

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS NATURAIS

ÉRIC CESAR PAGLIARINI¹
VANESSA BEZERRA DE MENEZES OLIVEIRA²
EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA³

1 Introdução

Os impactos causados pelas ações antrópicas em cursos hídricos podem ser mensurados por diversos métodos quantitativos e qualitativos, que utilizam diferentes parâmetros para caracterizar os efeitos adversos causados nos meios biótico e abiótico das áreas de interesse. Entretanto, a avaliação ambiental ocorre comumente de maneira isolada para

-
1. Graduado em Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP, 2014. Trabalha desde 2015 como Engenheiro Ambiental na empresa JGP Consultoria e Gestão Ambiental no licenciamento ambiental de grandes empreendimentos. E-mail: ericpagli@gmail.com
 2. Graduada em Tecnologia em Saneamento Ambiental - Modalidade: Controle de Poluição Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2006. Mestre em Ecologia, Biodiversidade e Gestão de Ecossistemas pela Universidade de Aveiro - Portugal. Doutora pelo Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro (Portugal) e Universidade de Aarhus (Dinamarca). Possui grande interesse nos efeitos tóxicos causados por pesticidas, medicamentos veterinários e cobre em invertebrados terrestres, tais como: enquitreídeos, colêmbolos, minhocas, ácaros e ainda plantas. Realizou pós doutorado na Escola de Engenharia de São Carlos com bolsa FAPESP, onde estudou os efeitos dos agrotóxicos utilizados no cultivo de morango, batata inglesa e cana-de-açúcar sob comunidades edáficas, e sua problemática na manutenção da estrutura (ex: biodiversidade) e funções do solo (ex: degradação da matéria orgânica). Foi Professora Especialista Visitante na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas. Está envolvida no projeto temático: *Environmental effects of the pasture-sugarcane conversion and pasture intensification*, com apoio da FAPESP. Atualmente é professora colaboradora no Programa de Pós graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC/USP. E-mail: vanessa.ambiente@gmail.com
 3. Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (1986), mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (1991) e doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (1994). Contratado pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento, da EESC/USP desde 1997, atualmente é professor titular da Universidade de São Paulo, sendo responsável pelo Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada. Atua como revisor de artigos em periódicos, é assessor ad hoc da FAPESP, CNPq, CAPES e outras instituições de apoio à pesquisa e formação de recursos humanos. Desenvolve projetos de pesquisa, serviços de extensão à comunidade e orientação de alunos de graduação (Biologia, Engenharia Ambiental e Engenharia Civil) e pós-graduação (Ciências da Engenharia Ambiental) na área de Ecologia de ecossistemas, com ênfase em ecossistemas aquáticos e interfaces (lagos, reservatórios, rios, áreas alagadas), atuando principalmente nos seguintes temas: ecotoxicologia (aquática e terrestre), limnologia, biodiversidade e impacto ambiental. Durante 8 anos foi coordenador do programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e de agosto de 2007 a agosto de 2009 foi Diretor do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, da EESC/USP. Realizou entre 2011-2012 pós-doutoramento na Universidade de Sheffield, Inglaterra, na área de Ecotoxicologia tropical, sendo que desde 2013 é Presidente da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia. E-mail: elgaeta@sc.usp.br

cada parâmetro analisado, sendo escassos os métodos que integrem cada análise e que contribuam para uma melhor compreensão dos efeitos causados ao ecossistema como um todo.

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é um método que atende essa necessidade. Uma das metodologias adotadas dentro da ARE para integrar os diferentes efeitos observados ao ecossistema é a da TRIADE, proposta inicialmente por Long e Chapman (1985) para avaliação da qualidade de sedimentos, e que foi sendo aprimorada ao longo dos anos. Posteriormente, a metodologia foi adaptada para outros compartimentos ambientais e mais profundamente discutida por Jensen e Mesman (2006), os quais definem a ARE como uma técnica que calcula a probabilidade de efeitos ecológicos adversos ocorrerem em ecossistemas. Para tal avaliação, os dados ambientais são coletados, organizados e analisados, possibilitando a avaliação de impactos causados pelas diversas atividades antrópicas.

A caracterização dos riscos com base na TRIADE pode ser feita a partir da integração de três linhas de evidência, sendo elas: química, ecotoxicológica e ecológica. A primeira descreve quais substâncias químicas e a que concentrações o ambiente está exposto; a segunda analisa os efeitos sobre organismos de diferentes níveis tróficos por meio de testes padronizados e a terceira avalia de maneira qualitativa e quantitativa as características limnológicas/ecológicas do ecossistema.

Internacionalmente, os modelos para a caracterização de riscos são amplamente utilizados, devido principalmente à regulamentação realizada por órgãos ambientais americanos e europeus (GHEJU; BOGATU 2009). A boa estruturação internacional dos processos da ARE fez com que inúmeros trabalhos contendo suas aplicações fossem realizados, tendo a maioria enfoque em ambientes de clima temperado (WARD et al., 2007, GHEJU; BOGATU, 2009, RAND et al., 2010).

No contexto nacional, em 2011, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) publicou um documento caracterizando a Avaliação de Risco Ecológico e apresentando possíveis metodologias. O texto segue a caracterização da ARE feita pela USEPA e cita, entre as metodologias, a TRIADE de integração química, ecotoxicológica e ecológica. No entanto, mesmo com a caracterização realizada em 2011, ainda não existem normas padronizadas para a ARE no Brasil, sendo normalmente utilizadas àquelas descritas pela USEPA. Os primeiros passos com relação à normatização da ARE estão sendo dados junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio do Grupo Técnico de Risco Ecológico.

Das pesquisas envolvendo a metodologia da TRIADE no Brasil, podem ser citados os estudos de Ferraz (2008), que analisou e comparou os riscos para o rio Monjolinho, São Carlos/SP, para os períodos seco e chuvoso; de Sanchez (2012), que avaliou a qualidade de ecossistemas aquáticos na bacia hidrográfica do Lobo (Itirapina/Brotas, SP); e de Niemeyer et al. (2010), desenvolvido em uma área contaminada por metais na cidade de Santo Amaro/BA. Tallini e coautores (2012), por sua vez, utilizaram o protocolo proposto pela USEPA durante um programa de monitoramento para o Rio Jacuí, no município de São Jerônimo (RS), de modo a demonstrar que a ARE pode se tornar um instrumento fundamental na tomada de decisão para a gestão de ambientes aquáticos.

Verifica-se, assim, que novos estudos e aplicações da Avaliação de Risco Ecológico, demonstrando a viabilidade da análise integrada para os ecossistemas localizados em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, fazem-se necessários.

Desta forma, com o intuito de explorar a aplicação da TRIADE como método de Avaliação de Risco Ecológico em ambientes naturais tropicais, foi realizado um estudo no município de Bom Repouso, localizado no sul do estado de Minas Gerais, cuja principal atividade econômica é a agricultura, a partir do cultivo de morango e batata inglesa. Tais cultivos são realizados de modo intensivo, com o uso de agrotóxicos para controle de pragas, sendo comum a contaminação dos ecossistemas do entorno (BRIGANTE et al., 2007). A aplicação da ARE em Bom Repouso é viabilizada pela grande quantidade de informações descritas na literatura, que envolvem aspectos físicos, químicos, biológicos e ecotoxicológicos da matriz água.

