

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DE DUAS NASCENTES, CÓRREGO ESPRAIADO E RIO MONJOLINHO, SÃO CARLOS - SP

Cristine Diniz Santiago¹Marcela Bianchessi da Cunha-Santino²

RESUMO

Uma maneira eficaz de análise dos corpos hídricos é pela caracterização de seus sedimentos, uma vez que é nesse compartimento que se acumulam compostos oriundos do entorno. O presente trabalho teve por objetivo comparar a qualidade ambiental de duas nascentes do município de São Carlos, SP: a do córrego Espraiado (preservada) e a do Rio Monjolinho (antropizada). Foram realizadas análises (toxicidade, pH, matéria orgânica, densidade, umidade, metais e granulometria) nos períodos de seca e cheia no ano de 2012. O monitoramento dos sedimentos e a análise do entorno das nascentes proporcionaram o diagnóstico de sua qualidade ambiental. A presença de mata ciliar na NE (nascente do Córrego do Espraiado) constitui-se em um elemento paisagístico que efetivamente garante a manutenção da qualidade ambiental dessa nascente, sem comprometer os fluxos de matéria e energia (i.e. características intrínsecas) de um ecossistema natural. Entretanto, na NM (nascente do Rio Monjolinho), esse padrão de qualidade não foi observado, apresentando diversos problemas como erosão, falta de mata ciliar e entorno antropizado (culturas e pasto).

Palavras-chave: limnologia; toxicidade; legislação; metais

ABSTRACT

A preliminary evaluation of sediment quality of two springs, Espraiado stream and Monjolinho river, São Carlos – SP. An effective way to analyze hydric bodies is through their sediments characterization, once this compartment accumulates compounds arising from the surroundings. The present study aimed at comparing the environmental quality of two springs, the Espraiado stream spring (preserved) and the Monjolinho river spring (anthropized). Toxicity, organic matter, pH, density, humidity, metals and granulometry analyses were performed during the drought and raining seasons in 2012. The monitoring of sediments and analysis of the surroundings of the spring supplied an environmental diagnosis. The existence of riparian vegetation around the Espraiado spring constitutes a landscape factor that effectively ensures the maintenance of the environmental quality of this spring, without compromising matter and energy flows, which are innate characteristics of a natural ecosystem. However, in the Monjolinho spring this quality pattern was not observed, also presenting various other problems such as

¹ Curso de Gestão e Análise Ambiental, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos – SP, Brasil.

² Docente do Depto. de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos – SP, Brasil. E-mail para correspondência: cunha_santino@ufscar.br

erosion, lack of riparian vegetation and anthropic uses on the surroundings (agriculture and pasture).

Keywords: limnology; toxicity; legislation; metals

INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos não são compostos apenas pela coluna d'água, como nos ambientes lânticos, ou por um fluxo unidirecional de água, como nos ambientes lóticos, mas também pelos seus sedimentos. Os sedimentos nos corpos d'água são formados por partículas sólidas heterogêneas e por diversos materiais que se distribuem ao longo do corpo hídrico (IAP, 1996). A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1995), em sua norma técnica L6.160, define sedimento como “depósito de materiais provenientes de processo de erosão de rochas e minerais, provocado pela ação do intemperismo”. Devido a tais processos, os sedimentos apresentam elevada heterogeneidade em diversos aspectos, como granulometria e composição química (IAP, 1996). O sedimento integra os diversos processos biológicos, químicos e físicos que ocorrem no corpo d'água, como a ciclagem de nutrientes, a suspensão e ressuspensão e a adsorção de metais. O sedimento pode apresentar características orgânicas e inorgânicas. As águas intersticiais presentes no sedimento são o principal meio de propagação de contaminantes num corpo d'água (Mozeto, 2006).

A legislação brasileira contempla a qualidade dos recursos hídricos por meio do estabelecimento de padrões de qualidade. Os resultados de análises devem ser compatíveis com aqueles descritos na legislação, de acordo com a utilização destinada para o corpo hídrico em estudo, ou seja, seu enquadramento. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) possui a Resolução 357/2005, que define padrões de qualidade e enquadramento dos recursos hídricos, além da Resolução 344/2004, que define padrões e procedimentos para a avaliação do sedimento a ser dragado. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, sendo uma antropizada (Rio Monjolinho) e outra preservada (Córrego do Espreado), contemplando o período de cheia e de seca, uma vez que a hipótese que permeou esse estudo considerou que os períodos de seca e de cheia alteram a qualidade dos sedimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

A cidade de São Carlos, no centro-leste do Estado de São Paulo, situa-se em duas grandes bacias hidrográficas: a dos rios Tietê/Jacaré e a do rio Mogi-Guaçu, que abrange a maior parte do município. Uma das sub-bacias mais importantes é a do Rio Monjolinho (área = 275 km² e perímetro = 84,75 km), que apresenta quase sua totalidade no município, respondendo por 24,18% de sua área. O clima da região é o tropical de altitude, apresentando duas estações bem definidas: a de seca e a chuvosa, com médias pluviométricas anuais de 1300 mm e temperatura média anual de 21,5 °C (Embrapa, 2012). Com relação à pedologia, a sub-bacia é composta principalmente por latossolos, sendo a predominância observada do latossolo vermelho-amarelo, com características eutróficas, ou seja, relativa fertilidade, podendo facilmente

ter sua utilização otimizada através de técnicas de manejo (Espíndola *et al.*, 2000; Lorandi *et al.*, 2001).

O rio Monjolinho possui 43,3 km de comprimento e é o principal rio da sub-bacia de mesmo nome, pertencente à bacia Tietê-Jacaré (Tundisi *et al.*, 2008). Sua nascente encontra-se na região leste de São Carlos, na área rural próxima à mancha urbana. A ocupação do município deu-se de maneira desordenada e sem planejamento apropriado. Dessa forma, a região da margem esquerda do Monjolinho sofreu intensa urbanização, em parte devido à existência da rodovia Washington Luís. Já a margem direita observou relativa conservação, com a presença da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), o Parque Ecológico Dr. Antônio Teixeira Vianna e a Embrapa (Lorandi *et al.*, 2001). Um dos afluentes da margem direita do Monjolinho é o Córrego Espraiado. Sua nascente está localizada em uma área de cerrado preservado no campus da UFSCar e é responsável pela água superficial destinada a 15% do abastecimento público feito pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Este córrego tem aproximadamente 4 km, apresentando águas com baixa turbidez e sedimentos arenosos (Rossi, 2010). A bacia do córrego do Espraiado é formada predominantemente por solos do tipo latossolo vermelho-amarelo álico (Paese, 1997).

