

Artigo Técnico

Toxicidade aguda em área urbana da microbacia do córrego Água Boa (MS)

Acute Toxicity in Urban Area of Água Boa Stream Watershed, MS, Brazil

Bárbara Ferreira Dalla Costa^{1*} , Kennedy Francis Roche¹ 

RESUMO

A bacia hidrográfica do córrego Água Boa (Dourados, MS) sofre grande influência antrópica, tais como urbana e industrial. Levando-se em consideração sua importância para a manutenção de fauna, flora, indústria e população local, o estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade de suas águas nos períodos seco e chuvoso de 2013, da nascente até próximo à sua foz, por meio de testes de toxicidade aguda com *D. similis* e *D. rerio*, além de análises físicas, químicas e de concentrações de metais pesados. Os resultados mostraram as variabilidades espacial e temporal dos parâmetros analisados. Além disso, constatou-se efeito tóxico no ponto O2 para *D. rerio* em ambos os períodos. As análises comprovaram a crítica situação de degradação do ambiente aquático estudado e alertam para os cuidados que deverão ser tomados. Portanto, sugere-se maior fiscalização por parte dos órgãos ambientais, bem como conscientização da população quanto às emissões de efluentes e resíduos no corpo hídrico, a fim de evitar sua degradação.

Palavras-chave: *Danio rerio*; *Daphnia similis*; toxicidade aguda.

ABSTRACT

The watershed of Água Boa Stream (Dourados/MS) suffers great anthropic influence, such as urban and industrial. Taking into consideration its importance for maintenance of fauna, flora, industry and local population, this study aimed to: assess the toxicity of its waters during the dry and rainy seasons of 2013, near the source to its mouth, through acute toxicity essays with *D. similis* and *D. rerio*, as well as physical, chemical and heavy metal concentration analyses. The results showed spatial and temporal variability of the analyzed parameters. Furthermore, a toxic effect was found at point O2 for *D. rerio* in both periods. The analyses confirmed the critical situation of degradation of the aquatic environment studied, and warns that precautions should be taken. Therefore, it is suggested that greater supervision by environmental agencies, as well as public awareness of the issue of waste and residues in the water body, in order to avoid its degradation.

Keywords: *Danio rerio*; *Daphnia similis*; acute toxicity.

INTRODUÇÃO

Entre as maiores fontes de poluição do ambiente aquático, encontram-se os lançamentos de efluentes líquidos domésticos e industriais (RUBINGER, 2009).

Avanços quanto ao tratamento de efluentes vêm ocorrendo no Brasil, onde a cobertura com coleta de esgotos sanitários — que era de 53% da população urbana em 2000 — subiu para 62% em 2010; e o percentual de esgoto tratado, que atingia 21% do esgoto produzido em 2000, passou para 30% em 2008 (ANA, 2013). Todavia, esse progresso ainda está longe de atingir a totalidade do acesso aos serviços de saneamento básico no país.

O município de Dourados, segundo maior do estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2014), tem, em seu perímetro urbano, a microbacia do córrego Água Boa, que vem apresentando vários problemas de degradação ambiental provocados pela ação antrópica (PEREIRA,

2007; SCARAMAL, 2005). Entre eles, a degradação da qualidade de suas águas nos últimos anos, por conta do lançamento de efluentes domésticos e industriais tanto no córrego quanto em seus tributários (Rego D'água e Paragem), transformando-os em corredores de esgoto a céu aberto (SANTOS *et al.*, 2007). Além da agricultura desenvolvida nessa bacia, o núcleo industrial possui instaladas indústrias de diversas tipologias, entre elas: ração animal, adubo, farinheira, madeireira, processamento de soja, curtume e frigorífico.

No entanto, o despejo desses efluentes pode provocar danos de naturezas diversas, dependendo do volume e da natureza dos esgotos; e da vazão e das características físicas, químicas, biológicas, radioativas e térmicas dessas águas receptoras (SILVA & PRUSKI, 2005).

Os danos podem compreender alteração de comportamento, enfermidades que impedem a reprodução, anomalias nos descendentes e até, por exemplo, no caso de contaminação por metais pesados, pode haver alta mortalidade de indivíduos de espécies sensíveis

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campo Grande (MS), Brasil.

*Autor correspondente: barbara_fcdj@hotmail.com

Recebido: 31/03/2015 – Aceito: 29/10/2018 – Reg. ABES: 147956

e aumento populacional de espécies tolerantes à poluição (ODUM, 1988). Portanto, uma comunidade inteira pode ser perturbada, ainda que apenas uma parcela dos seus organismos seja sensível à toxicidade dos elementos lançados, já que os demais serão afetados de forma indireta, seja por mudanças na cadeia alimentar, seja em certas relações mutualísticas (DOMINGUES & BERTOLETTI, 2006).

Entre os principais grupos de compostos causadores de poluição aquática, estão os metais pesados, conhecidos também como elementos traço ou metais traço (BRANCO & ROCHA, 1980). Suas principais fontes antrópicas são fertilizantes, pesticidas, combustão a carvão e óleo, emissões veiculares, água de irrigação contaminada, queima de biomassa na zona rural, incineração de resíduos urbanos e industriais, mineração, fundição e refinamento (SOUZA, 2007). Apesar de importantes para a manutenção da vida, quando em concentrações elevadas, podem ser altamente prejudiciais aos organismos (LACERDA; CARVALHO; GOMES, 1989).

