

**Avaliação do índice de vegetação e da concentração de metais em sedimentos na
Microbacia Tarumã, Mato Grosso do Sul, Brasil**

**Evaluation of the vegetation index and the concentration of metals in sediments in the
Tarumã Microbasin, Mato Grosso do Sul, Brazil**

**Evaluación del índice de vegetación y la concentración de metales en sedimentos en la
microcuenca Tarumã-Mato Grosso do Sul, Brasil**

Recebido: 24/05/2020 | Revisado: 24/05/2020 | Aceito: 29/05/2020 | Publicado: 15/06/2020

Lucilene Finoto Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6654-0355>

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: lucilenefinoto@hotmail.com

Luiza Flavia Veiga Francisco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0211-6659>

Centro de Pesquisa em Oncologia Molecular, Hospital de Câncer de Barretos, Brasil

E-mail: luizaveiga10@hotmail.com

Claudia Andrea Lima Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4907-0056>

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: claudiacardosouems1@gmail.com

Julio César Jut Solórzano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9217-7836>

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: julio.jut@gmail.com

Sidnei Eduardo Lima-Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7906-9737>

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: selimajunior@hotmail.com

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar parâmetros físico-químicos quantitativos da água proveniente de córregos na microbacia Tarumã (MS, Brasil), quantificar metais (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn e Ni) nos sedimentos de fundo desses córregos e avaliar quali-quantitativamente o índice de vegetação de diferença normalizado dos locais (NDVI) por meio de imagens de satélite. Os valores de turbidez e condutividade elétrica da água estavam mais altos nos pontos mais próximos da região urbana. Na análise do NDVI, os pontos P1, P2 e P4 apresentaram a vegetação ciliar local reduzida, classificada em baixo ou muito baixo. Nos locais P3, P5 e P6 constatamos maiores proporções de vegetação em níveis moderado e baixo. Em relação aos metais nos sedimentos, todos os pontos amostrados apresentaram concentrações de metais abaixo dos limites estabelecidos pela legislação vigente. O baixo índice de cobertura vegetal em torno dos córregos na Microbacia Tarumã, principalmente nos locais de nascentes, pode comprometer o equilíbrio desse sistema.

Palavras-chave: Ambientes aquáticos; Cobertura vegetal; Qualidade ambiental; Contaminantes.

Abstract

The aim of the study was to evaluate quantitative physical-chemical parameters of water from streams in the Tarumã microbasin (MS, Brazil), to quantify metals (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn and Ni) in the bottom sediments of these streams and to evaluate quali-quantitatively the vegetation index of normalized difference of locations (NDVI) by means of satellite images. Water turbidity and electrical conductivity values were highest at the nearest points in the urban region. In the NDVI analysis, sites P1, P2 and P4 presented reduced local ciliary vegetation, classified as low or very low. At sites P3, P5 and P6 we found higher proportions of vegetation at moderate and low levels. Regarding metals in sediments, all sampled sites presented metal concentrations below the limits established by current legislation. The low rate of vegetation cover around streams in the Tarumã microbasin, especially in spring sites, may compromise the equilibrium of this system.

Keywords: Aquatic environments; Vegetal cover; Environmental quality; Contaminants.

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar los parámetros cuantitativos físico-químicos del agua en corrientes en la microcuenca Tarumã (MS, Brasil), cuantificar metales (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn

y Ni) en los sedimentos del fondo de estas corrientes y evaluar cualitativamente y cuantitativamente el índice de vegetación de la diferencia normalizada de ubicaciones (NDVI) mediante imágenes satelitales. Los valores de turbidez y conductividad eléctrica del agua fueron más altos en los puntos más cercanos a la región urbana. En el análisis NDVI, los puntos P1, P2 y P4 mostraron una vegetación ribereña local reducida, clasificada como baja o muy baja. En los lugares P3, P5 y P6 encontramos mayores proporciones de vegetación a niveles moderados y bajos. Con respecto a los metales en los sedimentos, todos los puntos muestreados tenían concentraciones de metales por debajo de los límites establecidos por la legislación vigente. La baja tasa de cobertura vegetal alrededor de los arroyos en la microcuenca Tarumã, especialmente en los manantiales, puede comprometer el equilibrio de este sistema.

Palabras clave: Ambientes acuáticos; Cobertura vegetal; Calidad ambiental; Contaminantes.

