

AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DE SAMÁRIO E LANTÂNIO PARA DOIS ORGANISMOS TERRESTRES EXPOSTOS A SOLO NATURAL CONTAMINADO COM SOLUÇÕES SINTÉTICAS

EVALUATION OF THE BIOAVAILABILITY OF SAMARIUM AND LANTHANUM FOR TWO TERRESTRIAL ORGANISMS EXPOSED TO NATURAL SOIL CONTAMINATED WITH SYNTHETIC SOLUTIONS

Gisele Petronilho Heidelmann
Bolsista PCI, Bióloga.

Silvia Gonçalves Egler
Supervisora, Bióloga, M. Sc.

Resumo

O uso dos Elementos Terras Raras (ETR) vem crescendo na atualidade devido à variedade de suas aplicações, particularmente, em altas tecnologias. Consequentemente, cresce a probabilidade de exposição e contaminação ambiental, tornando fundamental a avaliação ecotoxicológica dos ETR. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito tóxico de soluções sintéticas de Lantânio (La) e Samário (Sm), individualmente e em mistura, em solo natural, sobre a sobrevivência e brotamento de dois organismos terrestres, pertencentes a dois níveis tróficos. Representando os produtores na cadeia trófica foi avaliada a espécie de alface *Lactuca sativa* e como os detritívoros, o oligoqueta *Eisenia andrei*. Samário foi mais tóxico que lantânio para *E. andrei*. A mistura de Sm e La foi similar a Sm individualmente e o efeito observado foi antagônico. Quando observada a biomassa, La foi o elemento menos tóxico. Nos ensaios com *L. sativa*, Sm foi similar a La, se mostrando mais tóxico que as misturas 1:1 e 2:1. A mistura de Sm com La na proporção de 1:2 foi mais tóxica e todas as misturas tiveram efeito sinérgico. Quando observada a biomassa, todos foram similares com exceção da mistura na proporção de 2:1. Novos ensaios ainda serão realizados para avaliar o efeito individual de La e Sm e em misturas, com os dois ETR, para as diferentes espécies estudadas.

Palavras chave: Ecotoxicologia, Elementos terras raras, *Eisenia andrei*, *Lactuca sativa*.

Abstract

The use of Rare Earth Elements (REE) is growing today due to the variety of its applications, particularly in high technologies. Consequently, the probability of exposure and environmental contamination grows, making the ecotoxicological assessment of REE fundamental. Thus, the present work aimed to evaluate the toxic effect of synthetic solutions of Lanthanum (La) and Samarium (Sm), individually and in mixture, in natural soil, on the survival and seedling of two terrestrial organisms, belonging to two trophic levels. The plant *Lactuca sativa* was used to represent the producers of food chain and the earthworm *Eisenia andrei* represented the detritivorous. Samarium was more toxic than lanthanum to *E. andrei*. The mixture of Sm and La was similar to Sm individually and the effect observed was antagonistic. When biomass was observed, La was the least toxic element. In the tests with *L. sativa*,

Sm was similar to La, proving to be more toxic than mixtures 1: 1 and 2: 1. The mixture of Sm with La in the proportion of 1: 2 was more toxic and all mixtures had a synergistic effect. When biomass was observed, all were similar except for the mixture in the proportion of 2:1. New tests will still be carried out to evaluate the individual effect of La and Sm and in mixtures, with the two REE, for the different species studied.

Key words: Ecotoxicology, Rare earth elements, *Eisenia andrei*, *Lactuca sativa*.

1. Introdução

Os Elementos Terras Raras são um grupo de elementos químicos presentes na tabela periódica, constituído pelos lantanídeos, do lantânio (La) até o lutécio (Lu), acrescidos dos metais de transição, ítrio (Y) e escândio (Sc). Esses elementos possuem características químicas semelhantes ao cálcio e alta afinidade com grupos fosfato de macromoléculas biológicas, podendo interagir com os sistemas biológicos dependentes de cálcio resultando em toxicidade, prejudicando suas funções (BARRY; MEEHAN, 2000).

Os ETR possuem inúmeras aplicações industriais, estando presentes em produtos químicos, metalúrgicos, óticos, eletrônicos e cerâmicos, sendo matéria-prima essencial para itens tecnológicos como turbinas para energia eólica, lentes, na medicina como meio de contraste e na conservação de vacinas (ANDRADE, 2014; ROGOWSKA *et. al*, 2018).