No Brasil, a referência legal para o controle de toxicidade consta da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), e, no estado do Mato Grosso do Sul, na Deliberação CECA/MS nº 36 (MATO GROSSO DO SUL, 2012), que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e preconiza a realização de ensaios ecotoxicológicos para fins de classificação, avaliação e monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos. Esses ensaios são ferramentas desejáveis para avaliar a carga poluidora que impacta os corpos hídricos, considerando que as análises físico-químicas apenas identificam e quantificam as substâncias presentes na água ou no sedimento, mas não detectam os efeitos sobre a biota (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2006).

Considerando-se a necessidade crescente de monitoramento e avaliação dos sistemas hídricos, em especial do córrego Água Boa, o presente estudo tem como objetivos: avaliar os impactos à biota com testes ecotoxicológicos agudos da água, utilizando como bioindicadores *Daphnia similis* e *Danio rerio*; verificar a variação da toxicidade aguda ao longo do corpo hídrico, devido às diferentes atividades desenvolvidas em seu entorno; e analisar os efeitos da sazonalidade sobre os resultados obtidos.

METODOLOGIA

Área de estudo

A microbacia do córrego Água Boa — formada pelos córregos Água Boa, Rego D'água e Paragem — pertence à microbacia hidrográfica do rio Dourados, integrante da sub-bacia do rio Ivinhema e da bacia hidrográfica do Rio Paraná, e caracteriza-se por ser, espacialmente, uma importante tendência de crescimento e desenvolvimento municipal (PEREIRA, 2007). Ocupando área de aproximadamente

120,40 km², encontra-se inteiramente dentro dos limites do município de Dourados (MS) — parte na área urbana e parte na zona rural (Figura 1).

Coleta das amostras e pontos de amostragem

Para verificar a influência da sazonalidade na toxicidade da água, realizaram-se duas campanhas de amostragem: a primeira em agosto de 2013, no período seco, e a segunda em dezembro de 2013, no chuvoso (Figura 2).

As amostras foram coletadas em seis pontos ao longo do córrego Água Boa (Figura 1), da nascente (P1) até próximo da sua foz (P6), no rio Dourados, conforme coordenadas geográficas e características apresentadas na Tabela 1.

Com uma sonda multiparamétrica Horiba® U10, foram medidas *in loco* a condutividade e a temperatura da água em cada ponto de amostragem.

Ensaio ecotoxicológicos

A avaliação da toxicidade das águas foi realizada por meio de ensaios ecotoxicológicos agudos. O cultivo dos organismos e os bioensaios com *Daphnia similis* (Crustacea, Cladocera) e *Danio rerio* (Pisces, Cyprinidae) foram realizados em conformidade com as normas técnicas NBR 12.713/2009 (ABNT, 2009) e NBR 15.088/2011 (ABNT, 2011), respectivamente.

O princípio do método consiste na exposição dos organismos a amostras brutas e à água de cultivo para realização do controle; o meio de cultivo é composto de água de poço reconstituída, com dureza e pH controlados.

Os testes com o bioindicador *D. similis* foram realizados em duplicata (dez indivíduos por réplica), mantidos com temperatura de 22 ± 2°C e fotoperíodo de 8:16 horas (escuro:claro). Após 48 horas, fez-se a leitura da quantidade de organismos mortos ou imóveis (que não respondiam a estímulos mecânicos leves ou flutuantes na superfície).

Nos testes preliminares de toxicidade aguda com peixes (*D. rerio*), os recipientes com as soluções-teste, em duplicata (três indivíduos por réplica), foram mantidos também durante 48 horas (ensaio estático), com temperatura de 22 ± 2°C e fotoperíodo de 8:16 horas (escuro:claro), sendo registrada a letalidade ao seu término.

A toxicidade apresentada pelas amostras analisadas foi considerada como a imobilidade e/ou letalidade de 50% + 1 dos organismos em cada ponto.

Análises físico-químicas

Paralelamente aos bioensaios, foram realizadas análises contemplando os parâmetros físico-químicos listados na Tabela 2, juntamente com as respectivas metodologias utilizadas.

RESULTADOS

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das coletas 1 (período seco) e 2 (período chuvoso) são apresentados na Tabela 3.

Os resultados das concentrações de metais pesados para ambas as coletas se encontram na Tabela 4.

Os resultados obtidos nos ensaios para os dois organismos utilizados estão na Tabela 5. Ressalta-se que nenhuma pesquisa na área de ecotoxicologia aquática foi realizada nessa região.

DISCUSSÃO

Assim como em Scaramal (2005) e Pereira (2007), durante as coletas, verificaram-se pontos de degradação ambiental, incluindo acúmulo de resíduo em suas margens, pontos de erosão e assoreamento, além de construções irregulares que ferem o Código Florestal quanto às áreas de preservação permanente (APP).

Nos corpos hídricos em estudo, constataram-se altos valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO)_{5,20} para todos os pontos, com exceção da nascente (P1), e os piores valores foram encontrados no