1. Introdução

Os recursos naturais estão constantemente expostos a diversas fontes de contaminações, provenientes principalmente de atividades antrópicas. Uma das principais mudanças no ambiente natural é o uso da terra, de maneira não planejada com o avanço da fronteira agrícola, ocasionando a redução da cobertura vegetal em torno dos ambientes aquáticos (De Jonge et al., 2015; Simonato et al., 2016). Neste sentido, a substituição da vegetação ciliar por áreas agrícolas e de pastagens pode comprometer a integridade ambiental, causando a perda da qualidade da água e os mais variados efeitos negativos no equilíbrio e funcionamento do ecossistema aquático (Cherubin et al., 2016). A manutenção da vegetação ciliar é de grande importância, pois tem a função de reter os contaminantes, evitando o carreamento destes para os sistemas aquáticos (Ruiz de Arcaute et al., 2016).

Neste contexto, há necessidade de monitorar a situação dos ambientes aquáticos e observar o nível de estresse com a utilização de métodos de sensoriamento remoto. Para estimar a proporção de fragmentos florestais em torno dos rios e córregos, por exemplo, um dos métodos utilizados é a estimativa do Índice de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI), que detalha as condições ambientais no entorno dos sistemas aquáticos, indicando se há vegetação verde viva ou não nessas áreas (Gao et al., 2017).

A interpretação desse índice parte do princípio de que quanto maior a proporção da cobertura vegetal local em torno dos corpos hídricos melhor é a qualidade ambiental e as condições ecológicas na vida dos organismos aquáticos, pois a vegetação ciliar é um elemento

essencial, responsável por uma série de funções, como a manutenção dos corpos hídricos e a produtividade de alimentos para a biota aquática (Viana et al., 2013; Brothers et al., 2013).

Outra forma de avaliar a qualidade ambiental é por meio da análise das concentrações de metais que decantam e se acumulam nos sedimentos, pois esses metais contribuem para a deterioração da qualidade da água e da biota aquática (Melo Gurgel et al., 2016). Uma vez que o sedimento fornece nutrientes e *habitat* para uma grande variedade de organismos bentônicos, a análise desse material torna-se relevante para a compreensão da relação entre o ambiente e a biota aquática (Peluso et al., 2013).

Os rios e córregos da bacia do Alto Rio Paraná vêm sendo afetados nas últimas décadas devido à alta densidade populacional da região e à expansão de atividades industriais e de fronteiras agrícolas, acarretando o escoamento de resíduos urbanos, industriais e agrícolas para os corpos hídricos (Viana et al., 2017; 2018).

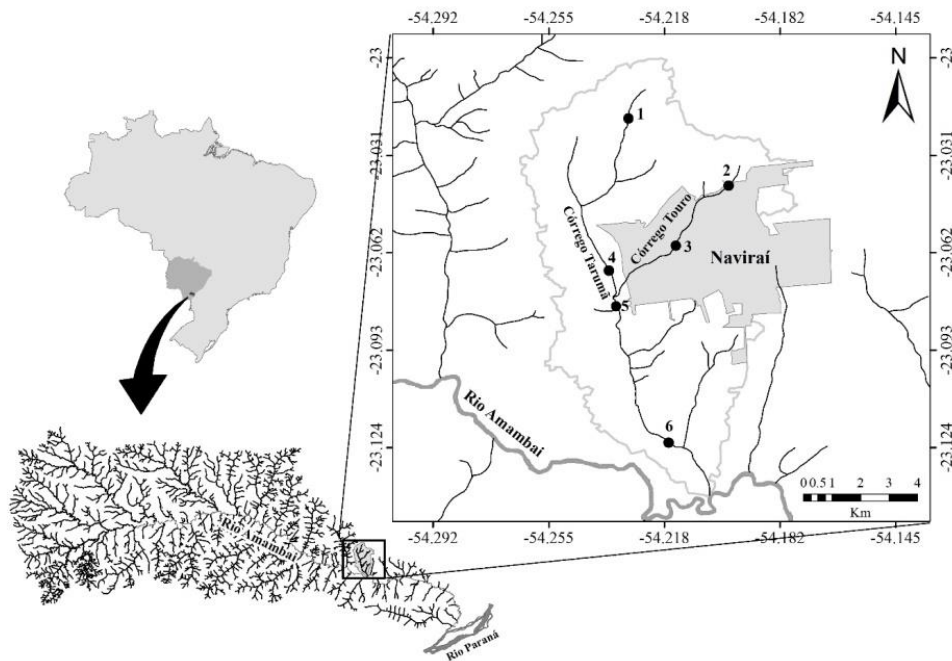
Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar parâmetros físico-químicos quantitativos da água proveniente de córregos na microbacia Tarumã (MS, Brasil), quantificar metais (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn e Ni) nos sedimentos de fundo desses córregos e avaliar qualitativamente o índice de vegetação de diferença normalizado dos locais (NDVI) por meio de imagens de satélite.