Ainda que uma vasta variedade de minerais contenha ETR, esses podem ser de difícil extração e purificação, o que torna sua produção mais cara. Esses elementos podem ser tóxicos e poluentes, desta forma o descarte impróprio de materiais que os contém podem oferecendo riscos ao meio ambiente, como a contaminação do solo, ar e corpos hídricos, comprometendo a saúde do meio ambiente e organismos vivos (MECHI; SANCHES, 2010; SILVA, 2007).

A toxicologia é uma ciência multidisciplinar que estuda efeitos adversos de agentes químicos, como xenobióticos, drogas e fármacos, e físicos, como ruídos e temperaturas extremas, sobre organismos vivos, avaliando alterações em suas funções fisiológicas (PASSAGLI, 2018).

A Ecotoxicologia por sua vez, é um ramo da toxicologia, que estuda efeitos tóxicos, ocasionados por poluentes naturais ou sintéticos, aos componentes dos ecossistemas, vegetal, microbiano e animal, em um contexto geral (TRUHAUT, 1977).

Os ensaios de toxicidade envolvem a identificação e quantificação dos efeitos adversos da exposição ocupacional e ambiental a agentes tóxicos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Esses estudos utilizam a resposta de bioindicadores, que podem ocupar uma posição chave no ecossistema e na cadeia alimentar, para avaliação do risco a saúde humana (EATON; GILBERT, 2008).

Os ensaios toxicológicos são uma ótima ferramenta para avaliar os efeitos tóxicos dos compostos, pois são coordenados sob um elevado grau de controle no que se refere às condições de exposição, à população exposta e à determinação dos efeitos decorrentes da exposição aguda e crônica. Esses ensaios são diferenciados por sua

duração e respostas finais medidas. Os ensaios agudos são utilizados com objetivo de avaliar os efeitos de agentes tóxicos sobre bioindicadores, durante um curto período, quando comparado ao período total de vida do organismo, estimando a dose ou concentração desse agente capaz de gerar efeitos adversos como mortalidade. Já os ensaios crônicos, possuem uma duração que abrange parte ou todo o ciclo de vida do organismo, com o objetivo de mensurar efeitos adversos, sobre as funções biológicas, como reprodução, crescimento e biomassa. (LAVANDEIRA, 2014, COSTA *et. al.*, 2008).

Visando a escassez de dados sobre o efeito tóxico desses elementos sobre a biota terrestre, é extremamente importante o desenvolvimento de pesquisas na área, almejando a preservação dos ecossistemas. Sendo assim, para esse estudo foram realizados bioensaios de toxicidade, padronizados nacional e internacionalmente, utilizando organismos terrestres bioindicadores, com objetivo de avaliar o tipo e intensidade dos efeitos causados por lantânio e samário, sobre os organismos estudados (COSTA *et. al.*, 2008).

2. Objetivos

O presente estudo teve como propósito avaliar o efeito tóxico de Samário (Sm) e Lantânio (La) sobre os organismos terrestres, *Eisenia andrei* (ensaios agudo e crônico) e *Lactuca sativa* (brotamento), em solo natural impregnado com soluções sintéticas dos ETR.

3. Material e Métodos

Nesse estudo foram utilizados dois organismos-teste, *Eisenia andrei* (Minhoca Vermelha da Califórnia), organismo detritívoro, com grande papel de manutenção do solo, promovendo sua aeração e auxiliando na decomposição da matéria orgânica e *Lactuca sativa*, espécie de hortaliça folhosa que pode ser considerada uma boa fonte de vitaminas e sais minerais, destacando-se seu elevado teor de vitamina A, além de conter vitaminas B1, B2, C, cálcio e ferro. Estes organismos são bioindicadores padronizados para análises ecotoxicológicas e utilizados em larga escala por pesquisadores da área (PEREIRA, 2018; SOUZA *et. al.*, 2014).

As soluções sintéticas de samário e lantânio foram preparadas a partir de óxidos solubilizados em ácido nítrico (HNO₃), tendo como concentração final de solução-estoque 10 g/L. As soluções-teste foram diluídas em água deionizada e posteriormente colocadas no solo natural até 40% da Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA). Os ensaios com misturas foram realizados nas proporções 1:1, 1:2 e 2:1.