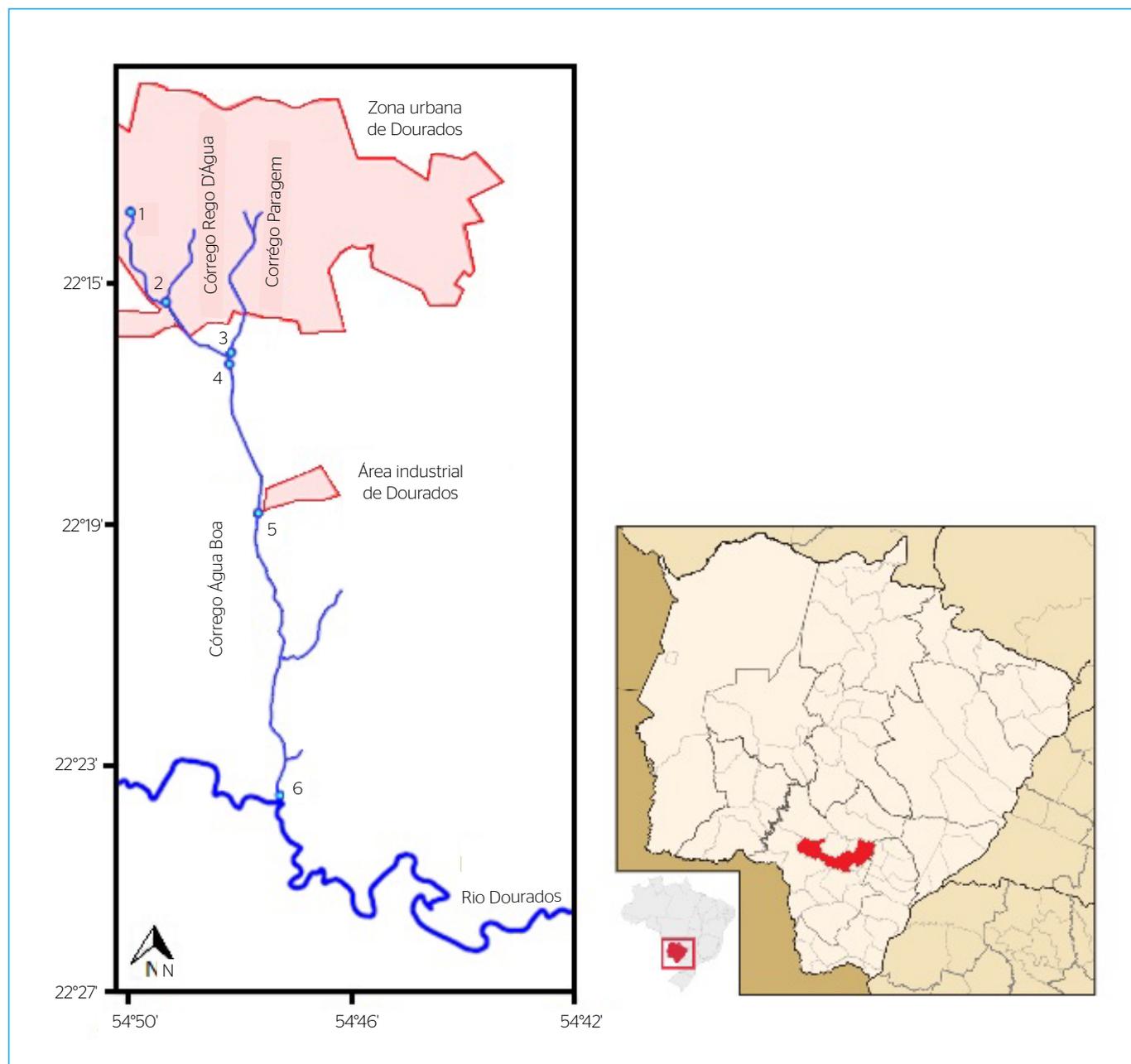


Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem e do município de Dourados, no estado do Mato Grosso do Sul.

período seco. Segundo Corrêa (2014), um valor de $DBO_{5,20}$ alto pode significar presença de poluição por meio da matéria orgânica proveniente de fontes pontuais e/ou difusas de origens doméstica ou industrial.

Observa-se também o aumento de condutividade elétrica, alcalinidade, fósforo e dureza de todos os pontos quando comparados à nascente, e, na maioria deles, esses parâmetros aumentaram no período chuvoso, com exceção de P6 para condutividade, dureza em P1 e fósforo em P3 e P6.

Em contrapartida, os valores de oxigênio dissolvido (OD) diminuíram no período chuvoso, menos em P5, e estiveram em desconformidade com a legislação em P1, P4 e P5, no período seco, e em P1, P3, P5 e P6 no período chuvoso. Já os valores de pH se mantiveram praticamente inalterados.

Os valores de turbidez conservaram-se inalterados para P1 e P2, mas, nos outros pontos, houve aumento significativo de valores no período chuvoso, provavelmente por causa do carreamento de sedimentos para os corpos hídricos.

O nitrogênio amoniacal total esteve em desconformidade com a legislação em P3, P4 e P5 no período chuvoso. Segundo a Environmental Protection Agency (EPA, 2013), a amônia é uma das várias formas de nitrogênio que existem em ambientes aquáticos. Ao contrário de outras formas desse elemento, que podem causar a eutrofização de um corpo de água em concentrações elevadas e efeitos indiretos sobre a vida aquática, a amônia provoca efeitos tóxicos diretos sobre os organismos, pois,

quando está presente na água em níveis muito altos, é difícil para os organismos aquáticos excretarem suficientemente a substância tóxica, levando à acumulação de toxinas nos tecidos internos e no sangue e, potencialmente, à morte.

As concentrações de metais na água foram, de modo geral, maiores no período chuvoso, o que pode estar relacionado à lavagem superficial do solo pelas chuvas (MORRIS, 1974).

A maior detecção de alguns metais no período chuvoso pode ser explicada pelo carreamento desses metais das localidades próximas para o córrego, já que, no perímetro urbano, as redes de drenagem de superfícies urbanas são fontes conhecidas de metais pesados e de outros contaminantes (BOLLMANN & MARQUES, 2006). Considerando que os metais podem ser carreados para os recursos hídricos pelas águas pluviais,

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem.