2. Metodologia

Área de estudo

O estudo foi realizado em campo, entre o período de setembro de 2014 e dezembro de 2015, nos córregos da Microbacia Tarumã sendo afluentes do Rio Amambai, Bacia do Alto Rio Paraná (Mato Grosso do Sul, Brasil) (Figura 1).

Figura 1. Localização dos pontos amostrados na Microbacia Tarumã, Alto Rio Paraná, Brasil.



Fonte: Viana et al. (2018).

A Figura 1 mostra os locais de amostragens na Microbacia Tarumã, que pertencem à Bacia do Alto Rio Paraná (Mato Grosso do Sul, Brasil). A Microbacia Tarumã é considerada “berçário” de espécies de peixes que vivem no Rio Amambai e no Rio Paraná, além de ser utilizada no abastecimento para criação de animais nas proximidades dos córregos (Viana et al., 2018). As amostragens foram realizadas em seis pontos na Microbacia Tarumã e a maioria dos pontos de coleta estão localizados em áreas rurais do município de Naviraí (P1, P2, P4, P5 e P6). Os pontos P1 e P2 estão localizados nas nascentes dos córregos Tarumã e Touro, respectivamente, enquanto que o P4 está situado na porção média do córrego Tarumã. Nesses três locais há redução da cobertura de vegetação nativa e o solo é ocupado principalmente por pastagens e monocultura de cana-de-açúcar. A água desses locais pode ser considerada pouco poluída (Souza e Lima-Junior, 2013; Viana et al., 2017). O P3 (porção média do córrego do Touro) está situado dentro do perímetro urbano e é caracterizado pela presença de mata nativa degradada, despejo de esgoto residencial, lixo nas margens e leito assoreado. Os pontos P5 e P6 estão situados no córrego Tarumã, na porção mais baixa da microbacia, recebendo, portanto, os contaminantes da porção superior da bacia, além de evidente assoreamento. Além disso, suas margens também apresentam mata nativa degradada, ocupadas principalmente por pastagens e monocultura de cana-de-açúcar, além de algumas instalações industriais (frigorífico, curtume e usina de açúcar e álcool). A água dos pontos P3, P5 e P6 está mais

suscetível a fontes de poluição, conforme observado em outros estudos (Souza e Lima-Junior, 2013; Viana et al., 2017).

Coleta e análise físico-química da água

Os seguintes parâmetros limnológicos quantitativos foram mensurados no campo, por meio de uma sonda multiparâmetro YSI Professional Plus: temperatura da água (°C), pH (unidades de pH), oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) e condutividade elétrica da água (µS.cm⁻¹).

Determinação do índice de vegetação

O cálculo do índice de vegetação da Microbacia Tarumã foi feito a partir de imagens de satélites, Landsat 8 com resolução de 30x30 m (anos 2014 e 2015) obtidas do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS pelas suas siglas em inglês). Para limite de estudo foram gerados buffer de 1 km de raio no entorno de cada ponto amostral. Para o análises do NDVI foi utilizada a equação $NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$ na qual NDVI é o Índice de vegetação por diferença normalizada, NIR corresponde à banda infravermelho próximo e VIS corresponde à banda vermelho visível (Zhang et al., 2018). Considerando-se que os valores de NDVI vão de 0 até 1, valores próximos a 0 indicam áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, enquanto e valores próximos a 1 indicam áreas com vegetação densa (Peng et al., 2017), e valores negativos são interpretados como corpos hídricos (Nourani et al., 2017). Foram criadas quatro categorias baseadas nos valores calculados, sendo estas: saudável (NDVI entre 0,75 e 1); médio (entre 0,5 e 0,74); baixo (de 0,25 a 0,49); muito baixo (entre 0 e 0,24) (Nourani et al., 2017).