O solo natural foi coletado em Seropédica (UFRRJ), na borda de um plantio de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) coberto por forrageiras, que foram retirados e coletados os 20 cm superficiais do solo. O solo foi classificado pelo laboratório da Embrapa Solos (RJ) como Argissolo vermelho amarelo (PVA), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS, EMBRAPA, 2018), e com os seguintes parâmetros físico-químicos, 605,5 g/ kg de areia, 106,7 g/ kg de silte e 287,7 g/ kg de argila, 8,3 g/ kg de matéria orgânica, 5,7 de valor de pH em água. Em laboratório, as amostras foram secas à temperatura ambiente, desagregadas, peneiradas a 2 mm

(para remoção de raízes e outros detritos maiores), disposta em pilhas horizontais e quarteadas em subamostras de 5 kg (EMBRAPA, 2018).

O cultivo e os ensaios com o oligoqueta *Eisenia andrei* seguiram a norma ASTM E1676 (2012). Os organismos foram cultivados, em esterco curado, trocado a cada 30 dias.

Os ensaios de *E. andrei* foram realizados utilizando organismos adultos, com clitelo bem desenvolvido e massa individual entre 300 mg e 600 mg. No dia zero (T0) anterior ao início dos ensaios as minhocas foram lavadas em água deionizada, secas e pesadas individualmente. Em seguida, foram separadas em lotes de 10 organismos de massa similar, totalizando 30 indivíduos/amostra-teste e controle, distribuídos em caixas forradas com papel umedecido com água deionizada, onde permaneceram por 24h para purgamento do conteúdo intestinal. Ainda no T0, o solo natural (SN) foi umedecido com cinco soluções-teste de acordo com a concentração e o controle com água deionizada em volume equivalente a 40% da Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA) (ISO, 2005) e deixados em repouso por 24 h para que as amostras estabilizassem.

No dia 1 (T1) foram aferidos os valores de pH de todos os solos-teste e controle, em água deionizada (1:2,5) (EMBRAPA, 1997), sendo determinado que o valor do controle deve ser de $6,0 \pm 0,5$ e das amostras $\text{pH} \geq 5,5$. Os lotes dos solos-teste e do controle foram divididos em três réplicas de 200 g. A distribuição dos grupos de minhocas por solo-controle e testes foi realizada de forma aleatória, por meio de sorteio. As minhocas foram depositadas sobre a superfície da amostra, o recipiente-teste fechado com filme plástico e preso com elástico e em seguida, foram feitos furos para possibilitar a troca de ar. Todo o conjunto foi pesado, visando à reposição semanal de umidade por comparação de pesos. Os recipientes foram mantidos à temperatura de 21 ± 2 °C e fotoperíodo de 16h:8h claro: escuro, ao final dos ensaios as réplicas foram vertidas em bandejas e as minhocas sobreviventes contadas e pesadas, por réplica, o ensaio foi considerado válido quando a mortalidade no controle foi $\leq 10\%$.

Os ensaios agudos, preliminares para obtenção das concentrações-teste para o ensaio crônico, foram dispostos em béqueres de vidro de 600 mL e tiveram duração de 14 dias. Os resultados foram expressos em concentração letal mediana (CL50) na qual ocorre mortalidade em 50% dos organismos testados, calculado através do programa *Trimmed Spearman Karber*. A CL50 tem relação inversa com a toxicidade, quanto menor seu valor, maior é a toxicidade. A biomassa foi expressa em concentração de inibição (CI50), calculada através do programa *Linear Interpolation*.

O ensaio crônico com *E. andrei*, avaliou o efeito subletal na reprodução e seguiu a norma ISO 11268-2 (ISO, 2012). Os recipientes usados foram béqueres de vidro de 400 mL e semanalmente foi feita a reposição de umidade, adicionando água deionizada e alimento (10 mg de esterco curtido). Após 30 dias as oligoquetas adultas foram retiradas e os efeitos na mortalidade e na biomassa foram medidos. Ao final de 60 dias os juvenis foram contabilizados e pesados. Com os resultados obtidos foram calculadas as CL50 de mortalidade e CI50 do peso dos adultos e CE50 (concentração efetiva mediana, que reduz a produção de juvenis a 50% comparada ao produzido no solo controle) do número de juvenis sobreviventes. O ensaio é considerado válido quando a taxa de

produção de juvenis é pelo menos 30 por réplica de controle, o coeficiente de variação da reprodução no controle não excede 30% e a porcentagem de mortalidade dos adultos obtida no controle seja $\leq 10\%$.