Pontos	Coordenadas UTM (m)	Características dos pontos
P1	723564 S; 7540198 E	Nascente do córrego Água Boa, no parque Antenor Martins
P2	724626 S; 7537186 E	Córrego Rego D'água, no perímetro urbano
P3	726520 S; 7535457 E	Córrego Paragem
P4	726537 S; 7535427 E	Montante do Distrito Industrial
P5	727454 S; 7530104 E	Jusante do Distrito Industrial
P6	728139 S; 7521702 E	Montante da Foz do rio Dourados

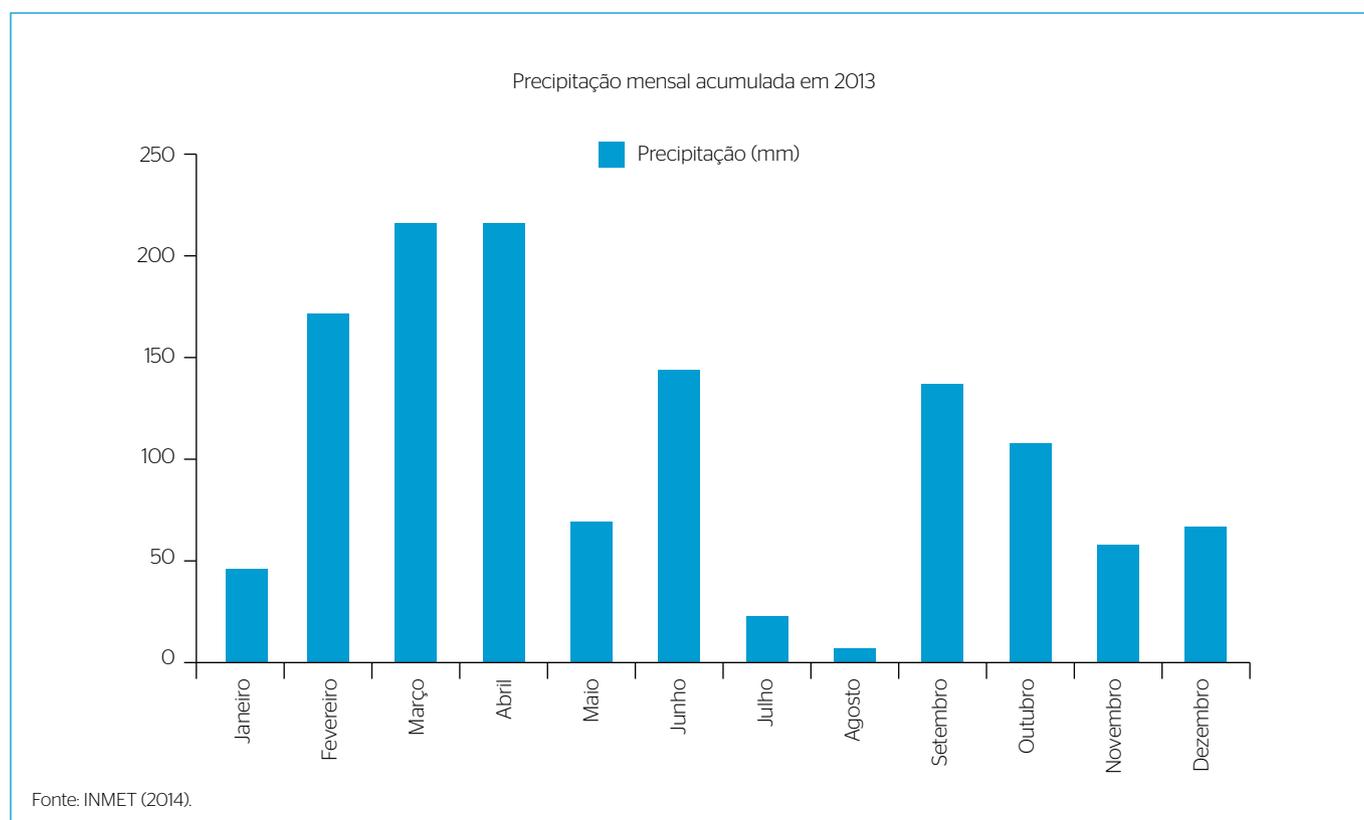


Figura 2 - Dados da precipitação mensal acumulada para o município de Dourados (MS) em 2013.

é possível ter ocorrido um acúmulo destes na superfície da microbacia durante a época de estiagem e, no período chuvoso, eles foram carregados pela água para os córregos, resultando no aumento dos seus níveis.

Tabela 2 - Parâmetros e métodos para as análises físicas e químicas.

Parâmetros	Unidade	Metodologia Standard Methods
Alcalinidade	mg•L ⁻¹ CaCO ₃	Titulométrico 2320 B
Turbidez	NTU	Nefelométrico 2130 B
OD	mg•L ⁻¹ O ₂	Titulométrico WINKLER modificado pela azida sódica 4500-O C
DBO _{5,20}	mg•L ⁻¹ O ₂	Diluição e incubação a 20°C e 5 dias 5210 B
Dureza total	mg•L ⁻¹ CaCO ₃	Titulométrico 2340 C
pH	-	Eletrométrico 4500-H ⁺ B
Condutividade elétrica	µS.cm ⁻¹	Conductimetria 2510 A
Nitrogênio amoniacal	mg•L ⁻¹ N	Titulométrico 4500 NH ₃ B
Fósforo total	mg•L ⁻¹ P	Cloreto estano 4500-P D
Metais (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn)	mg•L ⁻¹	Espectrometria de absorção atômica 3111 B

OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cd: cádmio; Cr: cromo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Ni: níquel; Pb: fósforo; Zn: zinco.

Fonte: APHA, AWWA e WEF (2012).