Análise e determinação de metais

O sedimento de fundo dos córregos de cada local foi coletado (cerca de 5 gramas) com auxílio de uma draga, armazenado em sacos plásticos previamente descontaminados, e mantido sob temperatura de refrigeração (-4°C). No laboratório, as amostras foram desidratadas em estufa a 60°C por 4 horas, a fim de evitar o arraste dos metais pelo vapor de água. Em seguida, as amostras foram peneiradas e somente a fração < 53 µm foi utilizada para o tratamento químico de extração. Pesou-se cerca de 1 g de cada amostra em triplicata, adicionando-se 4 mL de água régia 50% (3:1 HCl:HNO₃) e 0,5 mL de HClO₄, aquecendo-se por 30min a 90°C em banho maria. A solução resultante foi filtrada e avolumada a 0,5 mL com água Milli-Q (Hortellani et al., 2008; Betemps e Sanches Filho, 2012). As amostras

foram analisadas no Espectrofotômetro de Absorção Atômica, para determinar as concentrações de Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn e Ni no sedimento coletado.

Os resultados da análise físico-química da água foram comparados com os valores de referência previstos na Resolução CONAMA 357/2005 e as concentrações de metais nos sedimentos foram comparadas com a Resolução CONAMA 454/2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

3. Resultados e Discussão

Com base nos parâmetros limnológicos analisados, os pontos P1, P2 e P4 apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos para corpos hídricos de classe 2 de acordo com a resolução CONAMA (357/2005). Para os pontos P3, P5 e P6, a turbidez ultrapassou os limites aceitáveis pela Resolução CONAMA 357/2005 e a condutividade elétrica da água em relação aos limites estabelecidos pela Cetesb (2014) (Tabela 1). Para temperatura da água não há valores máximos estipulado pela legislação vigente.

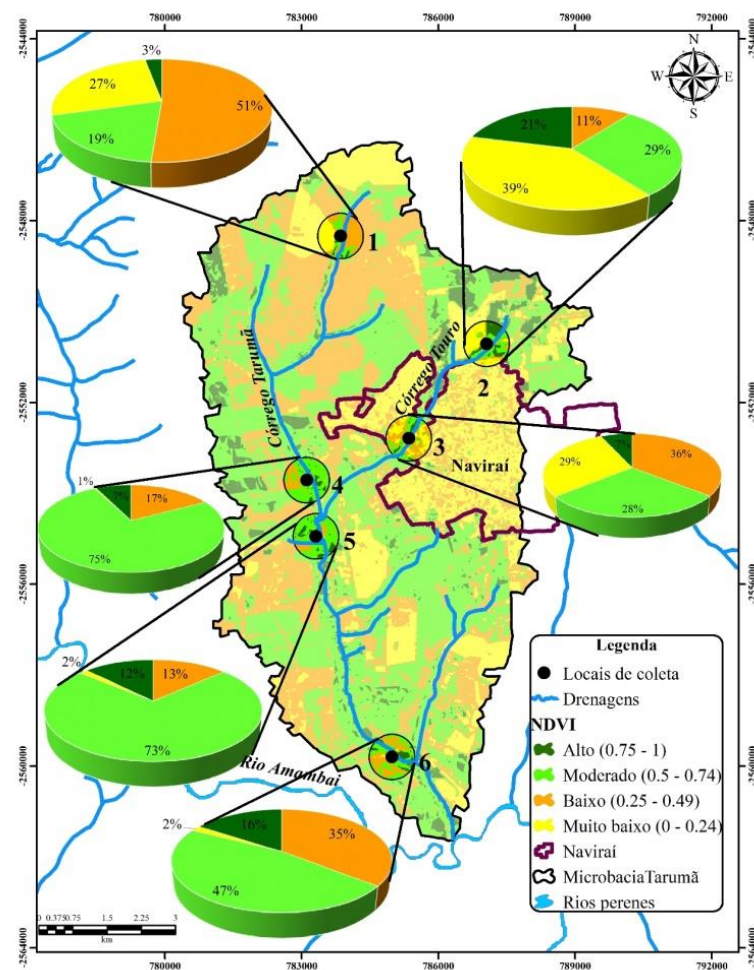
Tabela 1. Médias e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos da água dos córregos da Microbacia Tarumã.

