 UTM 7.563.415), médio (P2 - 23K 207.236 UTM 7.563.910) e baixo (P3 - 22K 800.250 UTM 7.557.815) do rio Monjolinho (Figura 1). Uma draga de Ekman foi utilizada para a coleta do

material, obtido em profundidade de aproximadamente 150 cm. Todas as amostras foram condicionadas em sacos plásticos a 4°C e preservadas até o momento das análises físicas e químicas. Para a caracterização do sedimento, as amostras foram secas a 50°C (marca Artlab, modelo 315 SE). Posteriormente, utilizou-se uma malha de 850 microns e 180 microns para separar a fração mais grosseira da mais fina, para então realizar as análises de metais com a fração mais fina.

As concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram determinadas por meio de espectroscopia de absorção atômica. A abertura das amostras ocorreu por meio do método da digestão ácida com água régia. Por sua vez, a leitura por chama das amostras ocorreu no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (modelo SpectrAA 220) (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 1994; American Public Health Association et al., 1998). Para fins de discussões e avaliações, selecionou-se os mesmos metais avaliados por Campagna et al. (2008).

A análise da qualidade dos sedimentos ocorreu através da aplicação do Índice de Geoacumulação (I_{geo}), que realiza uma estimativa do grau de poluição por metais pesados nos sedimentos fluviais, através do enriquecimento de um determinado elemento acima de uma concentração de referência (Müller, 1969). Este índice é calculado por meio aplicação da Equação 1, o valor obtido é enquadrado em uma das sete classes com o respectivo grau de poluição (Tabela 1).

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_{metal}}{1,5 \times C_{ref}} \right] \quad (1)$$

sendo: C_{metal} = concentração do metal e C_{ref} = concentração de referência do metal analisado.

Neste estudo, as concentrações de metais presentes na diretiva 256/2016/E da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016) foram utilizadas como valores de referência (*guidelines*) para a verificação da qualidade dos sedimentos. Essa diretiva estabelece valores que determinam padrões de qualidade das águas subterrâneas e solos do estado de São Paulo. Os elementos Fe e Mn não possuem concentrações de referência, portanto, os valores de referência adotados corresponde a concentração média dos metais encontrados em unidades de conservação e fragmentos vegetacionais, com solos semelhantes aos da área de estudo, na bacia hidrográfica do Alto Tietê (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2008).

Buscando avaliar se existem diferenças significativas entre as concentrações dos metais avaliados entre os cursos do rio Monjolinho e estações climáticas, utilizou-se uma análise de variância (ANOVA - two way) no software R (R Core Team, 2016). Primeiramente foi analisado o gráfico de resíduos em função dos valores ajustados e posteriormente verificou-se a normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk. Quando não atendido os requisitos de normalidade, os dados foram transformados em logaritmos para uma nova aplicação do teste de Shapiro Wilk. O teste de Tukey foi aplicado nas ocasiões em que ocorreram diferenças significativas nos testes de anova (p -valor < 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os teores dos metais obtidos nos sedimentos das localidades avaliadas. As concentrações de Zn não ultrapassaram o valor de referência orientado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016) (60 mg/kg), contudo, observou-se que em alguns meses de coleta (fevereiro, abril e agosto) no curso baixo (P3) do Rio Monjolinho, as concentrações foram superiores ao recomendado. Poletto e Cardoso (2012)

Tabela 1. Categorização dos valores de I_{geo} .

Valor de I_{geo}	Classe	Descrição
> 5	6	Extremamente contaminado
4-5	5	Fortemente a extremamente contaminado
3-4	4	Fortemente contaminado
2-3	3	Moderadamente a fortemente contaminado
1-2	2	Moderadamente contaminado
0-1	1	Sem contaminação a moderadamente contaminado
0	0	Sem contaminação

Tabela 2. Teores de metais (mg/kg) no sedimento do rio Monjolinho, em que: P1 (nascente); P2 (curso médio) e P3 (foz) e C1 a C3 (período de cheia) e S1 a S3 (período de seca).