Os ensaios com *Lactuca sativa* que seguiram a norma ISO 17126 (2005), foram realizados em recipientes plásticos de 15 cm de diâmetro contendo 100 g de solo natural sobre o qual foram dispostas 40 sementes viáveis, que em seguida foram cobertas com 90 g de areia de cobertura (0,8 – 1,4 mm de granulometria). Este conjunto foi umedecido com 30 mL/ de cinco diferentes concentrações de soluções-teste e o controle, apenas com água deionizada, e três réplicas por concentração-teste e controle. Cada réplica foi disposta em sacos plásticos repletos de ar ambiente e fechados com elástico para evitar perda de umidade. O ensaio teve duração de sete dias, em Câmara de Germinação a 21°C com fotoperíodo de 16h:8h claro: escuro, sendo que os dois primeiros dias o ensaio foi mantido no escuro. Diariamente o ar dos sacos foi trocado e as réplicas reposicionadas aleatoriamente dentro da Câmara de Germinação. Após os sete dias a parte aérea dos brotos germinados foram cortadas rentes a areia de cobertura, em seguida foram contabilizadas e pesadas (biomassa) por concentração-teste e controle. O ensaio foi considerado válido se o brotamento das sementes no controle foi $\geq 80\%$.

Os resultados foram expressos em concentração de efeito (CE50) na qual ocorre a inibição de 50% do brotamento das sementes testadas. A CE50 tem relação inversa com a toxicidade, quanto menor seu valor, maior é a toxicidade. Para o cálculo foi utilizado o programa *Trimmed Spearman Karber* e para o cálculo da CI50 da biomassa foi usado o programa Linear Interpolation. A diferença significativa entre os valores foi avaliada através da sobreposição ou não dos Intervalos de Confiança de 95%.

A porcentagem de inibição de germinação (%IG) foi calculada segundo a equação 1:

$$\%IG = \frac{GC-GA}{GC} \times 100 \quad (1)$$

onde:

GC - número de sementes germinadas no controle.

GA - número de sementes germinadas na amostra.

Valores de %IG menores que 10% indicam não toxicidade, valores entre 10 e 25% indicativo de toxicidade moderada e acima de 25% indicativo de amostra fortemente tóxica (CHAMORRO et al., 2018).

Os resultados das misturas foram expressos em Unidade Tóxica (UT) calculada pela equação 2:

$$UT = \sum \frac{\text{concentração do elemento na CE50 da mistura}}{\text{CE50 individual do elemento}} \quad (2)$$

Se a soma das Unidades Tóxicas de cada elemento da mistura for >1 , o efeito tóxico é sinérgico, caso a soma das Unidades Tóxicas de cada elemento da mistura seja <1 , o efeito tóxico é antagônico e se a soma das Unidades Tóxicas de cada elemento da mistura for $=1$, o efeito tóxico é aditivo (PANOUILLERES et. al., 2007).

4. Resultados e Discussão

Baseado nos resultados do ensaio agudo de *E. andrei* (mortalidade), observamos que samário foi mais tóxico que lantânio (Tabela 1A), se opondo aos resultados de Clementino *et. al.*, (2018) que em ensaios preliminares com lantânio em solo artificial, observaram que lantânio foi mais tóxico, com CL50 igual a 1328,29 mg/kg (IC95% 1285,98 – 1372,00). Essa diferença pode estar relacionada as propriedades de diferentes solos, que exercem grandes influências sobre a sorção e toxicidade dos elementos as minhocas, já que características físico- químicas podem influenciar diretamente no comportamento e na biodisponibilidade (SPADOTTO *et. al.*, 2004). A mistura de Sm e La apresentou efeito antagônico. Quando observada a biomassa (Tabela 1B), La foi o elemento menos tóxico para o organismo e a mistura de Sm e La apresentou efeito antagônico.