Pontos	Turbidez (UNT)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	O ₂ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Temperatura (C°)
P1	22,06±16,72	15,00±4,35	6,00±0,40	6,00±0,72	22,18±5,52
P2	23,00±3,50	36,23±18,35	6,29±0,41	6,36±0,35	21,77±2,17
P3	160,33±58,14	143,66±14,22	6,00±0,68	5,40±0,20	24,52±3,50
P4	20,40±3,74	18,33±0,57	6,54±0,46	6,94±0,54	23,15±4,36
P5	115,30±23,25	77,00±2,00	6,04±0,67	6,00±0,28	25,47±5,40
P6	173,83±33,25	179,33±71,51	6,07±0,36	5,35±0,83	24,43±5,53
CONAMA (357/2005)	<100	<100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ *	6,0 a 9,0	= ou > 5,0	Não estipulado

Em negrito estão destacados valores que ultrapassaram os limites de acordo com corpos hídricos de classe 2 estabelecidos pela resolução nº 357/2005 do CONAMA e CETESB (2014). Fonte: Autores.

A Tabela 1 mostra as médias e desvios padrão dos parâmetros físicos químicos da água coletadas nos córregos da Microbacia Tarumã. Observa-se que a turbidez da água apresentou valores acima do definido pela Resolução CONAMA 357/2005 nos locais P3, P5 e P6, enquanto que a condutividade elétrica extrapolou o limite nos locais P3 e P6. Os elevados valores da turbidez e da condutividade elétrica na água nos pontos P3, P5 e P6 podem estar associados ao carreamento de resíduos antrópicos, principalmente no P3, que está localizado dentro do perímetro urbano, e nos pontos P5 e P6, que fazem parte da foz da Microbacia Tarumã, que acaba recebendo contaminantes provenientes da porção superior da bacia e também de resíduos indústrias que estão localizados em suas proximidades.

Figura 2. Índice de vegetação de diferença normalizado (NDVI) na Microbacia Tarumã, Alto Rio Paraná, Brasil. Mapa: Julio César Jut Solórzano.



Fonte: Autores.

Na análise do NDVI na Microbacia Tarumã (Figura 2), os pontos estudados apresentaram diferentes porcentagens da vegetação densa. Para o P1 constatamos 51% de vegetação ciliar reduzida em nível baixo e 27% em muito baixo. O P2 apresentou maior parte da vegetação na categoria muito baixo 39% e 29% moderado. O ponto 3 possui 36% de sua vegetação local em níveis baixos e 29% em níveis muito baixos. O P4 apresentou 75% de sua vegetação com nível moderado e 17% baixo (Figura 2). O P5 possui 73% da vegetação classificada no nível moderado e 13% baixo e para o P6 47% da vegetação em níveis moderado e 35% em níveis baixos.

Os pontos analisados na Microbacia Tarumã apresentaram grande proporção da área com níveis baixos e muito baixos de índice de vegetação, inclusive próximos às nascentes e nas margens dos cursos d'água. Esta redução da cobertura vegetal no entorno das nascentes pode estar associada com a expansão do uso do solo por atividades antrópicas, que são nítidas na proximidade dos córregos, principalmente o cultivo da cana-de-açúcar. Além da redução da vegetação ciliar, um dos principais problemas da monocultura de cana-de-açúcar é a manutenção da lavoura, devido à utilização de diversos tipos de pesticidas que são escoados para os corpos hídricos, comprometendo a qualidade ambiental e a biota aquática (Ardeshir et al., 2017).

A vegetação ciliar nas margens dos rios e córregos é fundamental para a manutenção da integridade e qualidade da água, tendo a função de barreira física e química por realizar a filtragem e retenção de sedimentos e contaminantes (Sweeney et al., 2004; Viana et al., 2013). Quando escassa, o ambiente aquático fica sujeito à erosão em suas margens, ocorrendo a entrada de grande quantidade de sedimentos, principalmente no período de maior pluviosidade, aumentando também o escoamento de diversos tipos de contaminantes que podem comprometer a qualidade da água (Tundisi e Tundisi, 2010). De fato, Viana et al. (2017), em outro estudo realizado na microbacia Tarumã, observaram que expansões de atividades antrópicas, estão prejudicando a integridade ambiental da Microbacia Tarumã. E também detectou nos pontos P3, P5 e P6, classificados como mais impactados da microbacia, efeitos mutagênicos e genotóxicos na espécie de peixe *Astyanax lacustris*.

Com relação à análise de metais no sedimento dos córregos amostrados (Tabela 2), todos os pontos apresentaram concentrações de metais abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira CONAMA 454/2012 para nível I de qualidade de água (no qual há uma baixa probabilidade de efeitos adversos à biota), que dispõe sobre a qualidade da água de rios e córregos no Brasil: Cd ($0,6 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb ($35 \mu\text{g g}^{-1}$), Cr ($37,3 \mu\text{g g}^{-1}$), Cu ($35,7 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($123 \mu\text{g g}^{-1}$) e Ni ($18 \mu\text{g g}^{-1}$).