Coleta e análises das amostras de sedimentos

A fim de realizar a avaliação e a comparação da qualidade dos sedimentos das nascentes do Monjolinho, denominada por NM (23K 207.222 UTM 7.563.415) e do Espraiado, denominada por NE (23K 203.657 UTM 7.568.174), foram realizadas duas coletas em cada nascente, contemplando o período de seca (i.e. baixas precipitações atmosféricas) e o de cheia (i.e. elevadas precipitações atmosféricas). Para a realização das coletas, utilizou-se uma pá (Mozeto, 2006) e as amostras foram acondicionadas frescas em sacos plásticos (Santos *et al.*, 2005). No laboratório, as amostras foram fracionadas em uma porção seca e outra úmida. Para o processo de secagem, as amostras foram dispostas em estufa de secagem (Artlab, modelo 315 SE) a 50 °C. Com a fração úmida, foram realizadas análises de umidade e toxicidade. O teste de toxicidade foi feito pelo método de alongamento das raízes (adaptado de Simões *et al.*, 2013). A análise da umidade (n = 3) foi realizada com o sedimento fresco, pelo método de secagem (a 105 °C) (adaptado de Scaramuzza *et al.*, 2003).

A fração seca do sedimento foi utilizada para as análises de granulometria, densidade, pH e teor de matéria orgânica (MO). A análise de granulometria foi realizada por peneiramento, baseando-se nas normas técnicas L6.160 da CETESB (1995) e NBR NM-ISO 565 (ABNT, 1997), e foi estimada a porcentagem de grãos de cada intervalo que compõe o sedimento (adaptado de CETESB, 1995). Após a análise granulométrica, foram definidas faixas (< 25 a 471 µm; 500 µm a 1,18 mm e 1,19 a 2,36 mm) a fim de classificar o sedimento de acordo com a granulometria, adaptadas da NBR 6502/95. A densidade do sedimento foi determinada baseada na metodologia de Lima *et al.* (2008). A determinação do pH foi realizada de acordo com a técnica adaptada de Gastalho *et al.* (2009), utilizando-se o pHmetro da marca Qualxtron, modelo 8010. A análise do teor de MO foi feita pelo método de calcinação, baseada no método descrito por Silva *et al.* (1999). A análise de metais foi realizada pelo método de digestão ácida com água régia, de acordo com a norma técnica L5.600 (CETESB, 1994).

Os mapas do uso e ocupação no entorno das nascentes (NM e NE) com um *buffer* de 100 m foram elaborados com o auxílio de imagens de alta definição DigitalGlobe, resolução de 50 cm. O teste estatís-

tico t de *Student* foi aplicado aos valores das variáveis limnológicas determinadas nos dois períodos de coleta (estiagem e chuvas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As nascentes podem se originar do afloramento de um lençol freático formando um curso d'água (SEMA, 2009). A legislação brasileira protege as nascentes através da lei 12.651/12 (Brasil, 2012), que define áreas de preservação permanente “nas nascentes (...), num raio mínimo de cinquenta metros de largura”. O estudo e análise dos sedimentos das nascentes são importantes para diagnosticar os fenômenos causados pelas práticas antrópicas, além de manter dados históricos (i.e. variação temporal) sobre a situação dos corpos hídricos visando à manutenção da qualidade ambiental. As figuras 1 e 2 mostram os mapas do uso e ocupação no entorno das nascentes (NM e NE). Pela análise dos mapas, a NM encontrou-se cercada por cultivo de cana-de-açúcar e outros usos antrópicos, como pastagem e a ocupação humana encontram-se mais distantes, tornando o uso agrícola o principal impacto direto nesta nascente. Tal diagnóstico reforça a necessidade de seu monitoramento, bem como de intervenções para minimização dos impactos sofridos e otimização do uso e ocupação do entorno. Já na NE, se observou uma das principais formações vegetais presentes na bacia: a floresta estacional semidecidual aluvial (vegetação natural), característica de matas ciliares.

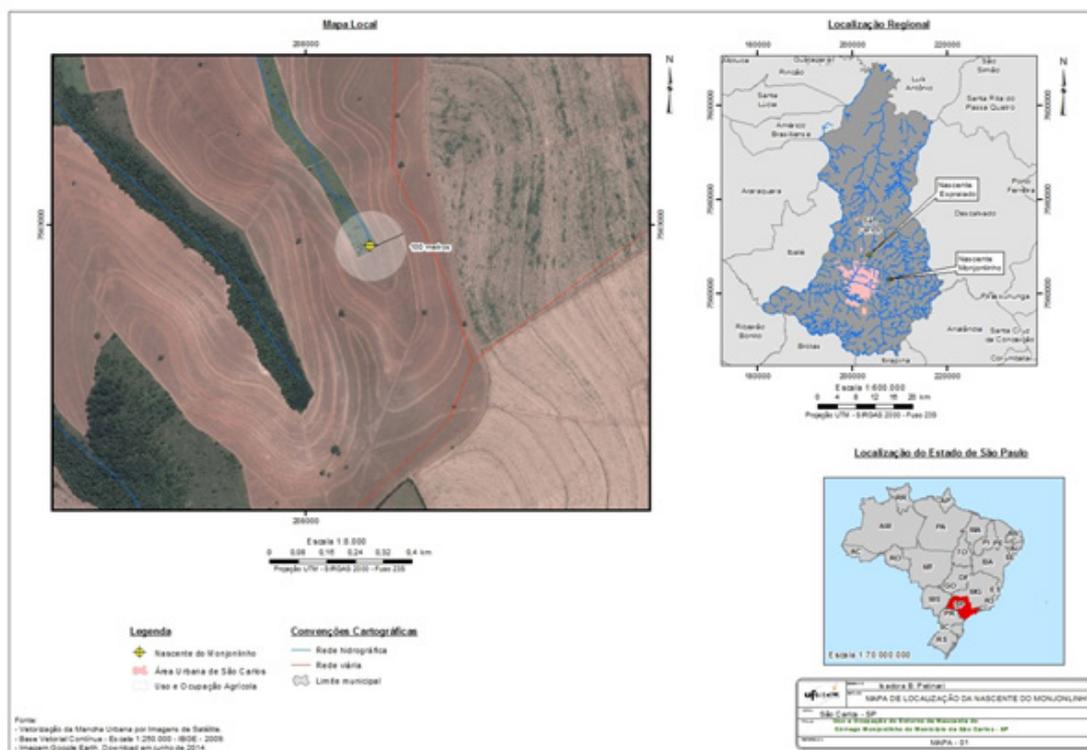


Figura 1. Mapa de uso e ocupação do entorno (100 m) da NM.

Com relação ao diagnóstico do entorno das nascentes, na NE percebeu-se que a área de preservação permanente é respeitada, o que não ocorre na NM. Na NE o raio de vegetação natural é de aproximadamente 30-50 m, enquanto na NM a margem esquerda não apresenta vegetação natural e a margem direita apresenta aproximadamente 12 m de vegetação natural nos pontos mais preservados. Quanto ao uso e ocupação na NE, o entorno é formado exclusivamente de vegetação natural, enquanto que na NM

observaram-se os seguintes usos: vegetação natural (remanescente de cerrado), urbanização residencial no raio de 1 km, pecuária com a presença de sulcos erosivos na região de pastagem e atividades agrícolas (horticultura e cana-de-açúcar). Nesse contexto, a NE foi classificada como *preservada*, ou seja, > 90% de vegetação natural, sem alterações observadas, enquanto a NM foi classificada como *muito alterada*, i.e., < 50% de vegetação natural, com presença de alterações intensas, sendo elas urbanização, ausência de vegetação e pecuária intensa (Andrade-Pinto *et al.*, 2004).