2 Metodologia

2.1 Local de estudo

O município de Bom Repouso (MG), integrante da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, possui 993 nascentes catalogadas e é, portanto, de grande importância hídrica a toda sua bacia hidrográfica (CUNHA, 2009). Com área territorial de 229.845 km² e população estimada de 10.767 habitantes no ano de 2015 (IBGE, 2010), Bom Repouso localiza-se em uma região de elevada altitude e grande quantidade de encostas com declividades maiores que 45% e que, em sua maioria, não apresentam vegetação nativa (BRIGANTE et al., 2007).

Localizado em uma das principais regiões produtoras de morango no Brasil, o município vem sendo alvo de diversos estudos, que avaliam, principalmente, a toxicidade de agrotóxicos comumente utilizados nesse tipo de cultura no país, como por exemplo os inseticidas que contém a abamectina como ingrediente ativo, e sua possível alteração na qualidade da água e do solo da região (CASALI-PEREIRA et al., 2015; NUNES et al., 2016; VASCONCELOS et al., 2016; MENEZES-OLIVEIRA et al., 2018).

2.2 Desenho experimental

A aplicação da Avaliação de Risco Ecológico no município de Bom Repouso, MG foi dividida em duas fases, conforme descrito a seguir:

Fase 1 - Determinação do risco para o ano de 2008. As coletas foram realizadas entre os dias 23 e 26 de janeiro e entre 9 e 11 de julho por Rezende (2009). Os resultados estão descritos na dissertação denominada "*Avaliação das águas de abastecimento da área rural do município de Bom Repouso, MG*" e viabilizam uma comparação entre os períodos chuvoso e de seca de 2008, na região. Nesta fase, 34 estações de coleta foram analisadas em dois períodos, de forma a representar os diversos tipos de uso e ocupação do solo e das águas das nascentes.

Fase 2 - Avaliação de risco ecológico para o ano de 2014. As coletas foram realizadas nos dias 26 e 27 de abril, permitindo uma comparação entre os diferentes anos de amostragem e demonstrando a evolução do risco ecológico no município. Das 34 estações de coleta escolhidas por Rezende (2009), foram utilizadas 5 para a segunda fase deste trabalho, considerando os seguintes critérios: I) Coleta nos dois períodos amostrados em Rezende (2009); II) Características do entorno; III) Diferentes usos da água; e IV) Facilidade de acesso. Os 5 pontos de amostragem escolhidos foram caracterizados como: P1 - nascente difusa em região com significativa mata ciliar; P2 - água represada no alto de um morro; P3 - água de abastecimento coletivo em área central da cidade; P4 - caixa d'água com entorno bastante preservado e de utilização para abastecimento humano de agricultores; e P5 - água de abastecimento individual, em residência particular, proveniente de nascente próxima.

A coleta das amostras foi realizada utilizando-se recipientes plásticos de polietileno, que foram preservados a 4 °C, conforme estabelecido na norma NBR 9898.

2.3 Avaliação de Risco Ecológico (ARE)

A metodologia de Avaliação de Risco Ecológico utilizada neste trabalho foi adaptada daquela descrita por Jensen e Mesman (2006). Esta metodologia originalmente define um valor de risco para determinado ponto de amostragem, a partir de variáveis químicas, ecológicas e ecotoxicológicas, gerando um valor final entre 0 e 1, sendo o risco classificado como baixo quando determinado entre 0,000 e 0,250; moderado entre 0,251 e 0,500; alto entre 0,501 e 0,750 e altíssimo entre 0,751 e 1,000.

Neste trabalho, a Linha de Evidência Ecológica não foi utilizada, pois não foi possível obter dados ecológicos *in situ* para análise. No entanto, como parte importante da caracterização do ambiente, os parâmetros físico-químicos foram adotados empregando as fórmulas descritas para a linha de evidência química, porém, não integrando esses dados juntamente com os das substâncias químicas analisadas, mas sim, em uma nova LoE, denominada Físico-química, conforme metodologia descrita em Crévecoer et al. (2011).

Para as três linhas de evidência utilizadas, a definição de valores de referência a partir da definição de um ponto de controle no local da análise (*background*) fez-se necessária.

Dentre os pontos amostrados, P1 e P4 foram aqueles que apresentaram um entorno mais preservado, sendo P1 definido como ponto de referência no presente trabalho pelos resultados apresentados, principalmente com relação às análises químicas. Além disso, a correção dos valores encontrados foi realizada a partir de valores padrão de qualidade para cada contaminante, definidos pela Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005, para rios enquadrados na Classe 2, como o Rio Mogi-Guaçu.

Os parâmetros avaliados em cada Linha de Evidência (LoE), nos diferentes pontos de amostragem e períodos de coleta, são os seguintes:

- **LoE Química:** Ferro, Manganês, Chumbo, Cobre, Zinco, Cádmiu e Cromo;
- **LoE Físico-química:** pH, Condutividade e Oxigênio Dissolvido;
- **LoE Ecotoxicológica:** Ensaio Agudo - *D. similis* e Ensaio Crônico - *C. dubia*.

2.3.1 Linha de Evidência Química (LoE Química)

Conforme citado anteriormente, para a análise da Linha de Evidência Química foram avaliadas as concentrações totais dos metais ferro, manganês, cobre, zinco, cádmio e cromo.

Visando dar maior confiabilidade aos dados, foi realizada uma análise da relevância das variáveis a partir de um escalonamento, onde variáveis com maior grau de incerteza possuem menor peso (JENSEN; MESMAN, 2006). Dentre as variáveis analisadas, o peso máximo (1,0) foi atribuído aos metais chumbo, cobre, cádmio e cromo, e o peso de 0,5 foi atribuído aos metais ferro, manganês e zinco, devido ao menor impacto ambiental que a incidência desses elementos causa no meio aquático (PIVELLI; KATO, 2005).

A partir dos valores determinados durante as campanhas e dos valores considerados como referência para cada contaminante pela CONAMA N° 357/05, seguem as seguintes fórmulas para a quantificação dos riscos para a LoE Química:

- 1) Cálculo de R3 para cada contaminante, pela razão entre R1 e R2.
- 2) Cálculo do risco para cada contaminante:

$$R4 = 1 - \frac{1}{1 + R3}$$

- 3) Correção do valor em relação ao ponto de referência:

$$R5 = \frac{R4 - R4_{REF}}{1 - R4_{REF}}$$

- 4) Com o valor corrigido para cada substância, e sendo n o número de variáveis, calculou-se o risco combinado para todos os contaminantes com base na fórmula:

$$R6 = 1 - ((1 - R5)_1 \times (1 - R5)_2 \times (1 - R5)_3 \dots \times (1 - R5)_n)$$

Onde, R3 = pressão tóxica de cada substância/elemento; R2 = valores de referência para os contaminantes e R1 = concentração de cada substância/elemento, nas estações de coleta.