Já no meio rural, a agricultura constitui uma das mais importantes fontes não pontuais de poluição por metais em corpos d'água, e as principais fontes liberadoras são os fertilizantes, os pesticidas, os preservativos de madeira e os dejetos de produção intensiva de bovinos, suínos e aves (LIMA, 2013). Além do mais, segundo Pedrozo e Lima (2001), os resíduos sólidos, como o lixo doméstico e aqueles procedentes da agricultura em processos de compostagem, são fontes riquíssimas de elementos metálicos. O lixiviado oriundo desses processos é rico em metais, os quais também são carregados para os rios pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas, o que pode ter contribuído para o aumento observado.

Como se pode observar, não foram detectadas concentrações de cádmio (Cd) e níquel (Ni) em nenhuma das amostras, estando esse último presente apenas no P4 na segunda coleta. No entanto, as concentrações de zinco (Zn) acima do limite permitido ocorreram em P1, P4 e P6, na primeira campanha, e em P4, P5 e P6 na segunda. De acordo com Santos (2009), a concentração letal (CL) 50:96 horas estimada para lambaris (*Astyanax bimaculatus*) foi de 10 mg•L⁻¹ de Zn na água, em que CL50 é a concentração de um agente em um meio que causa mortalidade em 50% da população exposta, durante um determinado período de tempo.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos nos períodos seco (coleta 1) e chuvoso (coleta 2).

	Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Unidades
Coleta 1 (seco)	Alcalinidade	22,0	95,0	45,0	55,0	52,0	34,0	mg•L ⁻¹ CaCO ₃
	Turbidez	1,1	6,0	8,1	7,1	10,6	6,3	NTU
	OD	4,8 ¹	6,2	5,4	4,0 ¹	0,8 ¹	5,0	mg•L ⁻¹ O ₂
	DBO _{5,20}	1,6	8,0 ¹	30,6 ¹	32,0 ¹	25,0 ¹	14,0 ¹	mg•L ⁻¹ O ₂
	Dureza	61,0	101,0	64,0	70,0	76,0	43,0	mg•L ⁻¹ CaCO ₃
	pH	6,1	7,8	7,3	7,3	7,2	7,2	-
	Condutividade	87,8	480,0	320,0	280,0	220,	180,0	µS.cm ⁻¹
	Nitrogênio amoniacal total	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	mg•L ⁻¹ N
	Fósforo total	< 0,10	1,37 ¹	1,31 ¹	0,59 ¹	0,39 ¹	0,49 ¹	mg•L ⁻¹ P
Coleta 2 (chuvoso)	Temperatura	19,0	25,0	23,0	24,0	26,0	24,0	°C
	Alcalinidade	32,0	104,0	56,0	64,0	68,0	47	mg•L ⁻¹ CaCO ₃
	Turbidez	0,3	6,2	52,7	51,4	127,0 ¹	146,0 ¹	NTU
	OD	4,0 ¹	5,7	2,7 ¹	-2	2,2 ¹	3,6 ¹	mg•L ⁻¹ O ₂
	DBO _{5,20}	1,2	8,9 ¹	6,0 ¹	10,3 ¹	9,4 ¹	6,0 ¹	mg•L ⁻¹ O ₂
	Dureza	58,0	112,0	88,0	73,0	79,0	54,0	mg•L ⁻¹ CaCO ₃
	pH	6,0	7,9	7,6	7,4	7,3	7,1	-
	Condutividade	105,2	604,0	364,0	355,0	249,0	171,8	µS.cm ⁻¹
	Nitrogênio amoniacal total	< 0,1	< 0,1	5,2 ¹	4,8 ¹	4,8 ¹	<0,1	mg•L ⁻¹ N
Fósforo total	< 0,1	1,75 ¹	0,78 ¹	0,78 ¹	0,81 ¹	0,28 ¹	mg•L ⁻¹ P	
Temperatura	26,0	34,0	30,0	30,0	30,0	30,0	°C	

OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; ¹parâmetros com valores em desconformidade com os limites permitidos para a classe 2 (Resolução CONAMA nº 357/2005); pH: 6,0 a 9,0; OD ≤ 5 mg•L⁻¹; DBO_{5,20} ≤ 5 mg•L⁻¹; amônia ≤ 3,7 mg•L⁻¹ (para pH ≤ 7,5) e ≤ 2,0 mg•L⁻¹ (para 7,5 < pH ≤ 8,0); fósforo total ≤ 0,1 mg•L⁻¹; e turbidez ≤ 100 UNT; ²não foi possível realizar a análise.

O cobre (Cu) esteve ausente na coleta 1 (período seco), mas apresentou concentrações acima do limite permitido em todos os pontos da coleta 2 (época chuvosa), com exceção de P1, podendo causar toxicidade à biota. Campagna *et al.* (2008) encontraram como menor concentração letal para indivíduos juvenis de *D. rerio* 20,0 µg.Cu.L⁻¹ e CL50:96 horas = 73,83 µg.Cu.L⁻¹. No entanto, sabe-se que os organismos jovens são geralmente mais sensíveis às substâncias tóxicas do que os adultos (ALVES, 2010).

O chumbo (Pb) foi detectado apenas em P1 e P4, no período chuvoso, em concentrações acima do permitido. Os resultados dos estudos de Offem e Ayotunde (2008) mostraram que concentrações de Pb superiores a 0,19 e 0,30 mg.L⁻¹ podem ser potencialmente nocivas para *Daphnia magna* e *Cyclop spp*, respectivamente.

As concentrações de cromo (Cr) foram encontradas somente em P4, P5 e P6 da segunda coleta, estando até cerca de 16 vezes acima do máximo permitido para a classe 2. O estudo sobre a toxicidade aguda do cromo III para *Daphnia similis* realizado por Melnikov e Freitas (2011) apresentou CL50:48 horas = 3,24 mg.L⁻¹ e concentração mínima que não demonstrou qualquer toxicidade igual a 2,5 mg.L⁻¹.