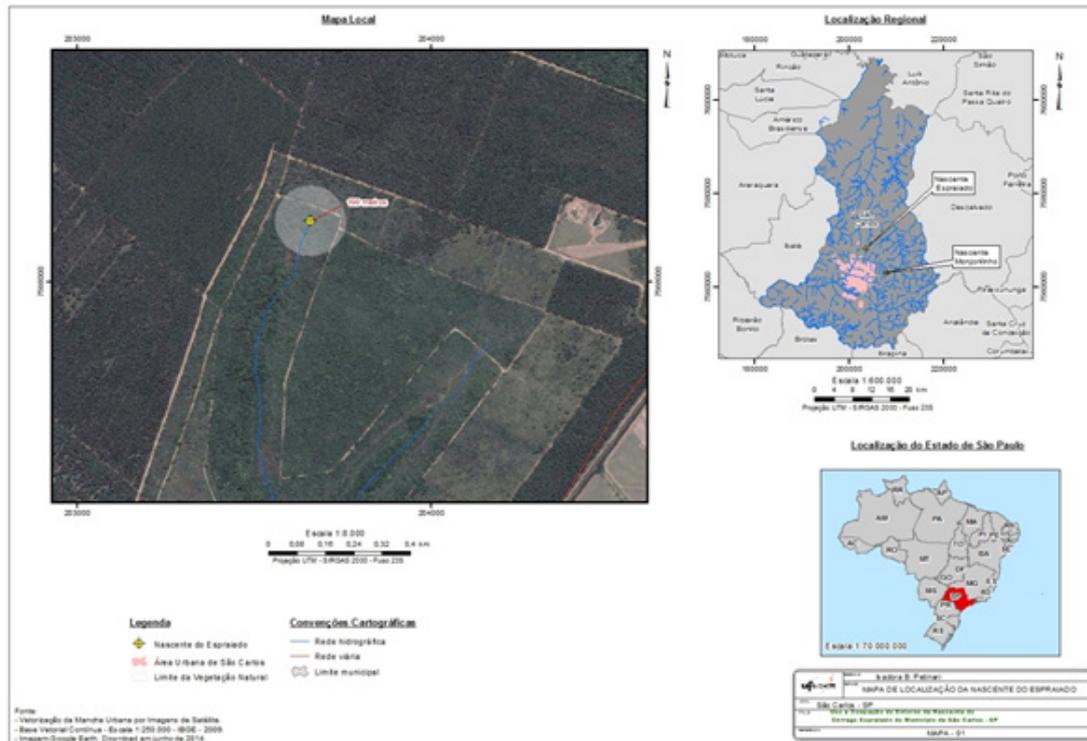


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do entorno (100 m) da NE.

Vale ressaltar que a NE foi caracterizada como *natural*, enquanto vários pontos do rio Monjolinho foram classificados como *alterados* ou *impactados* no protocolo de avaliação rápida da qualidade ambiental aplicado por Souza (2011).

Na figura 3, observam-se os resultados das análises de toxicidade da água intersticial mensuradas pelo comprimento das raízes de alface na NM e na NE, assim como as do controle. Independentemente da época (seca ou cheia) em que foi amostrado e da nascente, o crescimento das raízes do controle sempre foi maior que o crescimento das raízes da água intersticial do sedimento. O controle também exibiu menores desvios padrão, indicando a pouca oscilação dos resultados frente aos com água intersticial.

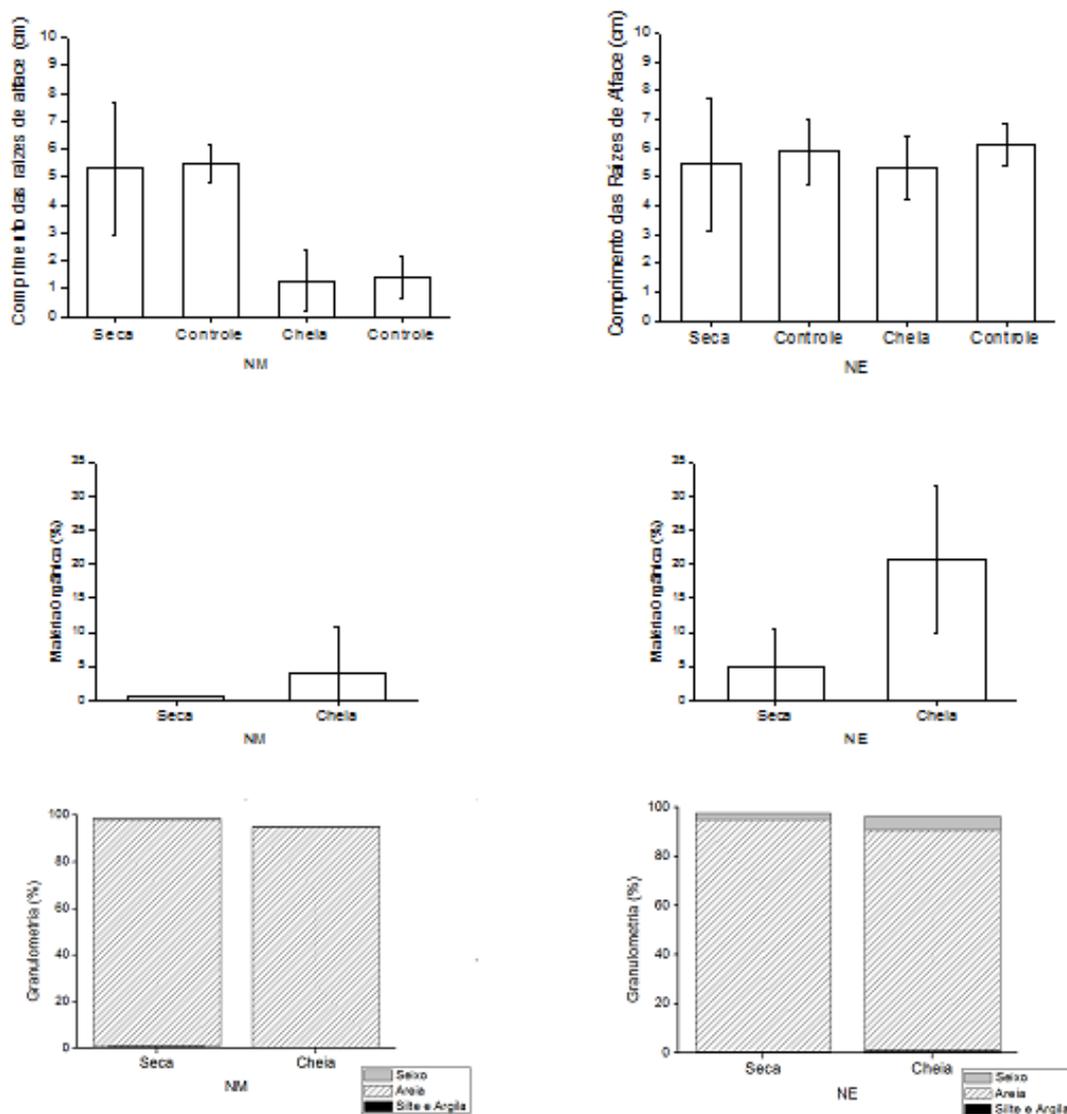


Figura 3. Comprimentos das raízes de alface (teste de toxicidade), teor de MO e granulometria das amostras de sedimentos das duas nascentes (NM e NE) nos dois períodos amostrais (seca e cheia).