Com os valores de risco para cada variável definidos, um valor único de risco para esta linha de evidência foi determinado conforme as seguintes etapas:

- 1) Cálculo dos valores de $R1 = \log(1-X)$, onde X é o valor de risco (no caso associado à pressão tóxica e à concentração tóxica);
- 2) Cálculo das médias (R2) dos valores obtidos no passo 1;
- 3) Os valores obtidos no passo 2 foram transformados por meio da fórmula expressa como: $R3 = 1 - (10^{R2})$, onde R2 são os valores obtidos no passo 2 e R3 representa o risco integrado.

2.3.2 Linha de Evidência Físico-química (LoE Físico-química)

Os parâmetros definidos para a Linha de Evidência Físico-química (pH, condutividade e oxigênio dissolvido) foram medidos para todas as amostras coletadas nos diferentes pontos de estudo. Os valores de referência basearam-se também na resolução CONAMA Nº 357/05. No caso do pH, a faixa de referência varia entre 6 e 9 unidades. Desta forma, todos os valores medidos dentro desta faixa foram considerados como 1 (100%) e os demais foram calculados de acordo com a porcentagem que os mesmos se distanciam da faixa, seja para baixo ou para cima dos valores de referência.

A atribuição de pesos também pode ser aplicada para essa linha de evidência, seguindo os mesmos critérios da LoE Química. Porém, no estudo de caso realizado, determinou-se o peso 1 para as três variáveis utilizadas. O valor do risco com o escalonamento dos parâmetros físico-químicos foi determinado a partir dos passos definidos para a Linha de Evidência Química (vide item 2.3.1).

2.3.3 Linha de Evidência Ecotoxicológica (LoE Ecotoxicológica)

Os ensaios ecotoxicológicos são realizados para a avaliação da resposta de organismos-teste a elementos estressores presentes em um determinado compartimento ambiental. Os ensaios podem ser agudos, de curta duração, com análise de mortalidade e/ou imobilidade dos organismos teste; ou crônicos, que abrangem todo o ciclo de vida, avaliando parâmetros sub-letais como reprodução, crescimento e deformidades (ROMANELLI, 2004).

Na presente pesquisa, foi considerado o ensaio agudo para a espécie *Daphnia similis*, tendo como parâmetro de avaliação (*endpoint*) a mortalidade e/ou imobilidade dos organismos, conforme metodologia definida na norma ABNT NBR 12.713, e o ensaio crônico para a espécie *Ceriodaphnia dubia*, tendo como *endpoint* a sobrevivência e a reprodução no período de oito dias, conforme metodologia apresentada na Norma ABNT NBR 13.373, de 03 de dezembro de 2010.

Os cálculos dos riscos para essa linha de evidência seguiram o modelo proposto por Jensen e Mesman (2006), em que os valores de toxicidade encontrados são escalonados pelas seguintes etapas:

- 1) Divisão por 100 dos valores de mortalidade e/ou imobilidade expressos em porcentagem (Obtenção de valores R1);
- 2) Obtenção do risco pela fórmula:

$$R2 = \frac{(R1 - R_{REF})}{(1 - R_{REF})}$$

Com os valores de risco definidos para os ensaios agudo e crônico, realizou-se os cálculos para a definição do risco dessa LoE da seguinte maneira:

- 1) Cálculo dos valores de $R1 = \log(1 - X)$, onde X é o valor de risco;

- 2) Cálculo das médias (R2) dos valores obtidos no passo 1;
- 3) Os valores obtidos no passo 2 foram transformados por meio da fórmula expressa como $R3 = 1 - 10^{R2}$, onde R3 representa o risco integrado.

2.3.4 Integração das Linhas de Evidência

A avaliação de risco ecológico baseada na TRIADE tem como resultado final uma análise integrada das linhas de evidência analisadas (química, ecotoxicológica e físico-química), de forma a obter um valor único e integrado para o risco existente nos ecossistemas em estudo, a partir dos parâmetros avaliados. Tal integração é realizada de acordo com os seguintes passos:

- 1) Cálculo dos valores de $R1 = \log(1 - X)$, onde X é o valor de risco (associado a cada linha de evidência);
- 2) Cálculo das médias aritméticas ponderadas (R2) dos valores obtidos no para R1;
- 3) Transformação dos valores obtidos para R2 por meio da fórmula expressa como $R3 = 1 - 10^{R2}$, onde R2 onde representa o risco integrado final para cada ponto amostral.

3 Resultados

A Tabela 1, a seguir, apresenta os resultados analíticos de cada parâmetro para as três Linhas de Evidência. Os valores encontrados abaixo do Limite de Quantificação (LQ) foram considerados como 0.

Tabela 1: Resultados analíticos dos parâmetros para cada Linha de Evidência.

Ponto:	LoE Química															VMP*
	P1			P2			P3			P4			P5			
	jan/08	jul/08	abr/14	jan/08	jul/08	abr/14	jan/08	jul/08	abr/14	jan/08	jul/08	abr/14	jan/08	jul/08	abr/14	
Ferro (mg/L Fe)	0	0	0,422	0	0	0,214	0	0	0,165	11,09	0	0,553	0	0	0,200	0,300
Manganês (mg/L Mn)	0	0	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0,027	0	0	0	0,100
Chumbo (mg/L Pb)	0	0	0,450	0	0	0,190	0	0	0,430	0	0	0,190	0	0	0,140	0,010
Cobre (mg/L Cu)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0	0	0	0	0	0	0,009
Zinco (mg/L Zn)	0	0	0,076	0	0,002	0,072	0	0	0,071	0	0,002	0,179	0	0,006	0,064	0,180
Cádmio (mg/L Cd)	0	0	0,085	0	0	0,092	0	0	0,067	0	0	0,101	0	0	0,960	0,001
Cromo (mg/L Cr)	0,019	0	0	0,023	0	0	0,018	0	0	0,024	0	0	0,018	0	0	0,050
	LoE Físico-química															
pH	6,420	7,790	5,830	6,700	7,700	5,680	6,520	6,520	6,455	5,700	5,380	4,740	6,230	6,410	5,500	6,0 a 9,0
Condutividade (µS/cm)	12,00	20,00	10,00	21,00	25,33	17,00	62,67	55,00	35,00	13,00	15,33	11,00	21,00	22,00	23,00	6,3
OD (mg/L)	7,780	7,140	10,100	9,420	8,070	10,300	3,070	5,640	8,360	4,820	6,390	9,610	5,650	7,950	8,470	> 5,0
	LoE Ecotoxicológica (mortalidade %)															
<i>D. similis</i>	25	5	0	0	100	0	0	80	20	0	10	5	35	5	10	-
<i>C. dubia</i>	90	100	60	70	0	0	N.R.**	100	50	N.R.**	100	40	60	100	0	-

* VPM: Valor máximo permitido pela CONAMA N^o 357/2005 para rios de Classe 2 – Águas Doces