Tabela 2. Concentração de metais ($\mu\text{g g}^{-1}$), no sedimento (média e desvio padrão) nos córregos na Microbacia Tarumã, Bacia do Alto Rio Paraná, Brasil.

Metais	Pontos					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Cd	0,006±0,0001	0,006±0,0001	0,008±0,0001	0,007±0,0001	0,007±0,0020	0,006±0,0010
Pb	0,008±0,0001	0,008±0,0002	0,013±0,0001	0,008±0,0001	0,013±0,0020	0,007±0,0001
Cr	0,009±0,0001	0,008±0,0001	0,015±0,0001	0,009±0,0001	0,010±0,0020	0,007±0,0001
Cu	0,009±0,0002	0,009±0,0001	0,022±0,0002	0,009±0,0002	0,016±0,0010	0,008±0,0002
Fe	3,350±0,0058	3,520±0,0006	4,000±0,0006	4,000±0,0006	3,750±0,0100	3,360±0,0058
Zn	0,970±0,0058	0,945±0,0006	1,415±0,0006	1,095±0,0006	1,200±0,0015	0,850±0,0006
Ni	0,060±0,0002	0,069±0,0001	0,109±0,0001	0,094±0,0370	0,098±0,0010	0,064±0,0006

Fonte: Autores.

A Tabela 2 mostra as médias e desvios padrão das concentrações de metais no sedimento dos córregos da Microbacia Tarumã. Os metais Cd, Pb e Cr total são biotóxicos, mesmo em pequenas proporções nos sedimentos bentônicos dos sistemas aquáticos, pois são elementos não essenciais aos processos biológicos e podem causar riscos ecológicos, com potencial bioconcentrador nos organismos, podendo provocar danos ecotoxicológicos para a biota aquática (Akindele et al., 2020; Cotta e Rodrigues, 2020). Segundo a literatura, o aumento da concentração destes metais não essenciais nos recursos hídricos está diretamente relacionado a fontes antropogênicas, com o uso de agroquímicos e descargas de esgoto urbano (Yi et al., 2011; Akindele et al., 2020). Não obstante, os sedimentos do fundo de rios fornecem nutrientes e *habitat* para uma grande variedade de organismos bentônicos e a ingestão contínua destes sedimentos por peixes que exploram o fundo dos rios pode levar à bioacumulação de contaminantes no organismo, podendo causar efeitos genotóxicos (Jesus et al., 2014; Voigt et al., 2016). Vieira et al. (2020) relatam que o Cd pode bioacumular principalmente em crustáceos e moluscos, que ficam aderidos ao substrato de fundo dos corpos hídricos.

A conversão de áreas florestais em terras agrícolas próximo aos corpos hídricos, além de acarretar o desequilíbrio ambiental, facilita o carreamento de contaminantes causando

riscos para a saúde ambiental (Paula Filho et al., 2015). Mesmo os elementos essenciais (Cu, Fe, Zn e Ni), com importante função nos sistemas biológicos, têm um significado particular em ecotoxicologia devido ao seu potencial de bioacumulação e conseqüentemente de toxicidade (Weber et al., 2013; Machado et al., 2016; Viana et al., 2018). Assim, quantidades elevadas de metais no ambiente aquático, tanto elementos essenciais e não essenciais, podem causar sérios riscos para a biota aquática, devido ao seu potencial de bioacumulação.

4. Considerações Finais

Os metais nos sedimentos nos córregos amostrados estavam dentro do limite permitido pela legislação vigente. Apesar disso, o baixo índice de cobertura vegetal ciliar em torno dos córregos – devido à expansão urbana e de áreas agrícolas – pode estar comprometendo o equilíbrio do sistema aquático. De fato, os córregos analisados apresentaram altos valores de turbidez e de condutividade elétrica da água nos pontos mais próximos da região urbana, resultado que pode estar associado ao carreamento de resíduos urbanos e industriais. Neste contexto, sugerimos monitoramento ambiental constante da área de estudo, além de desenvolvimento de projetos de restauração da cobertura vegetação ciliar, para a proteção destes corpos hídricos, com destaque nas áreas de nascentes.

Agradecimentos

Ao suporte da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, CALC número de concessão 311975/2018-6).