No ensaio de reprodução realizado com samário foram utilizadas as seguintes concentrações-teste – 0, 900, 1100,1300, 1500 e 1700 mg/kg. Com os resultados obtidos não foi possível o cálculo da CE50 para a produção de juvenis nas concentrações-teste utilizadas.

Tabela 1. Resultado dos ensaios ecotoxicológicos agudos de samário e lantânio para o bioindicador *E. andrei*, nos parâmetros mortalidade (A) e biomassa (B). I.C.I = intervalo de confiança inferior, I.C.S. = intervalo de confiança superior, letras iguais = indicam diferenças não significativas entre os resultados.

	(A) Mortalidade					(B) Biomassa				
	CL50 (mg/Kg)	I. C. I. (95%)	I. C. S. (95%)	UT	Efeito	CL50 (mg/Kg)	I. C. I. (95%)	I. C. S. (95%)	UT	Efeito
Samário	1878,24 ^a	1824,94	1933,10			1992,48 ^d	1966,67	2000,00		
Lantânio	2041,01 ^b	2007,37	2075,20			2119,29 ^e	2023,89	2135,00		
Sm + La (1:1)	1789,65 ^c	1733,64	1847,46	0,91	Antagônico	1856,68 ^{c, f}	1592,98	1991,60	0,90	Antagônico

Nos ensaios de brotamento de sementes de alface (*L. sativa*), Sm foi similar a La individualmente (Tabela 2A), corroborando com os resultados obtidos por Roldão e Egler (2019), que encontraram toxicidade similar entre Sm e La. A mistura de Sm com La na proporção de 1:2 foi mais tóxica e todas as misturas apresentaram efeito sinérgico. Quando observada a biomassa (Tabela 2B), as misturas 1:1 e 1:2 foram similares, enquanto a mistura na proporção de 2:1 foi menos tóxica para o organismo, ao contrário do encontrado por Clementino *et. al.*, (2019), onde a proporção 1:1 foi significativamente diferente das demais.

Tabela 2. Resultado dos ensaios ecotoxicológicos de samário e lantânio para o bioindicador *Lactuca sativa*, nos parâmetros brotamento (A) e biomassa (B). I.C.I = intervalo de confiança inferior, I.C.S. = intervalo de confiança superior, letras iguais = indicam diferenças não significativas entre os resultados, NC = não calculado.

	(A) Brotamento					(B) Biomassa				
	CE50 (mg/Kg)	I. C. I. (95%)	I. C. S. (95%)	UT	Efeito	CL50 (mg/Kg)	I. C. I. (95%)	I. C. S. (95%)	UT	Efeito
Samário	253,20 ^e	187,59	341,75			493,86	NC	NC		
Lantânio	300,43 ^e	271,38	332,60			NC	NC	NC		
Sm + La (1:1)	503,10 ^f	470,21	538,29	1,83	Sinérgico	605,18 ^h	362,14	684,99	NC	NC
Sm + La (1:2)	325,16 ^e	273,60	386,43	1,15	Sinérgico	393,98 ^h	269,11	632,25	NC	NC
Sm + La (2:1)	541,29 ^f	485,06	604,04	2,03	Sinérgico	860,97 ⁱ	773,49	958,28	NC	NC

5. Conclusões

Os produtores representados por *L. sativa* foi o organismo mais sensíveis aos ETR do que o detritívoro *E. andrei*, apresentando resultados com valores inferiores. Samário foi o elemento mais tóxico para *E. andrei*. A mistura de Sm e La em ambos os parâmetros apresentaram efeito antagônico para *E. andrei*. Nos ensaios de brotamento de *L. sativa*, Sm foi similar a La individualmente, nas misturas todas tiveram efeito sinérgico. No parâmetro biomassa, duas foram similares, enquanto a mistura na proporção de 2:1 foi menos tóxica para o organismo. Para uma melhor compreensão do efeito dos lantanídeos sobre o brotamento de *L. sativa* e a sobrevivência de *E. andrei*, organismos da base da cadeia alimentar terrestre, novos ensaios ainda serão realizados para avaliar o efeito de samário, lantânio, individualmente e em mistura sobre os bioindicadores em estudo.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha supervisora Silvia Egler, pela atenciosa orientação; À T. Roldão e G. Santos do LECOMIN, pela parceria em laboratório; À M. Nascimento e A. L. C. Moraes pelas soluções fornecidas; Ao CETEM - Centro de Tecnologia Mineral pela estrutura fornecida e ao MCTIC – Ministério da Ciência Tecnologia, Inovação e Comunicação em conjunto com o CNPq pela bolsa concedida.