Em ambas as nascentes e nos períodos amostrados, notou-se que o crescimento das raízes foi bastante próximo ao controle, apresentando variação média em NM e NE de 5,8% na seca e 11,5% na cheia. Notou-se que, na NM, os crescimentos das raízes foram maiores na seca ($5,3 \pm 2,4$ cm) do que na cheia ($1,3 \pm 1,1$ cm). Na NE, observou-se um cenário similar entre os períodos hidrológicos, apresentando pouca diferença entre os períodos do que os observados na NM para os dois períodos hidrológicos (seca: $5,4 \pm 2,3$ cm e cheia: $5,3 \pm 1,0$ cm).

Observou-se ainda que o desvio padrão na seca das águas intersticiais de ambas as nascentes foi elevado, indicando que o sedimento pode apresentar potencialmente maior toxicidade, já que os estressores (i.e. substâncias com potencial tóxico) podem estar mais concentrados, aumentando assim a dispersão dos resultados de toxicidade. No período da cheia, as águas intersticiais dos sedimentos da NM podem estar recebendo compostos xenobiontes (e.g. agrotóxicos) pelo incremento do escoamento superficial em épocas de elevadas precipitações, interferindo, assim, no crescimento das raízes.

A toxicidade pode ser avaliada através de diversas análises. Um estudo relativo à bacia do Mon-

jolinho utilizou o teste de sensibilidade de *Hyalella meinerti* (Amphipoda, Crustacea) para avaliação da toxicidade do sedimento (Souza, 2011). Os resultados encontrados também não comprovaram toxicidade significativa dos sedimentos da bacia em relação ao controle. No estudo realizado por Campagna (2005), que abrangeu maior número de pontos de coleta, os sedimentos analisados também apresentaram baixa ou nenhuma toxicidade, com resultados próximos ao controle nas análises de bioensaio de toxicidade crônica parcial.

A MO nos ecossistemas aquáticos é formada basicamente por restos de vegetais e animais decompostos. A MO do sedimento está diretamente relacionada às condições do entorno do corpo hídrico, pelo fato de que as substâncias presentes nas áreas adjacentes dos corpos hídricos, sejam naturais ou antropizadas, alcançam pelo escoamento superficial a coluna d'água e, por fim, os sedimentos.

A classificação dos sedimentos quanto ao teor de MO pode categorizá-los como orgânicos ou inorgânicos. Um sedimento considerado orgânico contém uma porção > 10% de MO em seu peso seco (Nauermann, 1930). Em base de carbono, sedimentos com teor de 12 a 18% são considerados orgânicos (Kolka e Thompson, 2006). Os teores de MO nas amostras de sedimentos foram, na seca, 0,60% na NM e 4,95% na NE e, na cheia, 3,99% na NM e 20,72% na NE (figura 3). Dessa forma, a NM apresentou um sedimento essencialmente inorgânico, enquanto a NE mostrou sedimentos orgânicos no período da cheia.

No entanto, notou-se que, em ambos os períodos hidrológicos, o teor de MO na NE sempre foi maior do que na NM. Além disso, observou-se que, para ambas as nascentes, o teor de MO sempre foi menor no período da seca quando os processos de escoamento superficial são menores. Os resultados encontrados para o período seco corroboraram com os encontrados por Souza (2011) em 16 pontos de coleta inseridos na bacia do Monjolinho. Entretanto, para o período chuvoso, os valores encontrados foram maiores do que aqueles descritos pela autora, assim como a mesma relação foi obtida por Campagna (2005), indicando a ocorrência de um maior aporte de nutrientes, principalmente na NE, para o período de cheia em 2012.

Em relação a NE, por esse ambiente apresentar seu entorno preservado, ou seja, presença de mata ciliar, esta nascente apresenta fontes expressivas de MO como folhas, galhos e serrapilheira. No período da cheia, o aumento do fluxo lateral à nascente carrega uma maior quantidade desse material para dentro, tornando seu sedimento essencialmente orgânico. Já no caso da NM, a MO que chega à nascente foi advinda principalmente dos processos erosivos do entorno, que são intensificados pela ausência de mata ciliar. Com os processos erosivos, os solos perdem parte de seus nutrientes e de sua matéria orgânica, contribuindo, assim, para um sedimento essencialmente inorgânico. Assim, a vegetação é crucial para a manutenção da qualidade das águas e estabilidade e porosidade dos solos, evitando erosão de terrenos e assoreamento de corpos d'água. Um dos pontos de captação de água no município de São Carlos está localizado no encontro do Rio Monjolinho com o Córrego Espraiado. Assim, este córrego apresenta grande parte de sua área localizada no Parque Ecológico, o que beneficia sua qualidade para abastecimento da cidade, além de mantê-lo em melhor estado de conservação do que o Rio Monjolinho. Também vale ressaltar que suas áreas de proteção permanente, ou seja, suas margens, estão em boa parte respeitadas, reforçando o quadro de conservação deste córrego (Dornfeld e Fonseca-Gessner, 2005).

A granulometria representa as diferentes dimensões das partículas que constituem o sedimento amostrado (Guerra e Guerra, 2006). A distribuição da granulometria se altera conforme o curso do corpo hídrico, de forma que regiões de nascente apresentam maior quantidade de seixo, ou seja, grãos maiores.

Já o curso médio geralmente apresenta granulometria essencialmente mediana e na foz encontram-se grãos mais finos (Leopold *et al.*, 1992). A análise da granulometria da amostra contribui para a identificação das características das partículas que compõem o sedimento, i.e., se apresenta características mais arenosas ou argilosas. Na figura 3, observam-se os resultados das análises granulométricas, em que foram definidas três faixas: seixo, areia e silte e argila. As análises revelaram que ambos os sedimentos são essencialmente arenosos, com mais de 50% de seus sedimentos compostos por partículas maiores que 0,06 mm e menores que 2,00 mm, assim como observado para a maior parte dos pontos de coleta da bacia do Monjolinho, uma vez que 10 pontos de um total de 16 apresentaram mais de 90% de areia em sua composição (Souza, 2011). Essa tendência também foi observada por Campagna (2005), onde 93,74% dos pontos amostrados na bacia tinham sua composição predominantemente arenosa, reforçando essa característica intrínseca ao ecossistema cerrado. Observou-se também que a NE apresentou maior quantidade de seixos do que a NM nos dois períodos. Os seixos possuem tamanho de partículas maiores que 2,00 mm, sendo característicos do curso alto de ambientes lóticos, como no caso de nascentes. Outro fator associado ao maior tamanho de partículas é que, na NE, por ser um sistema preservado, há menor aporte de sedimentos de fora do sistema, advindos da erosão, diferentemente do constatado para a NM.