Referências

Akindede, E. O, Omisakin, O. D, Oni, A. O, Aliu, O. O, Omoniyi, G. E & Akinpelu, O. T. (2020). Heavy metal toxicity in the water column and benthic sediments of a degraded tropical stream. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190:110153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110153>.

Ardeshir, R. A, Zolgharnein, H, Movahedinia, A, Salamat, N & Zabihi, E. (2017). Comparison of waterborne and intraperitoneal exposure to fipronil in the Caspian white fish (*Rutilus frisii*) on acute toxicity and histopathology. *Toxicology Reports*, 4:348-357. doi: 10.1016/j.toxrep.2017.06.010.

Betemps, G. R & Sanches Filho, P. J. (2012). Estudo sazonal de metais pesados no sedimento do Saco do Laranjal–Pelotas-RS. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 7(2):79-84. doi: 10.5132/jbse.2012.02.012.

Brothers, S. M, Hilt, S, Meyer, S & Kohler, J. (2013). Plant community structure determines primary productivity in shallow, eutrophic lakes. *Freshwater Biology*, 58(11):2264-2276. doi: <https://doi.org/10.1111/fwb.12207>.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. (2014). Série Relatórios. Apêndice A: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Acesso: Fev. 2020.

Cherubin, M. R, Franco, A. L. C, Cerri, C. E. P, Karlen, D. L, Pavinato, P. S, Rodrigues, M, Davies, C. A & Cerri, C. C. (2016). Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. *Geoderma*, 265:27-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.017>.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n 357, 2005. Diário Oficial da União de 17 de Março de 2005. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso: Fev. 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n 454, 2012. Diário Oficial da União de 1 de Novembro de 2012. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso: Fev. 2020.

Cotta, J. A. O & Rodrigues, M. (2020). Estudo da sorção de chumbo em solos intemperizados e em suas diferentes frações. *Research, Society and Development*, 9(4):1-17. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2306>.

De Jonge, M, Belpaire, C, Van Thuyne, G, Breine, J & Bervoets, L. (2015). Temporal distribution of accumulated metal mixtures in two feral fish species and the relation with condition metrics and community structure. *Environmental Pollution*, 197:43-54. doi: 10.1016/j.envpol.2014.11.024.

Gao, Y, Gao, J, Wang, J, Wang, S, LI, Q, Zhai, S & Zhou, Y. (2017). Estimating the biomass of unevenly distributed aquatic vegetation in a lake using the normalized water-adjusted vegetation index and scale transformation method. *Science of the Total Environment*, 601: 998-1007. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.163.

Hortellani, M. A, Sarkis, J. E. S, Abessa, D. M. S & Sousa, E. C. P. M. (2008). Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos-São Vicente. *Química Nova*, 31(1):10-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000100003>.

Jesus, I. S, Da Silva Medeiros, R. L, Cestari, M. M, De Almeida Bezerra, M & De Mello Affonso, P. R. (2014). Analysis of metal contamination and bioindicator potential of predatory fish species along Contas River basin in northeastern Brazil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92(5):551-556. doi: 10.1007/s00128-013-1188-z.

Machado, C. S, Alves, R. I. S, Fregonesi, B. M, Tonani, K. A. A, Martinis, B. S, Sierra, J, Nadal, M, Domingo, J. L & Segura-Muñoz, S. (2016). *Procedia Engineering*, 162:230-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.046>.

Melo, G. P, Navoni, J. A, Morais, F. D & Amaral, V. S. (2016). Ecotoxicological water assessment of an estuarine river from the Brazilian Northeast, potentially affected by industrial wastewater discharge. *Science of the Total Environment*, 572:324-33. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.002.

Nourani, V, Fard, A. F, Gupta, H. V, Goodrich, D. C & Niazi, F. (2017). Hydrological model parameterization using NDVI values to account for the effects of land cover change on the rainfall–runoff response. *Hydrology Research*, 48(6):1455-1473. doi: 10.2166/nh.2017.249.

Paula Filho, F. J, Marins, R. V, Lacerda, L. D, Aguiar, J. E & Peres, T. F. (2014). Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 91(2):424-428. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.022>.

Peluso, L, Abelando, M, Apartín, C. D, Almada, P & Ronco, A. E. (2013). Integrated ecotoxicological assessment of bottom sediments from the Paraná basin, Argentina. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98:179-186. doi: [10.1016/j.ecoenv.2013.09.001](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.001).