** N.R.: Ensaios Não Realizados

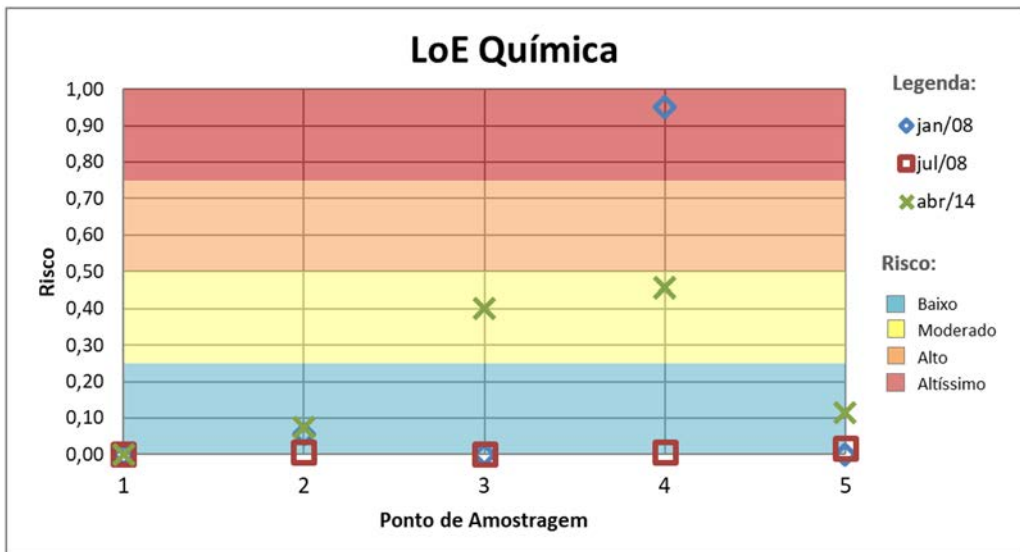
*** Os valores em negrito são àqueles em desconformidade com a CONAMA N^o 357/2005

Os valores de risco encontrados nos cinco pontos de amostragem para os três períodos para a Linha de Evidência Química são apresentados na Figura 1. O único valor de risco considerado altíssimo foi encontrado em janeiro/2008, em P4, sendo que o principal elemento responsável por este resultado foi o ferro, com a concentração de 11,09 mg.L⁻¹, muito superior ao padrão estabelecido na CONAMA N^o 357/2005 para este metal (0,300 mg.L⁻¹).

No mês de julho/2008, a concentração de zinco encontrada em P2 e P4 (0,002 mg.L⁻¹) e em P5 (0,006 mg.L⁻¹) foi responsável pelos valores de risco baixo encontrados nesses pontos de amostragem.

Para a análise realizada em abril/2014, nenhum valor acima dos limites normativos foi encontrado para os metais manganês, cobre, zinco e cromo. Para chumbo e cádmio, porém, todas as concentrações estiveram acima dos valores normativos de 0,001 mg.L⁻¹, tendo a concentração de chumbo variado entre 0,140 mg.L⁻¹ (P5) e 0,450 (P1) e a de cádmio entre 0,067 (P3) e 0,101 mg.L⁻¹ (P4). Para o metal ferro, o valor de referência CONAMA (0,300 mg.L⁻¹) foi ultrapassado apenas em P4, que obteve concentração de 0,553 mg.L⁻¹. Em dois dos pontos amostrados nesse período, o risco para a LoE Química foi determinado como baixo, tendo sido registrado em P2 o valor de risco de 0,075 e em P5 de 0,113. Outros dois pontos apresentaram risco moderado, sendo eles P4, com valor de 0,318 e P3, com 0,400. É importante ressaltar que P1 tem o valor de risco estipulado como 0 (zero) por ter sido utilizado como ponto de referência para os demais.

Figura 1 - Risco associado à Linha de Evidência Química, para os cinco pontos de amostragem, nos três períodos de análise no município de Bom Repouso



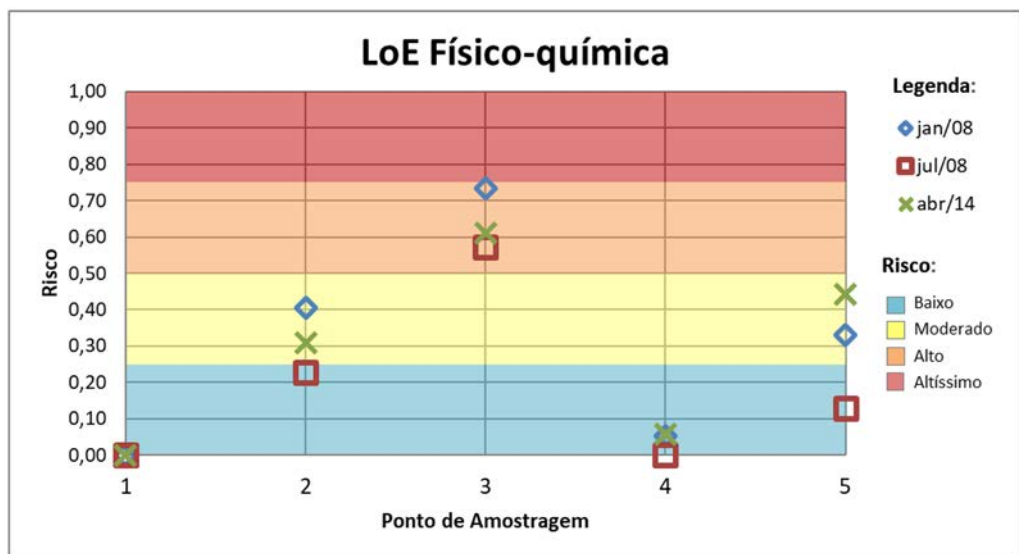
Fonte: Elaboração própria

Na LoE Físico-química, para as três variáveis analisadas, foram obtidos valores fora dos limites estabelecidos pela legislação vigente, sendo que para o pH, o menor valor apresentado foi de 4,74 (P4 em abril/2014); para a condutividade o maior valor foi de 62,67 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P3 em janeiro/2008) e para o oxigênio dissolvido o menor valor foi de 3,07 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em (P3 em janeiro/2008).

O risco associado a essa linha de evidência variou entre baixo e alto, tendo o risco moderado sido alcançado em quatro das quinze análises, variando entre 0,31 (P2 em abril/2014) e 0,44 (P5 em abril/2014). O risco considerado alto foi encontrado em P3 nos três períodos, com valor de 0,735 para janeiro/2008, de 0,571 para julho/2008 e de 0,611 para abril/2014.