As concentrações de ferro (Fe), em geral, ultrapassaram o limite nas duas coletas, exceto em P1 e P2, na coleta 1, e em P6, na coleta 2. Esse elemento é um dos metais mais abundantes na terra, essencial para todos os organismos, mas, em excesso, é tóxico (BURY & GROSELL, 2003). Abdullah, Javed e Javid (2007) encontraram, em seu estudo com *Labeo rohita*, como CL100 (100% de mortalidade) de 87,02 ± 1,41 mg Fe.L⁻¹ e CL50:96 horas = 54,30 ± 3,37 mg Fe.L⁻¹.

O manganês (Mn) foi encontrado em concentrações acima do limite permitido apenas em P5 do período seco e em todos os

pontos de amostragem da época chuvosa. Ensaios de toxicidade com *Megaloniais nervosa* e *Lampsilis siliquoidea* estimaram valores de CL50:96 horas = 31,5 e 43,3 mg Mn.L⁻¹, respectivamente (USEPA, 2010).

Ressalta-se que Souza (2007) registrou altas concentrações de metais no córrego Água Boa, que teve a água de sua nascente classificada como *péssima* em 60% das amostragens e de P2, P3 (montante e jusante ao abatedouro de aves) e P4 (foz no Rio Dourados) considerada *péssima* em 90% das campanhas.

Tabela 5 - Imobilidade (%) de *Daphnia similis* e letalidade de *Danio rerio* expostos às amostras.

Coleta	Amostras	<i>Daphnia similis</i>	<i>Danio rerio</i>
1 (seco)	Controle	O	O
	P1	22,2 (NT)	O (NT)
	P2	O (NT)	66,7 (T)
	P3	O (NT)	O (NT)
	P4	O (NT)	O (NT)
	P5	O (NT)	O (NT)
	P6	O (NT)	O (NT)
2 (chuvoso)	Controle	O	O
	P1	35,0 (NT)	O (NT)
	P2	25,0 (NT)	66,7 (T)
	P3	O (NT)	O (NT)
	P4	O (NT)	O (NT)
	P5	O (NT)	O (NT)
	P6	O (NT)	O (NT)

T: tóxico; NT: não tóxico.

Tabela 4 - Concentrações de metais pesados nas amostras de água (mg.L⁻¹).

Coleta	Ponto	Fe	Mn	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni
1 (seco)	P1	0,1	ND	ND	ND	0,5*	ND	ND	ND
	P2	0,2	ND	ND	ND	0,1	ND	ND	ND
	P3	3,5*	ND	ND	ND	0,1	ND	ND	ND
	P4	5,9*	0,1	ND	ND	0,2*	ND	ND	ND
	P5	37,7*	5,1*	ND	ND	0,1	ND	ND	ND
	P6	3,2*	ND	ND	ND	0,4*	ND	ND	ND
2 (chuvoso)	P1	10,3*	0,2*	ND	0,1*	0,1	ND	ND	ND
	P2	1,0*	0,3*	ND	ND	0,1	ND	0,1*	ND
	P3	3,6*	0,6*	ND	ND	0,1	ND	0,2*	ND
	P4	6,9*	0,3*	ND	0,1*	0,3*	0,8*	0,1*	0,1*
	P5	2,4*	0,6*	ND	ND	0,2*	0,4*	0,1*	ND
	P6	0,3	0,8*	ND	ND	0,2*	0,1*	0,2*	ND

Fe: ferro; Mn: manganês; Cd: cádmio; Pb: fósforo; Zn: zinco; Cr: cromo; Cu: cobre; Ni: níquel; ND: não detectado; *concentrações acima dos limites permitidos (Resolução CONAMA nº 357/2005) – classes especial e 2: Fe = 0,3 mg.L⁻¹; Mn = 0,1 mg.L⁻¹; Cd = 0,001 mg.L⁻¹; Pb = 0,01 mg.L⁻¹; Zn = 0,18 mg.L⁻¹; Ni = 0,025 mg.L⁻¹; Cr = 0,05 mg.L⁻¹; Cu = 0,009 mg.L⁻¹.

Cabe lembrar que a elevada concentração de metais, sedimentos e organismos na água aumenta a vulnerabilidade da saúde humana por meio da bioacumulação. Esta resulta na contaminação por metais pesados por meio de duas rotas: beber água contaminada que passou por tratamento inadequado, expondo a população à ingestão de metais em doses toleráveis, ou ingerir alimentos contaminados, como peixe (CHIBA *et al.*, 2011).

Em relação aos bioensaios, como pode ser observado na Tabela 5, o limite de 10% de mortalidade no controle foi assegurado para garantir a qualidade dos testes agudos.

P3, P4, P5 e P6 não apresentaram traços de toxicidade aguda, apesar das concentrações de metais pesados acima dos limites permitidos pela legislação brasileira, além da baixa concentração de OD em P3, P4 e P5 e da alta concentração de amônia em P3, P4 e P5 no período chuvoso. Cabe lembrar que a alta dureza pode ter diminuído o efeito tóxico dos metais nos organismos em estudo, uma vez que tem sido reconhecido que a toxicidade de alguns metais pesados para peixes de água doce é reduzida em águas duras (PASCOE; EVANS; WOODWORTH, 1986).

Contudo, a nascente (P1) apresentou indício de toxicidade as *Daphnias* em ambos os períodos, provavelmente por causa dos problemas de desmatamento de sua mata ciliar e de habitações próximas a ela, o que aumenta a chance de contaminação dela. Segundo Krupek e Felski (2006), a destruição da mata ciliar altera o índice de luminosidade incidente, a composição química e a temperatura da água, interferindo diretamente sobre as diferentes espécies ali encontradas, além de não reter poluentes e sedimentos que chegam aos cursos d'água.