	C1	C2	C3	S1	S2	S3
P1 (Curso alto: 23K 207.222 UTM 7.563.415)						
Zinco	10,6	15,0	13,4	13,1	11,3	14,0
Chumbo	<1	<1	<1	16,0	33,0	9,0
Cádmio	6,2	6,7	5,8	5,9	5,2	6,7
Níquel	8,5	9,4	11,4	15,9	17,3	13,8
Ferro	7.340	6.475	11.116	7.095	7.564	7.014
Manganês	31,3	43,8	50	38,9	42,1	23,3
Cobre	<0,3	0,7	1,2	3,9	5,8	<0,3
Cromo	6,0	7,0	9,0	27,1	12,3	<0,5
P2 (Curso médio: 23K 207.236 UTM 7.563.910)						
Zinco	58,4	45,7	35,1	28,6	30,9	52
Chumbo	15,0	<1	<1	<1	32,0	14,0
Cádmio	7,1	7,7	6,4	4,5	5,9	8,3
Níquel	19,5	15,7	12,6	17,6	20,7	22,1
Ferro	25.182	26.920	16.426	14.073	15.680	21.170
Manganês	144,4	154,7	115,8	107,0	125,0	183,3
Cobre	14,0	19,0	11,1	11,7	13,9	13,4
Cromo	3,6	8,7	5,6	12,2	15,7	9,1
P3 (Curso baixo: 22K 800.250 UTM 7.557.815)						
Zinco	73,2	47,0	73,7	62,6	460	51,9
Chumbo	28,0	13,0	35,0	33,0	43,0	21,0
Cádmio	8,6	8,3	8,1	5,3	6,3	8,5
Níquel	25,7	18,6	23,3	22,2	35,7	20,7
Ferro	22.840	18.277	22.765	21.440	59.500	13.606
Manganês	243,6	139,3	272,0	182,0	857,0	98,3
Cobre	26,9	11,0	21,1	24,4	64,2	12,9
Cromo	6,1	<0,5	5,1	13,3	31,6	1,6

Descrição: P1 (nascente); P2 (curso médio) e P3 (foz) e C1 a C3 (período de cheia) e S1 a S3 (período de seca).

salientam que o aumento dos teores de Zn pode estar relacionados com a influência das atividades humanas desenvolvidas no meio urbano (e.g. fluxo intenso de veículos, parques industriais em funcionamento) e com a alta densidade populacional, dessa forma, o P3 que situa-se na foz do rio Monjolinho após a malha urbana de São Carlos, pode receber influência de efluentes oriundos das atividades antrópicas urbanas.

O Pb apresentou teores dentro dos limites recomendados (17 mg/kg) no curso alto (P1), exceto durante o mês de agosto (33 mg/Kg). Em relação aos demais trechos, os teores observados superaram os valores orientadores, exceto nos meses de fevereiro, março, abril, julho e setembro no P2 e o mês de março, no P3. O Pb é um metal considerado tóxico, sua presença nos sedimentos relaciona-se com a geologia local, além dos despejos industriais (Cotta et al., 2006).

Em relação ao Cd, todas as concentrações obtidas nos trechos do rio Monjolinho (P1, P2 e P3) durante o período chuvoso e de estiagem estiveram acima do

valor permitido (<0,5 mg/kg) pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016). Os elevados teores de Cd podem ser atribuídos à poluição difusa das áreas agrícolas, situação responsável pela entrada de fertilizantes e pesticidas no ambiente aquático, substâncias que possuem metais em sua composição (Niemi et al., 2004; Gilvear et al., 2013; Santiago e Cunha-Santino, 2014). Campagna et al. (2008) determinaram a concentração de Cd durante o período de seca do ano de 2003 e chuvoso de 2004, ao comparar as concentrações obtidas nos mesmos trechos com este estudo, verifica-se um aumento nos teores de Cd em 2011. Santiago e Cunha-Santino (2014) encontraram concentrações de Cd similares com as deste estudo durante as estações de seca e cheia do ano de 2012.

Com exceção das concentrações obtidas durante o período chuvoso no curso alto (P1) e durante o mês de abril no curso médio, os teores de Ni estiveram em desacordo com o valor de referência da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016) (13 mg/kg),

concentração que visa a prevenção da poluição. O Ni é um micronutriente muito empregado na agricultura para aumentar a urease foliar. Outras atividades como a queima de combustíveis e a produção industrial (e.g. fundição, produção de alimentos) também estão entre principais fontes antropogênicas deste elemento no ambiente (Trindade et al., 2012).