Destaca-se, novamente, que P1 não teve seu risco valorado por ter sido utilizado como referencial. Os riscos associados à Linha de Evidência Ecológica podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Risco associado à Linha de Evidência Físico-química, para os cinco pontos de amostragem, nos três períodos de análise no município de Bom Repouso



Fonte: Elaboração própria

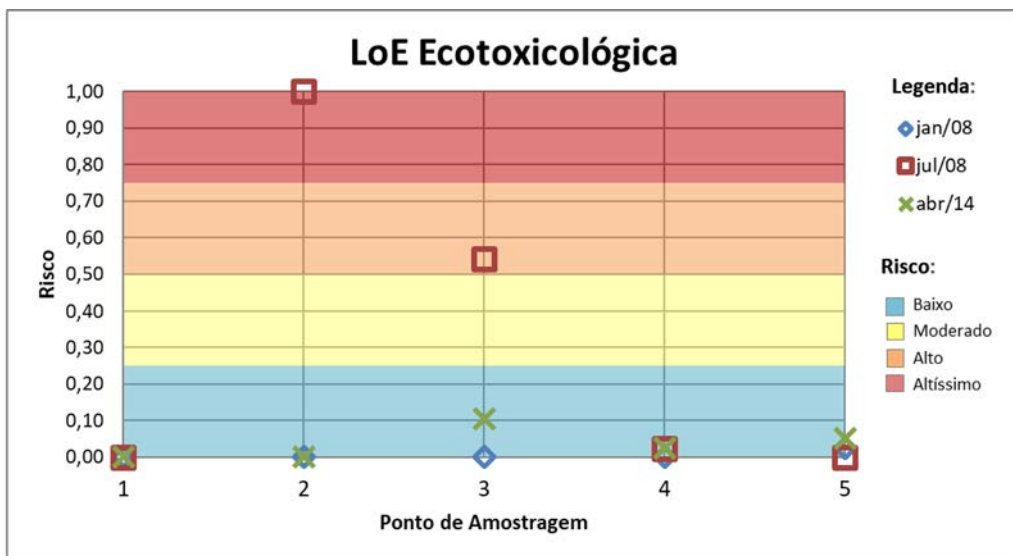
Para a Linha de Evidência Ecotoxicológica, os resultados de P1 também foram utilizados como referencial. Entretanto, o cenário encontrado para a LoE Ecotoxicológica foi diferente do apresentado para as LoEs anteriores, pois foi observada alta toxicidade para as espécies *Daphnia similis* (teste de toxicidade aguda) e *Ceriodaphnia dubia* (teste de toxicidade crônica) neste ponto. Embora tal toxicidade no ponto de referência não impossibilite o método, isto indica que mesmo o ponto de controle não está totalmente livre de contaminação.

Para o mês de janeiro/2008, a imobilidade apresentada para o ponto de referência (P1) foi de 25% dos organismos no teste agudo e de 90% no teste crônico. Para o mês de julho/2008, a toxicidade identificada em P1 foi de 5% para o teste agudo, e de 100% para o teste crônico, inviabilizando assim o equacionamento de risco para os demais pontos do teste crônico neste período. Para abril/2014 foram identificados efeitos de imobilidade somente no teste crônico, com 60% dos organismos-teste imóveis ou mortos ao final do teste, valor superior aos demais pontos.

Conforme proposto pela metodologia, mesmo tendo apresentado toxicidade, o risco do ponto referencial (P1) foi considerado zero. Para os demais pontos, o risco em janeiro/2008 foi nulo devido à toxicidade inferior ao do ponto de referência, com exceção de P5, que obteve um risco de 0,069 devido à mortalidade encontrada no teste agudo (35%).

Para julho/2008, foi valorado risco apenas para o teste agudo e o risco encontrado variou de 0 (zero) para P5 a 1,000 para P2. Em abril/2014, o risco desta Linha de Evidência variou entre 0 (zero) para P2 e 0,106 para P3, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica, para os cinco pontos de amostragem, e os três períodos de análise no município de Bom Repouso



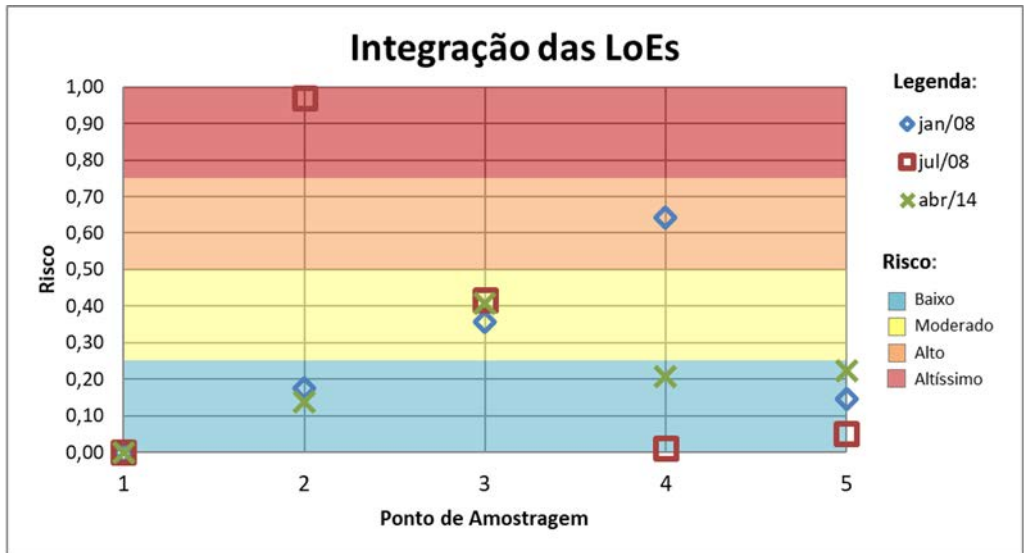
Fonte: Elaboração própria

Na integração das linhas de evidência química, físico-química e ecotoxicológica, ao comparar os três períodos analisados, nota-se que, no mês de julho/2008, foi obtido o maior risco em P2 e P3, devido à alta toxicidade observada no teste agudo realizado para a LoE Ecotoxicológica, muito superior à do ponto de controle. No mês de janeiro/2008, foi obtido o maior risco em P4, devido à alta concentração de ferro encontrada para a

LoE Química e, em abril/2014, foi observado o maior risco associado a P5, devido ao risco encontrado na LoE Físico-química.

A análise individual de cada amostragem demonstra risco alto para P4 no mês de janeiro/2008, e altíssimo para P2 em julho/2008. Os resultados dos valores de risco para cada ponto, nos três períodos, são demonstrados na Figura 4.

Figura 4 - Risco integrado para os cinco pontos de coleta e três períodos de análise, no município de Bom Repouso



Fonte: Elaboração própria

4 Discussão

Para a LoE Química, foram encontradas concentrações acima das permitidas pela legislação CONAMA N^o 357/05 em todos os pontos de amostragem para os metais chumbo e o cádmio em abril/2014.

Embora as concentrações desses metais estejam em desacordo com a legislação vigente, os valores de risco ecológico para os pontos em questão não foram alterados. Este resultado deve-se principalmente à alta concentração de metais encontrada no ponto de amostragem utilizado como referência (P1). Metais pesados, como chumbo e cádmio, mesmo em baixas concentrações, podem trazer efeitos adversos ao sistema hídrico e à saúde dos consumidores, visto que os sistemas convencionais de tratamento de água e esgoto não possuem processos eficientes de remoção desses metais, conforme sugerem Piveli e Kato (2005). Os mesmos autores destacam ainda que as principais fontes desses metais na água são os efluentes das indústrias extrativistas e químicas.