Já P2 (área urbana) apresentou efeitos tóxicos agudos aos organismos *D. rerio* em ambos os períodos e indício de toxicidade para *D. similis* na segunda coleta, o que pode ser atribuído ao recebimento clandestino de efluentes domésticos, uma vez que os sistemas de águas residuais domésticos recebem muitos produtos químicos que são indevidamente descartados, incluindo cloro, solventes orgânicos e pesticidas. Ademais, alguns sabões e detergentes, particularmente os comerciais, têm se mostrado altamente tóxicos se inadequadamente tratados antes do descarte em corpos hídricos (SETAC, 2004).

Além disso, são comumente encontrados em águas residuais, assim como em águas superficiais do mundo todo, fármacos, produtos para cuidados pessoais, estrogênios (sintéticos e naturais) e subprodutos industriais, entre outras substâncias (SODRÉ; LOCATELLI; JARDIM, 2010). No entanto, segundo Leite, Afonso e Aquino (2010), os contaminantes provenientes de fármacos (de usos humano e animal) e produtos de limpeza e de higiene pessoal, presentes nos esgotos sanitários em concentrações da ordem de microgramas por litro ou nanogramas por litro, exercem efeitos tóxicos sobre animais silvestres, tais como desregulação endócrina.

Cabe ressaltar que, apesar dos valores de dureza estarem acima do recomendado pela norma (10 a 60 mg CaCO₃), segundo Nüsslein-Volhard e Dahm (2002), o *Danio rerio* é classificado como uma espécie de “água dura”, preferindo valores de dureza próximos a 100 mg.L⁻¹. Também se sabe que esses organismos se adaptam bem a diversas durezas de água (NBR 15.088:2011). Sendo assim, esses valores não seriam a causa da letalidade dos organismos.

Todavia, a toxicidade pode ter sido causada pelos efeitos do sinergismo entre os metais analisados. Wah Chu e Chow (2002) analisaram o sinergismo de 10 metais pesados e observaram o aumento da taxa de mortalidade de *Caenorhabditis elegans* mesmo que em baixas concentrações desses elementos, mostrando que a determinação da concentração desses metais e os ensaios realizados com cada um deles separadamente poderiam subestimar os riscos aos organismos.

Desse modo, por mais que se conheçam tais situações, é muito difícil prever qual ou quais poluentes são responsáveis pela toxicidade apresentada à biota aquática, haja vista que a toxicidade de uma amostra nem sempre depende da presença de um único componente, mas sim da interação de diferentes tipos e condições favoráveis, que podem resultar em alterações ou sinergismos, reduzindo ou acentuando os efeitos tóxicos individuais (MEYBECK & HELMER, 1992).

CONCLUSÕES

Observou-se a influência da sazonalidade nos resultados obtidos, uma vez que as concentrações de DBO_{5,20} foram maiores no período seco em comparação ao chuvoso, enquanto as de metais pesados foram maiores na época chuvosa em relação à seca, ocorrendo ainda a detecção de outros metais na primeira.

Além do mais, notou-se maior sensibilidade do organismo *D. rerio* nos ensaios realizados em relação a *D. similis* e que ocorreram efeitos tóxicos nos pontos na área urbana, por causa da baixa qualidade da água do córrego possivelmente ocasionada pelo lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e pela disposição incorreta de resíduos sólidos.

Recomenda-se a realização de ensaios ecotoxicológicos crônicos e de mutagenicidade ambiental, bem como análise do sedimento, uma vez que este age como um depósito, e os poluentes nele presentes podem retornar à coluna d'água e ocasionar diversos impactos ao ecossistema aquático.

Portanto, de modo que esses recursos se mantenham propícios ao desenvolvimento e à manutenção da vida aquática, são necessários esforços tanto governamentais quanto da comunidade habitante dessa microbacia, além de ações corretivas e do contínuo monitoramento da toxicidade nela.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, S.; JAVED, M.; JAVID, A. (2007) Studies on Acute Toxicity of Metals to the Fish (*Labeo rohita*). *International Journal of Agriculture & Biology*, v. 9, n. 2, p. 333-337.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2013) *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013*. Brasília: ANA. 432 p. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 3 fev. 2014.
- ALVES, S.D. (2010) *Estudo Comparativo da Sensibilidade de Dois Organismos Expostos a Efluentes Líquidos*. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22ª ed. Washington, D.C.: American Public Health Association. 1496 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009) *NBR 12.713: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp.* (Cladocera, Crustacea)*. Rio de Janeiro: ABNT. 23 p.
- _____. (2011) *NBR 15.088: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes*. Rio de Janeiro: ABNT. 22 p.
- BOLLMANN, H.A.; MARQUES, D.M.L.M. (2006) Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 343-352. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400007>
- BRANCO, S.M.; ROCHA, A.A. (1980) *Ecologia: educação ambiental, ciências do ambiente para universitários*. São Paulo: CETESB. 80 p.
- BRASIL. (2005) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Brasília. 27 p.
- _____. (2011) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. Brasília. 9 p.
- BURY, N.; GROSELL, M. (2003) Iron acquisition by teleost fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 135, n. 2, p. 97-105. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(03\)00021-8](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(03)00021-8)
- CAMPAGNA, A.F.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B.K.; ELER, M.N.; FENERICH-VERANI, N.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (2008) Effects of the copper in the survival, growth and gill morphology of *Danio rerio* (Cypriniformes, Cyprinidae). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 20, n. 3, p. 253-259.
- CHIBA, W.A.C.; PASSERINI, M.D.; BAILO, J.A.F.; TORRES, J.C.; TUNDISI, J.G. (2011) Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the southeast of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 4, p. 833-843. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842011000500004>
- CORRÊA, J.C.S. (2014) *Reuso de Água*. 29f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- DOMINGUES, D.F.; BERTOLETTI, E. (2006) Seleção, Manutenção e Cultivo de Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. *Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações*. São Carlos: RiMa. p. 153-184.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (2013) *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia – Freshwater*. EPA. Disponível em: <<http://water.epa.gov>>. Acesso em: 24 nov. 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2014) *Cidades e estados*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 16 dez. 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). (2014) *Portal*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- KRUPEK, R.A.; FELSKI, G. (2006) Avaliação da Cobertura Ripária de Rios e Riachos da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras, Região Centro-Sul do Estado do Paraná. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 8, n. 2, p. 179-188.
- LACERDA, L.D.; CARVALHO, C.E.V.; GOMES, M.P. (1989) Nota sobre a distribuição de Mn, Zn e Cu em Siris da Baía de Sepetiba. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 49, n. 3, p. 847-849.
- LEITE, G.S.; AFONSO, R.J.C.F.; AQUINO, S.F. (2010) Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada à espectrofotometria de massas tandem em alta resolução. *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 734-738.
- LIMA, D.P. (2013) *Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Amazônia, Brasil*. 147f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- MATO GROSSO DO SUL. (2012) Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Conselho Estadual de Controle Ambiental. *Deliberação nº 36, de 27 de junho de 2012*. Campo Grande. 23 p.
- MELNIKOV, P.; FREITAS, T.C.M. de. (2011) Evaluation of Acute Chromium (III) Toxicity in Relation to *Daphnia similis*. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 3, n. 2, p. 127-130. <http://doi.org/10.4236/jwarp.2011.32015>