O pH mede essencialmente a acidez e alcalinidade do sedimento, em que valores abaixo de 7 indicam um sedimento ácido e valores acima de 7 indicam um sedimento alcalino. No caso de solos que apresentam medidas de pH muito extremas, observa-se alta influência de sais, resultando em solos muito sulfatados, i.e., ácidos e muito carbonatados, i.e., alcalinos (Gastalho *et al.*, 2009). A Resolução nº 344/04 do CONAMA não define padrão aceitável para o pH dos sedimentos, mas a Resolução nº 357/05 define uma faixa aceitável de pH para a água quando este estiver entre 6 e 9. No caso das análises, observou-se que, no período da seca, a NM apresentou um pH médio de 5,05, enquanto que a NE apresentou média de 6,03. Já no período da cheia, a NM apresentou um pH médio de 5,26, e a NE 6,2 (Figura 4), indicando o caráter ácido dos solos na bacia hidrográfica do rio Monjolinho.

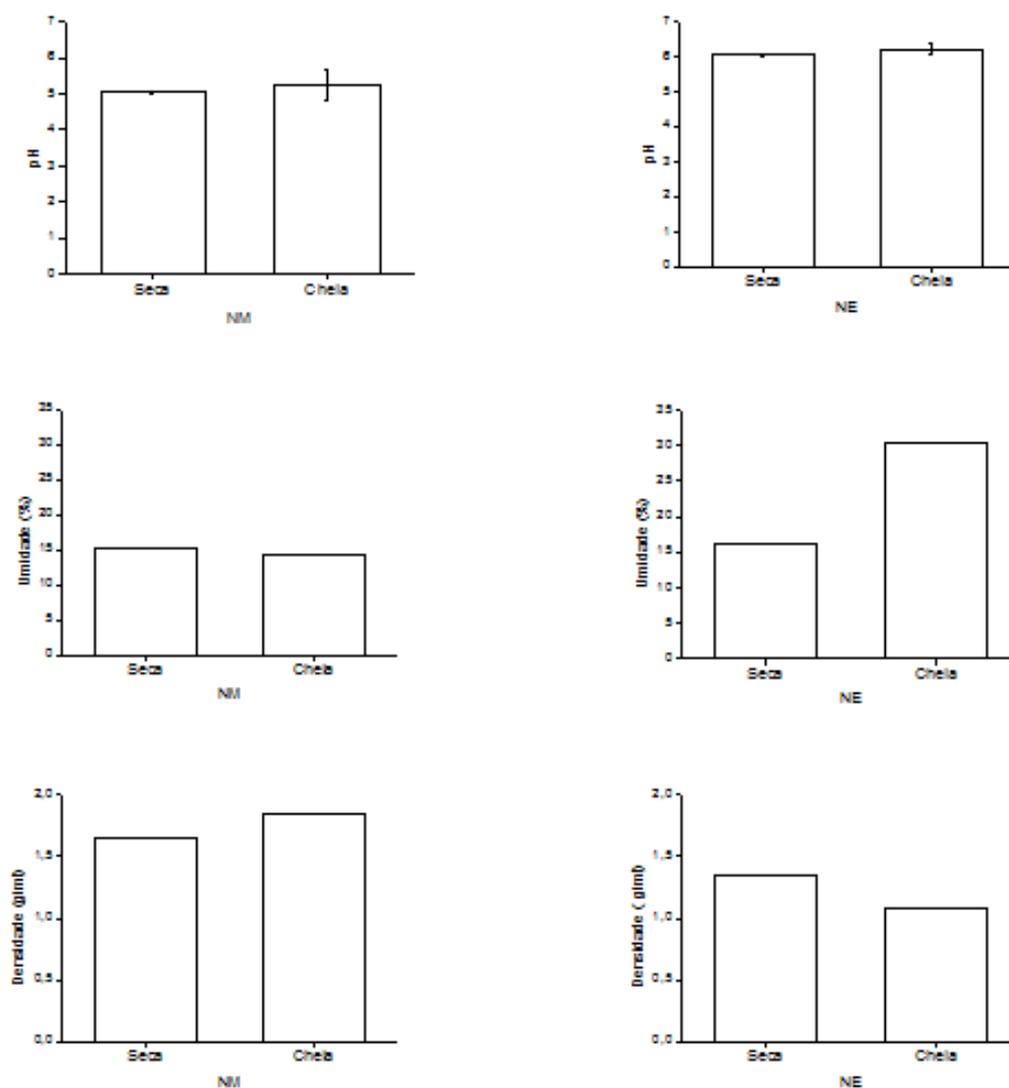


Figura 4. Valores de pH, umidade e densidade das amostras de sedimentos das duas nascentes (NM e NE) nos dois períodos amostrais (seca e cheia).

Dessa forma, pode-se notar que, apesar do Monjolinho apresentar pH fora dos parâmetros definidos pela legislação, este teor não pode ser considerado extremo, sendo essa característica extrínseca ao bioma em que as nascentes estão inseridas, já que os latossolos de cerrado são essencialmente ácidos variando de 4,0 e 5,5 (Sousa *et al.*, 2000). Os resultados relativos à NM foram similares àqueles encontrados por Ferreira (2012) na análise de três pontos do rio Monjolinho, sendo um deles a NM. Em ambos os casos, o pH esteve entre 5,0 e 6,5 em ambos os períodos hidrológicos, de forma que um padrão de pH levemente ácido foi observado. Esse fato relacionou-se ao bioma Cerrado, predominante na região que apresenta como característica a presença de solos com valores de pH ácido, os quais podem sofrer alterações de acordo com o uso e ocupação do solo existentes.

Resultados similares foram encontrados por Campagna (2005), em que essa variável apresentou valores na mesma faixa na maior parte das coletas, e com os valores menores encontrados no período da cheia. No caso da NE, os resultados levemente ácidos em ambos os períodos podem ser explicados pelo aporte de MO proveniente da mata ciliar (*e.g.* galhos e folhas pelo aumento do escoamento superficial), que, ao entrarem em decomposição, liberaram CO₂, que, em contato com a água, forma ácido carbônico, diminuindo o pH, justificando assim os valores de pH levemente menores no período da cheia para NE.

A umidade do solo representa sua fração líquida, composta principalmente por água, além de minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis como, por exemplo, o ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF). A fração líquida do sedimento preenche os vazios presentes entre as partículas sólidas em maior ou menor porcentagem, dependendo de quanto hidratado é o sedimento analisado. Esta água é repostada principalmente por chuvas, já que a água presente nos sedimentos vai aos poucos infiltrando em camadas mais profundas do mesmo (Embrapa, 1997). Os resultados encontrados para a umidade (Figura 4) foram, para o período de seca, 15,36% NM e 16,07% NE e, no período de cheia, 14,34% NM e 30,40% NE.