O metal ferro destacou-se como o mais abundante ($11,09 \text{ mg.L}^{-1}$) para P2 em julho/2008, com a concentração observada sendo trinta e sete vezes superior ao valor normativo ($0,300 \text{ mg.L}^{-1}$). Embora o ferro seja um metal traço comumente determinado em águas tropicais (BRIGANTE et al., 2003), em altas concentrações pode levar a um desequilíbrio no ecossistema, favorecendo a proliferação excessiva de organismos planc-tônicos (GUIMARÃES, 2016) e podendo causar problemas no abastecimento público por meio, por exemplo, da deposição de ferro-bactérias que conferem cor e sabor à água, e podem provocar ainda manchas em roupas e utensílios domésticos (PIVELI; KATO, 2005).

Para a LoE Química, a atribuição de pesos foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Jensen e Mesman (2006), a qual destaca a importância do escalonamento dos valores obtidos por permitir evidenciar grupos específicos de interesse para o ambiente estudado e diminuir erros e incertezas nos testes realizados. Verificou-se, no entanto, que é preciso cautela e conhecimento da área de estudo para a correta atribuição dos pesos, uma vez que a mesma pode variar de acordo com a percepção dos autores e este pode ser um fator conflitante.

A Linha de Evidência Físico-química foi a única a não apresentar riscos altíssimos para nenhum ponto, tendo os mesmos variado entre baixo e alto, embora os três parâ-metros avaliados tenham sido mensurados fora dos padrões da CONAMA N° 357/2005. Entretanto, a utilização dos parâmetros físico-químicos como sendo parâmetros químicos não é muito clara. É possível encontrar trabalhos onde os parâmetros físico-químicos não são utilizados para cálculo, entrando em consideração apenas para discussão dos resulta-dos encontrados, tanto na parte química quanto na ecológica (GUTIÉRREZ et al., 2015; RIBÉ et al., 2012), trabalhos em que eles são utilizados na parte química (MENDES et al., 2017) e, ainda, como optamos por fazer neste artigo, trabalhos em que os parâmetros físico-químicos são calculados como se fossem parâmetros químicos, mas entram na ARE como uma outra linha de evidência (CRÉVECOEUR et al., 2011).

O cálculo do risco relacionado à Linha de Evidência Ecotoxicológica apresentou maior variação quando comparado aos demais. Risco altíssimo e alto foram observados para as amostras de P2 e P3 em julho/2008, respectivamente, e risco baixo foi determinado para as demais amostras. Nas duas amostragens de julho/2008 citadas, os maiores riscos foram causados pela imobilidade encontrada no teste agudo com *D. similis* (de 100% para P2 e 80% para P3), que foi muito superior à imobilidade de 25% encontrada para o ponto de referência (P1). A elevada toxicidade relacionada às coletas realizadas durante o inverno (Julho/2008) para os pontos onde a água encontra-se represada com intuito de abastecimento (P2 e P3) pode estar relacionada à baixa precipitação característica desse período do ano na região em estudo, o que diminui a vazão dos corpos d'água, podendo aumentar a concentração dos metais, bem como sua biodisponibilidade para os organismos aquáticos.

É importante ressaltar que, dentro da região amostrada, não foi encontrado um local totalmente livre de contaminação e que pudesse ser utilizado como ponto de referência ideal, o que é uma situação comum em regiões agrícolas. As condições de preservação do entorno, que indicaram P1 como o melhor ponto para ser utilizado como referencial, foram consideradas insuficientes para garantir a qualidade da água nos locais amostrados.

O impacto das ações antrópicas nas nascentes da região também foi discutido no trabalho de Rezende (2009), que demonstrou que todas as 34 estações de coleta avaliadas em janeiro e julho de 2008 apresentavam pelo menos uma variável em desacordo com a legislação ambiental vigente.

Na integração das três linhas de evidência, foi determinado um baixo risco ecológico para 10 (dez) das 15 (quinze) amostragens realizadas, risco moderado para outras 3 (três) amostragens, além da análise de janeiro/2008 para P4 onde foi determinado um alto risco, devido, principalmente, ao altíssimo risco relacionado à Linha de Evidência Química, e da amostragem de julho/2008 para P2, onde foi determinado um risco altíssimo, devido à imobilidade dos organismos nos testes ecotoxicológicos.

O alto risco em P4 em janeiro/2008 é especialmente preocupante por se tratar de um local destinado diretamente ao abastecimento humano, podendo a contaminação determinada ser prejudicial à saúde dos mesmos. Nota-se, entretanto, que as análises realizadas posteriormente (julho/2008 e abril/2014) não apresentaram tal risco, podendo a contaminação ter ocorrido de maneira pontual no período.

Com relação às diferentes estações climáticas analisadas, Rezende (2009) concluiu que, para as análises de janeiro e julho/2008, a variação entre os períodos chuvoso e seco se deu em algumas variáveis analisadas como o oxigênio dissolvido, para o qual as menores temperaturas do período seco favorecem a solubilização do oxigênio e a concentração de metais. Embora o risco obtido para a LoE Química no período chuvoso (janeiro/2008) tenha se destacado dos demais, a análise do risco integrado nos diferentes pontos não identificou um padrão que permita a comparação entre as estações climáticas analisadas.

Do mesmo modo, a evolução do risco entre os anos de 2008 e 2014 também não ocorreu de maneira uniforme para todos os pontos de amostragem, uma vez que o risco de julho/2008 foi maior que o de abril/2014 em P2 e P3. Para P5, porém, uma evolução do risco ecológico ao longo do tempo foi identificada, sendo que o valor de risco encontrado em abril/2014 (0,260) foi superior aos encontrados em janeiro e julho de 2008 (0,129 e 0,228, respectivamente), devido, principalmente, às concentrações acima dos valores de referência de metal cádmio no ano de 2014.

Além da presença de metais e dos parâmetros físico-químicos em desconformidade com a legislação vigente, a elevada toxicidade observada em todos os pontos de amostragem pode ainda estar relacionada com a utilização de agrotóxicos e fertilizantes em excesso (não determinados nas análises químicas), os quais são rotineiramente aplicados nos cultivos convencionais de morango e batata inglesa, principais produtos da economia local em Bom Repouso. A entrada dos agrotóxicos no ambiente pode ocorrer de diversas maneiras, como a partir da deriva do produto durante a aplicação, escoamento superficial, erosão, lixiviação ou volatilização depois do contato inicial com o solo (DORES; DE-LAMONICA, 1999).

Um agrotóxico bastante utilizado na região é o inseticida Vertimec® 18 EC, cujo ingrediente ativo é a abamectina. Vanderlei (2015) analisou os efeitos e o destino da abamectina no ecossistema aquático rural de Bom Repouso por meio de testes ecotoxicológicos, utilizando organismos representantes de diferentes níveis tróficos, em associação com modelos matemáticos para cálculo da dispersão dos contaminantes no ambiente,

e concluiu que a concentração do contaminante nos cursos d'água pode ser de até 800 vezes mais elevada que aquela considerada segura para 95% das espécies.