- MEYBECK, M.; HELMER, R. (1992) An Introduction to Water quality. In: CHAPMAN, D. *Water quality Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press. 585 p.
- MORRIS, A.W. (1974) Seasonal variation of dissolved metals in inshore waters of the Menai Straits. *Marine Pollution Bulletin*, v. 5, n. 4, p. 54-59. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(74\)90113-1](https://doi.org/10.1016/0025-326X(74)90113-1)
- NÜSSLEIN-VOLHARD, C.; DAHM, R. (2002) *Zebrafish: a practical approach*. Nova York: Oxford University Press. 303 p.
- ODUM, E.P. (1988) *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara. 434 p.
- OFFEM, B.O.; AYOTUNDE, E.O. (2008) Toxicity of Lead to Freshwater Invertebrates (Water fleas; *Daphnia magna* and *Cyclop sp*) in Fish Ponds in a Tropical Floodplain. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 192, n. 1-4, p. 39-46. <http://doi.org/10.1007/s11270-008-9632-0>
- PASCOE, D.; EVANS, S.A.; WOODWORTH, J. (1986) Heavy metal toxicity to fish and the influence of water hardness. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 15, n. 5, p. 481-487. <https://doi.org/10.1007/bf01056559>
- PEDROZO, M.F.M.; LIMA, I.V. (2001) *Ecotoxicologia do cobre e seus compostos*. Salvador: CRA. 128 p.
- PEREIRA, N.A. (2007) *Subsídio às Políticas de Atuação Meio Ambiente Urbano: Bacia do Córrego Água Boa, Dourados - MS*. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana.
- RUBINGER, C.F. (2009) *Seleção de Métodos Biológicos para a Avaliação Toxicológica de Efluentes Industriais*. 71f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SANTOS, D.C.M. (2009) *Toxidez Aguda do Zinco em *Lambaris Astyanax aff. bimaculatus* (Linnaeus, 1758)*. 125f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SANTOS, G.N.; CRISTALDO, P.F.; ARCE, C.M.; SILVA, A.L.L.; NAKAGAKI, J.M. (2007) Composição e Distribuição de Larvas de Chironomidae (Insecta, Diptera) nos Córregos Curral de Arame e Água Boa, Dourados, MS. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, 2007, Caxambu. *Anais*. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br>>. Acesso em: 15 fev. 2014.
- SCARAMAL, K. (2005) *Qualidade das Águas do Córrego Água Boa em Relação a Efluentes Industriais*. 28f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados.
- SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. (2005) *Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos e sociais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 659 p.
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). (2004) *Technical issue paper: Whole Effluent Toxicity Testing*. Pensacola: SETAC. 4 p. Disponível em: <www.setac.org>. Acesso em: 19 dez. 2014.
- SODRÉ, F.F.; LOCATELLI, M.A.F.; JARDIM, W.F. (2010) Occurrence of Emerging Contaminants in Brazilian Drinking Waters: A Sewage-To-Tap Issue. *Water Air Soil Pollution*, v. 206, n. 1, p. 57-67. <http://doi.org/10.1007/s11270-009-0086-9>
- SOUZA, R.A. de. (2007) *Avaliação de Metais em Águas na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Vinhema, Mato Grosso do Sul*. 97f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (2010) *Final Report on Acute and Chronic Toxicity of Nitrate, Nitrite, Boron, Manganese, Fluoride, Chloride and Sulfate to Several Aquatic Animal Species*. EPA 905-R-10-002. Chicago: EPA. 174 p.
- WAH CHU, K.; CHOW, K.L. (2002) Synergistic toxicity of multiple heavy metals is revealed by a biological assay using a nematode and its transgenic derivative. *Aquatic Toxicology*, v. 61, n. 1-2, p. 53-64. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(02\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(02)00017-6)
- ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. (2006). *Ecotoxicologia aquática: Princípios e aplicações*. São Carlos: Rima. 464 p.