7. Referências Bibliográficas

ANDRADE, R.H.P.D. **Sumário Mineral** - Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, v. 34, p.123-124, dez. 2014.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard guide for conducting laboratory soil toxicity or bioaccumulation tests with the lumbricid earthworm *Eisenia fetida* and the enchytraeid potworm *Enchytraeus albidus***. E 1676. 2012. 32 p.

BARRY, M. J.; MEEHAN, B. J. The acute and chronic toxicity of lanthanum to *Daphnia carinata*. **Chemosphere** v.41, p. 1669-1674, 2000. CHAMORRO, S.; BARATA, C.; PIÑA, B.; CASADO, M.; SCHWARZ, A.; SÁEZ, K.; VIDAL, G. Toxicological analysis of acid mine drainage by water quality and land use bioassays. **Mine Water Environ**, v. 37, p. 88-97. 2018.

CLEMENTINO, F.G.O. *et. al.* Avaliação dos efeitos tóxicos em organismos terrestres expostos a soluções de dois elementos do grupo dos lantanídeos In: **XXVI Jornada de Iniciação Científica e II Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**. CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2018. 3 p.

CLEMENTINO, F.G.O. *et. al.* Avaliação dos efeitos tóxicos em organismos terrestres expostos a soluções de dois elementos do grupo dos lantanídeos In: **XXVII Jornada de Iniciação Científica e II Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**. CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2019. 5 p.

COSTA, C.R. *et. al.* A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008.

EATON, D.L.; GILBERT, S.G. Principles of toxicology. In: KLAASSEN.C.D. et al. (Eds). **Toxicology- The basic Science of poison**. 7 ed. p. 11-43. Kansas City, Kansas. Department of Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics University of Kansas Medical Center, 2008, p.11-43.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, RJ, 1997. 212p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. In: Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, DF, 2018. 355 p.

ISO - International Organization for Standardization. **Soil quality - determination of the effects of pollutants on soil flora - Screening test for emergence of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L.)**. ISO 17126. 2005. p. 13.

ISO - International Organization for Standardization. **Soil quality - effects of pollutants on earthworms – Part 2: Determination of effects on reproduction of *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei***. ISO 11268-2. 2012. 23 p.

LAVANDEIRA, F. M. F. **Ensaio toxicológicos pré-clínicos na avaliação da segurança de novos fármacos**, Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Fernando Pessoa. 2014. 70 p.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

PASSAGLI, M. **Toxicologia Forense – Teoria e Prática**. Millennium editora. 5ª Edição, cap. 1, 2018.

PANOUILLERES, M.; BOILLOT, C.; PERRODIN, Y. Study of combined effects of a peracetic acid-based disinfectant and surfactants contained in hospital effluents on *Daphnia similis*, **Ecotoxicology**, v. 16, p. 327-340, 2007.

PEREIRA, V.C. **Aspectos gerais sobre espécie *Eisenia andrei* (minhoca vermelha) em ambiente controlado – observação**. Programa de Iniciação Científica — Unidic Ciências Biológicas, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. 2018.

ROGOWSKA, J.; OLKOWSKA, E.; RATAJCZYK, W.; WOLSKA, L. Gadolinium as a New Emerging Contaminant of Aquatic Environments. **Environmental Toxicology and Chemistry** – Polônia. v. 37, n. 6, p. 1523-1534, 2018.

ROLDÃO, T.M.; EGLER, S.G. Avaliação da toxicidade de elementos terras raras para diferentes bioindicadores. **Jornadas do programa de capacitação institucional - CETEM**. Rio de Janeiro, 2019. 8 p.

SILVA, J.P.S. Impactos ambientais causados por mineração. Brasília: **Revista Espaço da Sophia**, v.8, p.1-13. 2007.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. **Embrapa Meio Ambiente**, Documentos No.42. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2004. 29 p.

TRUHAUT, R. Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 1, p. 151-173, 1977.