Peng, D, Wu, C, Li, C. C, Zhang, X, Liu, Z, Ye, H, Luo, S, Liu, X & Fang, B. (2017). Spring green-up phenology products derived from MODIS NDVI and EVI: Intercomparison, interpretation and validation using National Phenology Network and AmeriFlux observations. *Ecological Indicators*, 77:323-336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.024>.

R Core Team. (2019). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna <http://www.R-project.org>.

Ruiz de Arcaute, R, Soloneski, S & Larramendy, M. L. (2016). Toxic and genotoxic effects of the 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D)-based herbicide on the Neotropical fish *Cnesterodon decemmaculatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128:222-229. doi: [10.1016/j.ecoenv.2016.02.027](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.02.027).

Simonato, J. D, Mela, M, Doria, H. B, Guiloski, I. C, Randi, M. A. F, Carvalho, P. S. M, Meletti, P. C Silva De Assis, H. C, Bianchini, A & Martinez, C. B. R. (2016). Biomarkers of waterborne copper exposure in the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Aquat Toxicol*, 170 (1):31-41. doi: [10.1016/j.aquatox.2015.11.012](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.11.012).

Souza, R. G & Lima-Junior, S. E. (2013). Influence of environmental quality on the diet of *Astyanax* in a microbasin of central western Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 35(2):177-184. doi: [10.4025/actascibiolsci.v34i2](https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v34i2).

Sweeney, B. W, Bott, T. L, Jackson, J. K, Kaplan, L. A, Newbold, J. D, Standley, . J, Hession, W. C & Horwitz, R. J. (2004). Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101 (39):14132-14137. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0405895101>.

Tundisi, J. G & Tundisi, T. M. (2010). Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, 10(4):67-75. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032010000400010>.

Viana, L. F, Suárez, Y. R & Lima-Junior, S. E. (2013). Influence of environmental integrity on the feeding biology of *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski, 2000 in the Ivinhema river basin. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 35(4):541-548. doi: [10.4025/actascibiols.v35i4](https://doi.org/10.4025/actascibiols.v35i4).

Viana, L. F, Suárez, Y. R, Cardoso, C. A. L, Solórzano, J. C. J, Crispim, B. D. A, Grisolia, A. B & Lima-Junior, S. E. (2017). Erythrocyte nuclear abnormalities in *Astyanax lacustris* in response to landscape characteristics in two neotropical streams. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 17(1):1-8. doi: [10.1007/s00244-017-0476-8](https://doi.org/10.1007/s00244-017-0476-8).

Viana, L. F, Suárez, Y. R, Cardoso, C. . L, Crispim, B. D. A, Cavalcante, D. N. C, Grisolia, A. B & Lima-Junior, S. E. (2018). The Response of Neotropical Fish Species (Brazil) on the Water Pollution: Metal Bioaccumulation and Genotoxicity. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 75(3):476-485. doi: [10.1007/s00244-018-0551-9](https://doi.org/10.1007/s00244-018-0551-9).

Vieira, T. C, Rodrigues, A. P. C, Amaral, P. M. G, de Oliveira, D. F. C, Gonçalves, R. A, Rodrigues, E, Silva, C, Vasques R. O, Malm, O, Silva-Filho, E. V, Godoy, J. M. O, Machado, W, Filippo, A & Bidone, E. D. (2020). Evaluation of the bioaccumulation kinetics of toxic metals in fish (*A. brasiliensis*) and its application on monitoring of coastal ecosystems. *Mar Pollut Bull*, 151:110830. doi: [10.1016/j.marpolbul.2019.110830](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110830).

Voigt, C. L, Silva, C. P & Campos, S. X. (2016). Avaliação da bioacumulação de metais em *Cyprinus carpio* pela interação com sedimento e água de reservatório. *Química Nova*, 39 (2):180-188. doi: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160014>.

Weber, P, Behr, E. R, Knorr, C. L, Vendruscolo, D. S, Flores, E. M. M, Dressler, V. L & Baldisserotto, B. (2013). Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical brazilian river. *Microchemical Journal*, 106:61-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.05.004>.

Yi, Y, Yang, Z & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10):2575-2585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>.

Zhang, H. K, Roy, D, Yan, L, LI, Z, Huang, H, Vermote, E, Skakun, SV & Roger, JC. (2018). Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment*, 215:482-494. doi: [10.1016/j.rse.2018.04.031](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.031).

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Lucilene Finoto Viana– 20%

Luiza Flavia Veiga Francisco – 20%

Claudia Andrea Lima Cardoso– 20%

Julio César Jut Solórzano– 20%

Sidnei Eduardo Lima-Junior– 20%