A densidade do sedimento está diretamente relacionada à maior ou menor existência de poros, de modo que, quanto mais poros existam no sedimento, menor será sua densidade e vice-versa. No sedimento, a densidade está relacionada com o grau de assoreamento do corpo hídrico. A densidade indica o quanto compactado é o sedimento, ou seja, a quantidade de vazios presentes no mesmo. Dessa forma, com o aumento da densidade, ocorre diminuição no volume de poros e vice-versa (Lima *et al.*, 2008). Assim, quanto menos denso o sedimento, maior é a quantidade de vazios onde a água pode penetrar, fazendo com que o sedimento seja mais úmido. Os valores encontrados de densidade para a seca foram 1,64 g/mL para a NM e 1,35 g/mL para a NE. Já na cheia, esses valores foram, respectivamente, 1,84 g/mL e 1,08 g/mL (Figura 4).

Os resultados de granulometria (Figura 3), densidade e umidade (Figura 4) evidenciam que a NM apresenta grãos menores e, conseqüentemente, menos espaços entre eles, tanto na seca como na cheia, gerando menor umidade em relação à NE. Esse fato relacionou-se com a presença de processos erosivos e com o escoamento superficial que faz com que a nascente se assoreie. Esse evento se acentua na estação chuvosa, quando a erosão é intensificada, fazendo com que o sedimento fique mais compactado e, conseqüentemente, menos úmido. Já a NE apresenta maior umidade no período da cheia e menor densidade do sedimento, comportamento esperado para uma nascente. Tais resultados corroboram com as explicações da variável MO pelo fato de que a principal fonte de carbono orgânico na NE é advinda da decomposição da mata ciliar. No período de cheia, há um aporte maior de material em decomposição na nascente, que é aduzido no sistema pelo escoamento superficial. Já na NM, como a mata ciliar não está preservada, o que ocorre é que a fonte de carbono principal passa a ser dos insumos provenientes dos usos do solo no entorno, como por exemplo, húmus. Como uma das principais atividades nessa nascente é a pecuária, observou-se que esse uso do solo desacelera o aporte de carbono na NM, recebendo, assim, preferencialmente, material proveniente dos processos erosivos, principalmente por erosão hídrica e eólica. De fato, os usos e as ocupações dos solos da sub-bacia do rio Monjolinho são categorizados predominantemente como cultivo da cana-de-açúcar, pastagens e área urbana. Somente 26,3% da vegetação natural permanecem preservadas, sendo 17,5% de fragmentos naturais e 8,8% de fragmentos de vegetação secundária e em 73,7% predominam usos antrópicos (Espíndola *et al.*, 2000).

Os metais são elementos encontrados nos sedimentos que não se degradam, o que pode ocasionar os fenômenos de bioacumulação, ou seja, uma acumulação nos organismos ou nos compartimentos do ecossistema (Baird, 2002). Os metais que se dissociam na água atingem rapidamente o sedimento, podendo ser adsorvidos na matéria particulada. Assim, os sedimentos apresentam um papel importante como reservatório de metais em ambientes aquáticos. Os metais ficam retidos no sedimento e podem ser disponibilizados para a coluna d'água (Förstner e Wittmann, 1983) em decorrência de mudança nas condições ambientais do meio. Os valores máximos aceitos para a concentração de metais, ou seja, valores utilizados para classificar um material como contaminado, diferem a cada país, de acordo com Faithfull (2002), não existindo um padrão.

Como a NM está inserida numa área de monocultura de cana-de-açúcar, esta análise se torna extremamente pertinente para o diagnóstico ambiental da nascente. Na tabela 1, encontram-se as concentrações

médias dos metais na NM e NE para ambos os períodos. Tais concentrações foram comparadas com os valores máximos permitidos presentes na legislação 420/09 e 344/04 do CONAMA e 195/05 da CETESB. Vale ressaltar que as legislações CONAMA 420/09 e CETESB 195/05 são equivalentes, uma vez que a CONAMA é uma adaptação da decisão da CETESB. Na Resolução CONAMA 344/04, específica para sedimentos, são definidos dois níveis para as concentrações de metais: Nível 1, *limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota* e Nível 2, *limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota*.

Tabela 1. Concentração de metais (mg kg^{-1}) nos sedimentos nas duas nascentes e nos dois períodos hidrológicos.

Local/Metais		Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mg	Cu	Cr
Monjolinho	Seca	14,8	30,0	5,7	16,5	793,0	33,8	9,8	30,8
	Cheia	14,5	36,0	7,3	17,8	6.768,0	29,5	4,5	12,6
Espiraído	Seca	7,6	26,0	5,5	11,7	351,6	16,4	0,6	10,7
	Cheia	17,3	32,0	8,1	21,0	11.554,0	34,1	3,3	19,0

A principal fonte antrópica de metais são as impurezas de fertilizantes e agrotóxicos utilizados na agricultura, sendo o Mn, Zn, Co e Pb os mais usualmente encontrados (Gimeno-García *et al.*, 1996). Muitos agrotóxicos também possuem metais pesados em suas formulações, podendo atingir os corpos hídricos através da lixiviação. As características geológicas e pedológicas de uma área também representam fontes de metais. Embora a legislação não especifique os limites máximos para as concentrações de Fe, elevadas concentrações deste elemento foram encontradas em ambas as nascentes na estação de cheia, o que pode ser explicado pelo bioma cerrado na bacia hidrográfica do rio Monjolinho possuir latossolos que são naturalmente ricos neste elemento (Sousa *et al.*, 2000). Com relação a outros metais, observa-se que, para a NE, o período de cheia sempre apresentou maiores concentrações do que na seca, enquanto na NM isso não foi observado para os metais Zn, Mg, Cu e Cr. Esse desequilíbrio é explicado pela falta de mata ciliar e pelo fato de a nascente não estar preservada, de modo que a erosão é elevada nessa nascente, o que pode contribuir para que, no período da cheia, haja maior aporte de solo na nascente, diluindo as concentrações de metais. Ressalta-se o importante papel da presença de MO em um sistema, uma vez que esta tem a capacidade de mobilizar os metais nos ecossistemas (Neagoe *et al.*, 2012).

As concentrações de Cd estiveram acima dos padrões estabelecidos pelas legislações nas quatro análises, estando acima do Nível 2 (CONAMA 344/04) e acima do valor de investigação para usos agrícolas de acordo com as outras duas legislações (CONAMA 420/09 e CETESB 195/05). Com relação ao Pb, observou-se que a NM, no período da cheia, apresentou valor acima do Nível 1 (CONAMA 344/04), estando, porém, abaixo do Nível 2. Nas demais coletas, as concentrações estiveram dentro dos valores de prevenção e do Nível 1.