Ressalta-se que os elementos Fe e Mn não possuem valores orientadores na legislação federal tampouco na estadual (Estado de São Paulo). Marques et al. (2004) salientaram que os solos das regiões de cerrado são ricos em Fe e Mn, fator que explica os teores elevados desses metais nos cursos do rio Monjolinho. Considerando o teor médio de 187,11 mg/kg encontrado em solos de fragmentos vegetacionais para o Mn, notou-se que o valores encontrados nos meses de fevereiro, abril e agosto no curso baixo (P3) foram superiores ao adotado como referência. Por sua vez, o Fe apresentou concentrações superiores ao limite adotado (24.483,12 mg/kg) durante fevereiro e março no curso médio (P2) e em agosto no curso baixo (P3), cuja concentração foi maior do que o dobro do valor de referência.

Tratando-se dos elementos Cu e Cr, verificou-se que nenhuma concentração destes elementos superaram os valores orientadores (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016) de 35 mg/Kg e 40 mg/Kg, respectivamente, com exceção do Cu durante o mês de agosto no curso baixo (P3). Dornfeld et al. (2006) ao avaliarem a nascente do rio Monjolinho durante o período de estiagem de 2003 e de cheia em 2004, relataram baixas concentrações de Cr e Cu e associaram esta situação com o fato do sedimento ser predominantemente arenoso. As principais fontes antropogênicas de Cu são estações de tratamento de esgoto, insumos agrícolas e processos industriais (Soares et al., 2004). Em relação ao Cr, as fontes são rejeitos industriais e urbanos (Trindade et al., 2012).

Após as análises estatísticas, verificou-se que os teores dos metais pesados não diferiram significativamente

durante o período de cheia e de seca (p-valor > 0,05), salvo as concentrações do Ni, que diferiram significativamente (p-valor 0,0253251) entre o curso alto e baixo do rio Monjolinho. Em relação às concentrações dos metais nos trechos avaliados, verificou-se que o Zn, Pb, Ni e Cu apresentaram concentrações significativamente maiores no curso baixo em relação ao curso alto (Tabela 3), ao passo que no curso médio e baixo suas concentrações não diferiram (p-valor > 0,5), exceto o Ni, que apresentou uma diferença significativa entre as suas concentrações no curso médio e alto (Tabela 3).

O Cu apresentou concentrações significativamente diferentes entre o curso médio e alto (p-valor < 0,05). Por fim, o Cd não apresentou diferenças significativas nas localidades avaliadas. Os modelos de análise de variância aplicados aos elementos Fe, Mn e Cr não foram validados, pois os dados não apresentaram uma distribuição normal, mesmo após a sua transformação em logaritmo.

A aplicação do I_{geo} (Tabela 4) utilizando os valores orientadores da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2008, 2016) revelou que, os metais Pb, Ni, Fe, Mn, Cu e Cr enquadraram-se na Classe 1 nas duas estações climáticas (seca e cheia), fator que indica a ausência de contaminação ou a existência de uma contaminação moderada do sedimento nos três trechos do Rio Monjolinho. Nota-se que esses metais relacionam-se com o desenvolvimento de atividades industriais no meio urbano e lixiviação de insumos empregados na agricultura, usos da terra predominantes na área de estudo. Já os elementos Fe e Mn relacionam-se principalmente com a geologia local.

O Zn enquadrou-se na classe 02 (Müller, 1969) durante o mês de agosto no curso baixo, indicando a existência de uma contaminação moderada, porém nos outros meses suas concentrações enquadraram-se na classe 01 (Müller, 1969) em todos os cursos (Tabela 4). Por outro lado, o Cd apresentou os maiores níveis de

Tabela 3. Valores de p encontrados na análise de variância (two-way).

Metais	Curso Baixo - Alto	Curso Médio - Alto	Curso Médio - Baixo
Zn	p-valor (0,0021674)	p-valor (> 0,05)	p-valor (> 0,05)
Pb	p-valor (0,0021674)	p-valor (> 0,05)	p-valor (> 0,05)
Cd	p-valor (> 0,05)	p-valor (> 0,05)	p-valor (> 0,05)
Ni	p-valor (0,000379)	p-valor (> 0,05)	p-valor (0,034194)
Cu	p-valor (0,0000408)	p-valor (0,0002534)	p-valor (> 0,05)

Tabela 4. Enquadramento das concentrações dos metais conforme as classes do I_{geo} .