Os efeitos do inseticida Vertimec® 18 EC foram também avaliados para o cladóceros *Ceriodaphnia silvestrii* por meio de testes agudos e crônicos (CASALI-PEREIRA et al., 2015). O teste agudo revelou a imobilização de 50% dos organismos teste (EC_{50}), em 48 horas, na concentração de 1,47 $\mu\text{g a.i./L}$. O teste crônico, por sua vez, não demonstrou efeitos para a sobrevivência e a fertilidade do organismo-teste em concentrações de 169 e 84 ng a.i./L , respectivamente. Além dos organismos aquáticos, os efeitos do inseticida foram também avaliados em anfíbios (*Lithobates catesbeianus*), por meio de teste de fuga e crônico (VANCONCELOS et al. 2016) e em organismos terrestres (*Eisenia andrei*, *Folsomia candida*, *Hypoaspis aculeifer* e *Enchytraeus crypticus*) (NUNES et al., 2016; MENEZES-OLIVEIRA et al., 2018), por meio de teste agudo, demonstrando os efeitos à biota aquática e terrestre, respectivamente.

5 Conclusão

A metodologia utilizada para a quantificação do risco demonstrou-se eficaz na valoração do grau de degradação no estudo de caso apresentado. Com isso, a presente pesquisa alcançou o objetivo de promover uma análise integrada da matriz água a partir do método descritivo da ARE, gerando valores de risco condizentes com a realidade observada no município de Bom Repouso.

As três linhas de evidência utilizadas são complementares e importantes para a verificação da qualidade da água, visto que, no estudo de caso, as classificações de risco encontradas para cada LoE foram diferentes. Neste sentido, vale ressaltar que os parâmetros físico-químicos se mostraram importantes no presente estudo para compor a TRIADE, colocados como uma LoE diferente da LoE Química.

A avaliação de risco ecológico obtida pelo presente método quantifica, mas não qualifica a origem da degradação ambiental, não possibilitando a identificação das causas da poluição do sistema, o que demonstra a importância da caracterização realizada em campo, da pesquisa realizada a partir de dados primários e secundários sobre a região e de análises adicionais, podendo cada variável ser avaliada individualmente, dando subsídios para a adoção de medidas preventivas, mitigadoras ou de tratamento para o corpo d'água.

A determinação do ponto de referência e dos pesos de cada variável são as principais incertezas do método proposto por Jensen e Mesman (2006) e requerem mais estudos, no intuito de diminuir os erros associados aos cálculos.

Deste modo, apesar das incertezas observadas, a presente pesquisa demonstrou o avançado grau de degradação das nascentes do município de Bom Repouso servindo ainda como incentivo à elaboração de metodologias padronizadas para a Avaliação de Risco Ecológico em ambientes tropicais, de modo a permitir que a ARE seja utilizada em âmbito legal para a real validação do risco determinado nesse tipo de ecossistema.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9898. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. 1987.
- _____. NBR 12713. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustacea)**. 2ª ed. 2004.
- _____. NBR 13373. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Cladocera, Crustacea)**. 2ª ed. 2005.
- BRIGANTE, J.; DA COSTA, J. N. M. N.; MENDONÇA, A. H.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Ações de Restauração Florestal: Valorização dos Recursos Florestais da Bacia Hidrográfica de Montante do Rio Mogi-Guaçu. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org). **Projeto Mogi-Guaçu: Desenvolvendo Ações Ambientais**. São Carlos. RiMa. 2007.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. O Projeto Mogi-Guaçu. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org). **Projeto Mogi-Guaçu: Desenvolvendo Ações Ambientais**. São Carlos. RiMa. 2007.
- BRIGANTE, J.; SILVA, M.R.C.; QUEIROZ, L.A.; COPPI, E. Quantificação de metais na água e no sedimento do rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E.L.G. **Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos. RiMa. 2003. 255p.
- CASALI-PEREIRA, M. P.; DAAM, M. A.; RESENDE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; BOTTA, C. M. R. Toxicity of Vertimec® 18 EC (active ingrediente abamectin) to the neotropical cladoceran *Ceriodaphnia silvestrii*. **Chemosphere**. Elsevier. Ed. 139. 2015.
- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM). **Avaliação de risco ecológico: conceitos básicos, metodologia e estudo de caso**. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Rio de Janeiro. 126p. 2011.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357**, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CRÉVECOEUR, S.; DEBACKER, V.; JOAQUIM-JUSTO, C.; DOBERT, S.; SCIPPO, M.; DEJOGHE, W. et al. Groundwater quality assessment of one former industrial site in Belgium using a TRIAD-like approach. **Environmental Pollution** 159. Elsevier. 2011.
- CUNHA, G. P. Q. **Caracterização ambiental da região de montante do rio Mogi-Guaçu (Bom Repouso - MG): estratégias para replicabilidade e diretrizes para elaboração do plano de adequação ambiental**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). São Carlos. 2009.
- DORES, E. F. G. C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. **Contaminação do Ambiente Aquático por pesticidas: Vias de Contaminação e Dinâmica dos Pesticidas no Ambiente**

Aquático. Pesticidas: Ecotoxicologia e Meio Ambiente. Curitiba. 1999.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2a Edição, Rio de Janeiro. Interciência Ltda. 1998. 602p.

FERRAZ, A. P. **Avaliação de risco ecológico para o rio Monjolinho (São Carlos/SP)**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), São Carlos. 2008.

GHEJU, M.; BOGATU, C. **Preliminary Ecological Risk Assessment to Aquatic Environment of Bega River due to Presence of Ammonia in Treated Sewage Effluent**. Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. 2009.

GUIMARÃES, M. Os danos escondidos na lama: Argila fina e alto teor de metais no material liberado pelo rompimento das barragens em Minas Gerais podem alterar dinâmica ecológica e de sedimentos da foz do rio Doce. **Revista Pesquisa FAPESP**. Ed. 239, Janeiro 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/01/12/os-danos-escondidos-na-lama/>>. Acesso em 07 jun. 2016.

GUTIÉRREZ, L.; GARBISUB, C.; CIPRIANA, E.; BECERRILC, J. M.; SOTOD, M.; ETXEBARRIAE, J. et al. Application of ecological risk assessment based on a novel TRIAD-tiered approach to contaminated soil surrounding a closed non-sealed land. **Science of the Total Environment** 514. Elsevier. 2015.

HANAI, F. Y. **Sistema de indicadores de sustentabilidade: uma aplicação ao contexto de desenvolvimento do turismo da região de Bueno Brandão, Estado de Minas Gerais, Brasil**. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). São Carlos. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. Dados referentes ao município de Bom Repouso, MG, fornecidos em meio eletrônico. 2010.

JENSEN, J.; MESMAN, M. (eds). **Ecological risk assessment of contaminated land Decision support for site specific investigations**. 2006. 136 p.

LONG, E. R.; CHAPMAN, P. M. A Sediment Quality Triad: Measures of Sediment Contamination, Toxicity and Infaunal Community Composition in Puget Sound. **Mantle Pollution Bulletin**. Volume 16. Number 10. pp 405-415. 1985.