Quanto ao Ni, observou-se que sua concentração na NE, no período da cheia, esteve um pouco acima dos valores de referência, porém, não dos valores de prevenção, estando abaixo do valor estabelecido para o Nível 2 (CONAMA 344/04). Com relação aos outros metais (Zn, Mg, Cu e Cr) as concentrações encontradas estiveram sempre abaixo dos padrões estabelecidos pelas legislações analisadas. O estudo de Campagna (2005) abrangeu a análise de Zn, Cd, Fe, Mn, Cu e Cr. No entanto, vale ressaltar que a análise

desses metais foi realizada na água e não no sedimento. Dessa forma, para todos os metais analisados, os valores foram menores do que os encontrados nas análises feitas nas nascentes NM e NE, já que é no sedimento que se encontra a maior parte das concentrações de metais do corpo hídrico. No geral, as maiores concentrações encontradas para a água foram menores que as encontradas para o sedimento. No caso do Fe, foi observado que houve um acréscimo do metal no eixo longitudinal do rio, ou seja, da nascente em direção à confluência (Campagna, 2005), o que pode ser explicado pelo fato do solo da região ser rico em ferro, e que esse metal vai sendo liberado nas águas pela correnteza, aumentando gradualmente sua concentração.

A tabela 2 mostra os valores do teste estatístico para as diferentes análises dos sedimentos em função do período de cheia e de seca. Observou-se que, na NE, apenas três atributos (pH, granulometria e toxicidade) do sedimento não mostraram diferenças entre a estação seca e chuvosa. Ao analisarmos os resultados da NM, as variáveis que não mostraram diferença em função da época de coleta foram matéria orgânica, umidade e concentração de Zn. Esses resultados corroboram com a hipótese desse estudo de que existem diferenças nas características físicas e químicas dos sedimentos de ambas as nascentes em função da disponibilidade de água na sub-bacia, sobretudo quando se comparam as concentrações de metais.

Tabela 2. Valores de obtidos da comparação das médias das variáveis limnológicas no período de seca e de cheia para a NE e NM (S* = extremamente significante, S = significante e NS = não significante).

Variáveis	NE	NM
Umidade	42,3741 (S*)	1,8275 (NS)
Densidade	39,3981 (S*)	8,8469 (S*)
Matéria orgânica	31,2115 (S*)	1,4622 (NS)
pH	0,7574 (NS)	9,2881 (S*)
Granulometria	0,7162 (NS)	27,0244 (S*)
Toxicidade	0,3820 (NS)	4,5729 (S)
Zinco	6,1697 (S)	0,9853 (NS)
Níquel	17,5848 (S*)	7,4622 (S)
Ferro	1023,3455 (S*)	10629,6801 (S*)
Cádmio	31,8434 (S*)	26,7895 (S*)
Chumbo	8,5000 (S)	8,9099 (S)
Cobre	42,4264 (S*)	102,8063 (S*)
Cromo	49,7494 (S*)	15,3000 (S)
Manganês	144,3211 (S*)	52,6640 (S*)

Por sua localização-chave, o rio Monjolinho pode ser visto como corpo central de diversos impactos antrópicos que alteram a paisagem pela utilização da área de sua sub-bacia (Dornelles, 2006). A ocupação do município de São Carlos aconteceu de maneira desordenada e sem planejamento apropriado. Dessa forma, a área situada na margem esquerda do rio Monjolinho sofreu intensa urbanização. Já na margem direita, observou-se uma relativa conservação. Os ecossistemas podem ser categorizados pelas funções de força, i.e., variáveis que influenciam no seu funcionamento e sua estrutura (Classes I a IV), que identificam suas propriedades ecológicas (Jorgensen, 2009). Por essa classificação, a NM pode ser classificada como Classe I, i.e., quase que completamente gerenciada pelo Homem, e a NE se enquadra na Classe IV, que é direcionada quase que exclusivamente por forças naturais.

A Agência Nacional das Águas (ANA) define a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97). Esta gestão deve ocorrer de maneira descentralizada, contando com a comunidade, o governo e usuários dos recursos. Um dos instrumentos da política é o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que consiste basicamente em um banco de dados com diagnósticos sempre atualizados acerca dos recursos hídricos, servindo de subsídio para a gestão das bacias hidrográficas (ANA, 1997). Assim, a análise e o diagnóstico de corpos hídricos apresentam-se como uma ferramenta fundamental na gestão de bacias hidrográficas, de forma que o diagnóstico dos corpos se apresenta como etapa inicial para uma gestão embasada e adequada, seguida da elaboração de programas e projetos que tenham como finalidade a sustentabilidade no uso desses recursos.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo revelaram a importância das análises de sedimento para a avaliação preliminar da qualidade ambiental de uma região específica, no caso, o entorno de duas nascentes. A análise dos dados permitiu confirmar uma melhor qualidade de um corpo hídrico preservado (NE), com destaque para o papel essencial da cobertura vegetal (mata ciliar) na qualidade ambiental. Nesse contexto, as seguintes variáveis indicaram uma condição mais preservada de seu meio abiótico: teor elevado de matéria orgânica dos sedimentos nos dois períodos de coleta (seca 4,95% e cheia 20,72%), pH ácido (média 6,03), que é característico de regiões de cerrado. A comparação dos resultados de granulometria, densidade e umidade evidenciaram que a NM apresentou grãos menores e, conseqüentemente, menos espaços entre eles, tanto na seca como na cheia, gerando menor umidade em relação a NE. Em relação aos metais, o Fe sempre apresentou teores elevados, independentemente do período de coleta (média de 3780,5 mg kg⁻¹ na NM e de 5947,8 mg kg⁻¹ na NE), característica associada ao bioma cerrado, que possui latossolos que são naturalmente ricos neste elemento.

Porém, é necessário observar que os diagnósticos vão muito além dos propósitos deste estudo que contemplou apenas uma caracterização exploratória. Ressalta-se que o monitoramento das características físicas e químicas dos sedimentos faz-se essencial para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos, principalmente da bacia hidrográfica do rio Monjolinho, já que a mancha urbana de São Carlos encontra-se quase em sua totalidade nessa bacia, implicando na presença de grandes alterações na composição vegetal original, restando poucos remanescentes da paisagem natural, tanto nas margens dos corpos d'água como em regiões de nascente, ambas consideradas áreas de proteção permanente pelo Código Florestal. Assim, os resultados desse estudo, embora preliminares, podem ser utilizados posteriormente com a finalidade de elaborar projetos descentralizados de melhoramento do uso e ocupação da NM e preservação da NE, sendo elaborados em parceria com a comunidade científica, o poder público e toda a sociedade do município de São Carlos, gerando resultados positivos de conservação ambiental, economia aos cofres públicos e garantia de saúde e qualidade de vida para a população, contemplando os três pilares da sustentabilidade e contribuindo, dessa forma, para uma cidade e para um ambiente mais integrado e sustentável. Vale ressaltar, no entanto, que os resultados encontrados neste estudo apenas sugerem a qualidade indicada nas discussões, sendo necessário o desenvolvimento de um plano de monitoramento limnológico contínuo para a coleta de dados que poderá ser utilizado na efetivação de um diagnóstico preciso.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a concessão da bolsa de iniciação científica PIBIC – UFSCar (CNPq, processo nº 128022/2012-4) e à FAPESP (Processo nº 2010/15728-1), pelo auxílio concedido para a realização desse estudo. Também agradecemos à Isadora Bagnariolli Petinari, pela ajuda na elaboração dos mapas.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1997. **NBR NM-ISO 565**. Peneiras de ensaio – Tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lâmina eletroformada – Tamanhos nominais de abertura. Rio de Janeiro: ABNT, 7p.