	C1	C2	C3	S1	S2	S3
P1 (Curso alto: 23K 207.222 UTM 7.563.415)						
Zinco	1	1	1	1	1	1
Chumbo	1	1	1	1	1	1
Cádmio	3	3	3	3	3	3
Níquel	1	1	1	1	1	1
Ferro	1	1	1	1	1	1
Manganês	1	1	1	1	1	1
Cobre	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
P2 (Curso médio: 23K 207.236 UTM 7.563.910)						
Zinco	1	1	1	1	1	1
Chumbo	1	1	1	1	1	1
Cádmio	3	4	3	2	3	4
Níquel	1	1	1	1	1	1
Ferro	1	1	1	1	1	1
Manganês	1	1	1	1	1	1
Cobre	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
P3 (Curso baixo: 22K 800.250 UTM 7.557.815)						
Zinco	1	1	1	1	2	1
Chumbo	1	1	1	1	1	1
Cádmio	4	4	4	3	3	4
Níquel	1	1	1	1	1	1
Ferro	1	1	1	1	1	1
Manganês	1	1	1	1	1	1
Cobre	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1

Descrição: P1 (nascente); P2 (curso médio) e P3 (foz) e C1 a C3 (período de cheia) e S1 a S3 (período de seca).

contaminação, suas concentrações indicaram a existência de uma contaminação classificada entre moderada e forte (Classe 3) (Müller, 1969) nos três cursos, sendo que nos cursos médio (P2) e baixo (P3) o sedimento foi enquadrado como fortemente contaminado em algumas campanhas de amostragem. O menor valor de I_{geo} observado para o Cd ocorreu no curso médio (P2) durante o mês de julho, cuja classificação indicou um grau moderado de contaminação (Tabela 4).

CONCLUSÕES

O Índice de Geoacumulação foi uma ferramenta avaliativa adequada para a categorização de trechos dos corpos hídricos. Os teores de Cd indicaram que o sedimento do rio Monjolinho encontra-se moderadamente a fortemente contaminado em todos os trechos. Pode-se inferir que tal situação é decorrente da poluição difusa oriunda das áreas agrícolas e urbanas, conforme os usos e cobertura da terra. Observou-se a existência de diferenças significativas entre os teores de Zn, Pb, Ni e Cu existentes

no curso alto e baixo, evidenciando o enriquecimento de metais no sedimento do rio Monjolinho ao longo de seu percurso. Recomenda-se a realização de novos estudos para avaliar o enriquecimento das concentrações dos metais no rio Monjolinho por meio da adoção de valores de *background* da própria bacia hidrográfica. É necessária a adoção de práticas conservacionistas nas áreas destinadas ao agronegócio e medidas que visem reduzir as cargas de substâncias químicas presentes nas águas pluviais urbanas, além da implementação de um modelo de gestão ambiental integrada na bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de iniciação científica (Processo 800364/2014-7) e a Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP) pelo financiamento parcial desse estudo (Processo nº 2013/22901-0).