MENDES, M. P.; SALOMÃO, A. L. S.; NIEMEYER, J. C.; MARQUE, M. Ecological Risk Assessment in a Tropical Wetland Contaminated with Gasoline: Tier 1. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**. 2017.

MENEZES-OLIVEIRA, V.B.; BIANCHI, M. O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Hazard Assessment of the Pesticides Kraft 36 EC and Score in a Tropical Natural Soil Using an Ecotoxicological Test Battery. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 2018.

NIEMEYER, J. C.; MOREIRA-SANTOS, M.; NOGUEIRA, M. A.; CARVALHO, G. M.; RIBEIRO, R.; SILVA, et al. Environmental risk assessment of metal-contaminated area in the Tropics. Tier I: screening phase. **Ecotoxicology**. 2010.

NIVA, C. C.; NIEMEYER, J. C.; DA SILVA JÚNIOR, F. M. R.; NUNES, M. E. T.; DE SOUSA, D. L.; ARAGÃO, C. W. S. et al. Soil ecotoxicology in Brazil is taking its course. **Environ Sci Pollut Res.** 2016.

NUNES, M. E. T.; DAAM, M. A.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Survival, morphology and reproduction of *Eisenia andrei* (Annelida, Oligochaeta) as affected by Vertimec® 18 EC (a.i. abamectin) in tests performed under tropical conditions. **Applied Soil Ecology.** ed. 100. Elsevier. 2016.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos.** 01. ed. São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

RAND, G. M.; CARRINGER, J. F.; GARDINALLI, P. R.; J. CASTRO. **Endosulfan and its metabolite, endosulfan sulfate, in freshwater ecosystems of South Florida: a probabilistic aquatic ecological risk assessment.** 22p. 2010.

REZENDE, J. C.; **Avaliação das Águas de Abastecimento da Área Rural do Município de Bom Repouso, MG.** Monografia de Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Universidade de São Paulo (USP). São Carlos. 2009.

RIBÉA, V., AULENIUSA, E.; NEHRENHEIMA, E.; MARTELLB, U.; ODLAR, M. Applying the Triad method in a risk assessment of a former surface treatment and metal industry site. **Journal of Hazardous Materials** 207–208. Elsevier. 2012.

ROMANELLI, M. F. **Avaliação da toxicidade aguda e crônica dos surfactantes DSS e LAS submetidos à irradiação com feixes de elétrons,** p. 10. IPEN, São Paulo. 2004.

SANCHEZ, A. L. **Análise de risco ecológico para o diagnóstico de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos continentais tropicais.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SANCHEZ, A. L. **Avaliação de risco ecológico de pesticidas em ambientes aquáticos continentais tropicais com ênfase na biodiversidade e nas funções e serviços ecossistêmicos.** Qualificação (Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental). EESC-USP, São Carlos. 2013.

TALLINI, K.; GUIMARÃES, L. S. P.; FACHEL, J. M. G.; RODRIGUEZ, M. T. R. **Estabelecimento de Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico em Ambiente Aquático tendo o Programa de Monitoramento do Rio Jacuí, São Jerônimo (RS).** **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.** v. 7, n 1, 55-63. 2012.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Framework for ecological risk assessment.** Risk Assessment Forum, EPA/630/R-92/001. 1992.

VANDERLEI, M. R. **Efeitos dos agrotóxicos Kraft®36EC e Score®250EC (e seus princípios ativos) em ecossistemas aquáticos: análises comparativas e ecossistêmicas.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

VASCONCELOS, A. M.; DAAM, M. A.; DOS SANTOS, L. R. A.; SANCHES, A. L. M.; ARAÚJO, C. V. M.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **Acute and chronic sensitivity, avoidance behavior and sensitive life stages of bullfrog tadpoles exposed to the biopesticide abamectin.** *Ecotoxicology*. Springer Science + Business Media New York. 2016.

WARD, S.; AUGSPUGER, T.; DWYER, F. J.; KANE, C. & C. G. INGERSOLL. **Risk assessment of water quality in three North Carolina, USA, streams supporting federally endangered freshwater mussels (Unionidae).** *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2007.

Submetido em: 01/04/2017

Aceito em: 29/11/2018

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0292r2vu19L1AO2019;22:e02922>

Artigo Original

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS NATURAIS

Resumo: A presente pesquisa emprega o método de Avaliação de Risco Ecológico (ARE) para a valoração da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos em águas de abastecimento de Bom Repouso (MG), município onde a agricultura causou um avançado grau de degradação de suas nascentes. A metodologia utilizada se baseia na integração de diferentes variáveis, divididas em três linhas de evidência (química, físico-química e ecotoxicológica), e permite a valoração do risco (entre 0,0 e 1,0) no ambiente amostrado. Foram avaliados cinco pontos de amostragem, em três períodos, tendo os resultados variado entre as quatro possíveis classificações (de baixo a altíssimo), não sendo possível identificar um padrão de evolução de risco entre eles. Deste modo, o método utilizado demonstrou-se eficiente na valoração do grau de degradação do ambiente, porém, estudos adicionais são requeridos para aprimoramento deste tipo de avaliação de impacto sistêmico com base na valoração de degradação do ambiente.

Palavras-chave: Avaliação de Risco Ecológico (ARE), Tríade Toxicológica, Município de Bom Repouso.

Abstract: The present research employs the Ecological Risk Assessment (ERA) method to evaluate the probability of adverse effects in the water supply of Bom Repouso (MG), a city where the agriculture has caused an advanced degree of degradation of its sources. The methodology is based on the integration of different variables, divided into three Lines of Evidence (chemical, physical-chemical and ecotoxicological), and allows for the evaluation of risk assessment between 0.0 and 1.0 in the sampled environment. Five sampling points were evaluated in three periods, with the results varying between the four possible ratings (from low to very high), and it was not possible to identify a pattern of risk evolution between them. Thus, the method used proved to be efficient in assessing the degree of degradation of the environment, however, additional studies are required to improve this type of systemic impact assessment, based on the evaluation of the environmental degradation.

Keywords: Ecological Risk Assessment (ERA), Toxicological triad, Bom Repouso City.

Resumen: El presente estudio emplea el método de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) para valoración de la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos en aguas de abastecimiento de Bom Repouso (MG), municipio que la agricultura ha provocado un avanzado grado de degradación de sus nacientes. La metodología utilizada tiene como

base la integración de diferentes variables, divididas en tres líneas de evidencia (química, fisicoquímica y ecotoxicológica) y permite la valoración del riesgo (entre 0,0 y 1,0) en el ambiente de muestra. Fueron evaluados cinco puntos de muestreo en tres períodos, con resultados variables entre las cuatro clasificaciones posibles (de bajo a altísimo), no identificando un estándar de evolución entre ellos. De este modo, el método utilizado se ha demostrado eficiente en la valoración del grado de degradación del ambiente. Todavía, se requieren estudios adicionales para mejorar este tipo de análisis sistémica, basado en la valoración de la degradación del ambiente.

Palabras clave: Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), Tríade Toxicológica, Ciudad de Bom Repouso.