ANA, Agência Nacional das Águas. 1997. Lei N. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-norma-pl.html>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

ANDRADE-PINTO, L. V. *et al.* 2004. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, M.G. **Scientia Forestalis**, **65**:197-206.

BAIRD, C. 2002. **Química Ambiental**. São Paulo: Bookman, 622p.

BRASIL. 2012. Código Florestal. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.ipef.br/pcsn/legislacao.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CAMPAGNA, A. F. 2005. **Toxicidade dos sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho (São Carlos-SP): ênfase nas substâncias cobre, aldrin e heptacloro**. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Universidade de São Paulo - USP, 268p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Decisão de Diretoria N. 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. São Paulo, 4p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/108-legislacao---estadual>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. 1994. Norma Técnica L5600. Sólidos: determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica - método da digestão ácida com água régia - método de ensaio. São Paulo, 3p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. 1995. Norma Técnica L6160. Sedimentos: determinação da distribuição granulométrica – método de ensaio. São Paulo, 15p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2004. Resolução 344. 25 mar. 2004. Brasília, 9p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. 2005. Resolução 357. 17 mar 2005. Brasília, 27p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. 2009. Resolução 420. 28 dez 2009. Brasília, 16p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

- DORNELLES, C. T. A. 2006. **Percepção ambiental: uma análise na bacia hidrográfica do rio Monjolinho, São Carlos, SP.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) -Escola de Engenharia de São Carlos – EESC USP, São Carlos – SP, 176p.
- DORNFELD, C. B.; FONSECA-GESSNER, A. A. 2005. Fauna de Chironomidae (Diptera) associada à *Salvinia* sp. e *Myriophyllum* sp. num reservatório do córrego do Espraiado, São Carlos, São Paulo, Brasil. **Entomologia y Vectores**, 12(2):181-192.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Condições Meteorológicas, Estação da Embrapa Pecuária Sudeste. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>>. Acesso em: 10 abr. 2012.
- _____, Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p.
- ESPÍNDOLA, E. L. G. *et al.* 2000. **Bacia hidrográfica do rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar.** São Carlos: RIMA, 187p.
- FAITHFULL, N. T. 2002. **Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook.** Wallingford: CABI Publishing, 289p.
- FERREIRA, C. S. 2012. **Monitoramento da qualidade da água do rio Monjolinho: a Limnologia como uma ferramenta para a gestão ambiental.** Monografia - Universidade Federal de São Carlos, 34p.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. 1983. **Metal pollution in the aquatic environment.** Berlin: Springer Verlag, 486p.
- GASTALHO, C.; BARREIROS, I.; RIBEIRO, V. 2009. **Determinação do pH e acidez de uma amostra de solo.** Universidade de Coimbra. Licenciatura em Ciências Bioanalíticas, Hidrologia e Edafologia, 13p.
- GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; BOLUDA, R. 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. **Environmental Pollution**, 92(1):19-25.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. 2006. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 652p.
- IAP, Instituto Agrônômico do Paraná. 1996. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras.** Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 28p.
- JORGENSEN, S. E. 2009. Overview of ecosystem types, their forcing function, and most important properties. In: S. E. Jorgensen (Ed.). **Ecosystem Ecology.** Amsterdam: Academic Press, p. 140-141.
- KOLKA, R. J.; THOMPSON, J. A. 2006. Wetlands geomorphology, soils, and formative processes. In: D. Bratzer; R. R. Sharitz (Eds.). **Ecology of freshwater and estuarine wetlands.** Berkley: University of California Press, p. 7-42.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. MILLER, J. P. 1992. **Fluvial processes in geomorphology.** New York: Dover publications, 522p.
- LIMA, R. P. *et al.* 2008. Resistência à penetração e densidade do solo como indicativos de compactação do solo em área de cultivo da cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.falker.com.br/artigos/CBCS_UFPB_RP_CompactacaoCana-de-Acucar.pdf> Acesso em: 06 out. 2013.

- LORANDI, R. *et al.* 2001. Carta potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, **53**:111-117.
- MOZETO, A. A. 2006. Coleta de sedimentos de ambientes aquáticos continentais, extração de águas intersticiais e determinação granulométrica. In: A. A. Mozeto; G. A. Umbuzeiro; W. F. Jardim (Eds.). **Métodos de análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce**. São Carlos: Editora Cubo, 221p.
- NAUMANN, E. **Einführung im die Bodenkunde der Seen**. 1930. Stuttgart E. Schweizerbart'sche: Verlagsbuchhandlung, 126p.
- NEAGOE, A.; IORDACHE, V.; FĂRCĂȘANU, I. C. 2012. The role of organic matter in the mobility of metals in contaminated catchments. In: E. Kothe; A. Varma (Eds.). **Bio-Geo interactions in metal-contaminated soils**. Heidelberg: Springer, p. 297-325.
- PAESE, A. 1997. **Caracterização e análise ambiental do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 93p.
- ROSSI, L. A. L. 2010. **Colonização de detritos de *Talauma ovata* e *Saccharum officinarum* em córrego de baixa ordem: a estrutura faunística de macroinvertebrados ao longo do processo de decomposição**. Monografia - Universidade Federal de São Carlos, 50p.
- SANTOS, R. D. *et al.* 2005. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 100p.
- SCARAMUZZA, J. F.; COUTO, E. G.; MARASCHIN, L. 2003. **Física do solo: manual de aulas práticas**. Cuiabá: FAMEV/UFMT, 58p.
- SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 2009. **Cadernos da mata ciliar: preservação e recuperação das nascentes de água e vida**. São Paulo: SEMA, 35p.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; JUNIOR, J. S. A. 1999. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista Universidade de Alfenas**, **5**:21-26.
- SIMÕES, M. S. *et al.* 2013. Padronização de bioensaios para detecção de compostos alelopáticos e tóxicos ambientais utilizando alface. **Biotemas**, **26**(3):29-36.
- SOUSA, P. A. P., SANTOS, M. B.; PALHARES, J. C. 2000. Pedologia. In: E. L. G. Espíndola; J. S. V. Silva; C. E. Marinelli; M. M. Abdon (Eds.). **A bacia hidrográfica do rio Monjolinho – uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Carlos: RIMA, p. 49-59.
- SOUZA, A. B. 2011. **Avaliação da qualidade ambiental nas nascentes do rio monjolinho na porção à montante da estação de captação de água do Espriado, São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, 182p.
- TUNDISI, J. G. *et al.* 2008. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos Avançados**, **22**(63):159-172.