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FACILITY – WPCF, 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: APHA. 1193 p.
- CAMPAGNA, A.F., FRACÁRIO, R., RODRIGUES, B.K., ELER, M.N., VERANI, N.F. & ESPÍNDOLA, E.L.G., 2008. Analysis of the sediment toxicity of Monjolinho River, São Carlos, São Paulo State, Brazil, using survey, growth and gill morphology of two fish species (*Danio rerio* and *Poecilia reticulata*). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 193-201.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI, 2016 [acesso em 17 dezembro 2016]. *Clima dos municípios paulistas: a classificação climática de Köppen para o estado de São Paulo* [online]. Campinas: CEPAGRI. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>
- CHAPMAN, D., 2003. *Water Quality Assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. London: E and FN SPON. 613 p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB, 1994. *Norma Técnica L5.600 - Sólidos: determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica - método da digestão ácida com água regia - método de ensaio*. São Paulo: CETESB. 3 p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB, 2008 [acesso em 19 dezembro 2016]. *Valores da condição da qualidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 6 e região metropolitana de São Paulo* [online]. São Paulo: CETESB. Disponível em: http://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/34/2013/12/Rel_Qualidade_Solo_Ugrhi6.pdf
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB, 2016 [acesso em 17 dezembro 2016]. *Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016* [online]. São Paulo: CETESB. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>
- COTTA, J.A.O., REZENDE, M.O.O. & PIOVANI, M.R., 2006. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR, São Paulo, Brasil. *Química Nova*, vol. 29, no. 1, pp. 40-45.
- CROFT, M.V. & CHOW-FRASER, P., 2007. Coastal indicators use and development of the wetland macrophyte index to detect water quality impairment in fish habitat of great lakes coastal marshes. *Journal of Great Lakes Research*, vol. 33, pp. 172-197.
- DORNFELD, C.B., ESPÍNDOLA, E.L.G., FRACÁCIO, R., RODRIGUES, B.K. & NOVELLI, A., 2006. Comparação de Bioensaios Laboratoriais e “in situ” utilizando *Chironomus xanthus* na avaliação da toxicidade de sedimentos do Rio Monjolinho (São Carlos, SP). *Journal Brazilian Society of Ecology*, vol. 1, no. 2, pp. 161-165.
- FERNÁNDEZ, N. & SOLANO, F., 2008. Índices de calidad y contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona.
- GILVEAR, D.J., SPRAY, C.J. & CASAS-MULET, R., 2013. River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *Journal of Environmental Management*, vol. 126, pp. 30-43.
- HEISE, S., 2007. *Sustainable management of sediment resources - sediment risk management and communication*. Amsterdam: Elsevier. 275 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2015 [acesso em 20 dezembro 2016]. *Cidades* [online]. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354890>
- LEMES, M.J.L., FIGUEIREDO FILHO, P.M. & PIRES, M.A.F., 2003. Influência da mineralogia dos sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. *Química Nova*, vol. 26, no. 1, pp. 13-20.
- MARQUES, J.J., SCHULZE, D.G., CURTI, N. & MERTZMAN, S.A., 2004. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado Soils. *Geoderma*, vol. 121, pp. 31-43.
- MÜLLER, G., 1969. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, vol. 2, no. 03, pp. 108-118.

- NIEMI, G., WARDROP, D, BROOKS, R., ANDERSON, S., BRADY, V., PAERL, H., RAKOCINSKI, C., BROUWER, M., LEVINSON, B. & MCDONALD, M., 2004. Rationale for a new generation of indicators for coastal waters. *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, no. 9, pp. 979-986.
- POLETO, C. & CARDOSO, A.R., 2012. Concentrações de Zinco e Níquel em Sedimentos Urbanos de Trinta Municípios do Rio Grande do Sul: Riscos aos Recursos Hídricos Estaduais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 17, no. 3, pp. 93-100.
- POLETO, C. & MERTEN, G.H., 2008. Elementos traço em sedimentos urbanos e sua avaliação por guidelines. *Holos Environment*, vol. 8, no. 2, pp. 100-118.
- R CORE TEAM, 2016 [acesso em 17 dezembro 2016]. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN W, NOONE K, PERSSON A, CHAPIN 3RD FS, LAMBIN EF, LENTON TM, SCHEFFER M, FOLKE C, SCHELLNHUBER HJ, NYKVIST B, DE WIT CA, HUGHES T, VAN DER LEEUW S, RODHE H, SÖRLIN S, SNYDER PK, COSTANZA R, SVEDIN U, FALKENMARK M, KARLBERG L, CORELL RW, FABRY VJ, HANSEN J, WALKER B, LIVERMAN D, RICHARDSON K, CRUTZEN P, FOLEY JA., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, vol. 461, no. 7263, pp. 472-475.
- ROSER, M. and ORTIZ-OSPINA, E., 2016 [acesso em 17 dezembro 2016]. World population growth [online]. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/world-population-growth/>
- SANTIAGO, C.D. & CUNHA-SANTINO, M.B., 2014. Avaliação preliminar da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, Córrego Espreado e Rio Monjolinho, São Carlos - SP. *Revista de Ciências Ambientais*, vol. 8, no. 1, pp. 77-92.
- SOARES, M.C.C., MIZUSAKI, A.M.P., GUERRA, T. & VIGNOL, M.L., 2004. Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto-Alegre - RS - Brasil. *Pesquisas em Geociências*, vol. 31, no. 1, pp. 39-50.
- SPORL, C. & ROSS, J. L. S., 2004. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicações de três modelos. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, no. 15, pp. 39-49.
- TRINDADE, W.M., HORN, A.H. & RIBEIRO, E.V., 2012. Concentração de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapota-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental. *Geonomos*, vol. 20, no. 1, pp. 64-75.
- TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M., 2010. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, vol. 10, no. 4, pp. 67-75.