

## MUSGOS COMO BIOINDICADORES DE METAIS PESADOS NO AMBIENTE

Eliane Ferreira de SOUZA, Michele Aparecida dos Santos NOBREGA\* & Montcharles da Silva PONTES

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

\*autor para correspondência: nobrega\_michele@yahoo.com.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.136>

### RESUMO

Recentemente, inúmeras pesquisas envolvendo degradação ambiental oriunda das poluições atmosférica, terrestre e aquática, tem como foco o uso de animais ou vegetais, que apresentem respostas no sentido de controlar e indicar o nível de deterioração nos ambientes afetados por ações antrópicas. Dentre os organismos indicadores denominados biomonitores, estão os musgos do Filo Bryophyta responsáveis por respostas significativas frente aos impactos gerados pelo descarte indevido de substâncias, que contêm em sua composição metais pesados. Os metais pesados são considerados um dos principais poluentes que afetam os recursos naturais. Geralmente, os mesmos são oriundos de técnicas agrícolas ou mecanismos urbanos que produzem resíduos. Nesta linha, o presente estudo de revisão visa relacionar, principalmente, os efeitos da poluição dos recursos naturais a partir do uso de musgos como bioindicadores de traços metálicos no ambiente.

**Palavras-chave:** Poluição; Monitoramento; Musgos; Resíduos.

### ABSTRACT

Recently, several researches involving environmental degradation originating from atmospheric, terrestrial and aquatic pollution, focus on animals or plants uses, which present responses in order to control and indicate environmental deterioration levels affected by anthropogenic actions. Among environmental indicator organisms called biomonitors, we have mosses of Bryophyta phyllo responsible for significant responses to impacts generated by undue disposal of substances, which contain heavy metals in their composition. Heavy metals are considered one of the main pollutants that affect natural resources. Generally, they are derived from agricultural techniques or urban waste-producing mechanisms. In this line, the present short review aims to relate, mainly effects of pollution of natural resources from the use of mosses as bioindicators of metallic traces in environment.

**Keywords:** Pollution; Monitoring; Mosses; Residue

### 1 Introdução

Atualmente inúmeras são as pesquisas cujo tema está relacionado aos impactos ambientais causados pela ação humana. Dentre as ações mais relevantes, destacam-se o desmatamento e o despejo de resíduos, resultantes das atividades urbanas e industriais providas de amplas práticas antrópicas que ocasionam aumento significativo no nível de degradação ambiental causada pela liberação de metais pesados no ambiente (SORVARI et al., 2007), o que afeta nocivamente o desenvolvimento e sobrevivência da fauna (TORO et al., 2010) e flora. Tal fator resulta na queda acentuada da biodiversidade das espécies, em função desta desestruturação do ambiente físico, químico além de alterações na dinâmica e estrutura das comunidades biológicas (CALLISTO et al., 2001).

Estudos que se referem a problemas causados por materiais contaminantes que contêm metais pesados, tem ressaltado a importância do uso de bioindicadores para avaliação de impacto ambiental (SORVARI et al., 2007; QUARRI et al., 2014). Por meio destes, demonstra-se que organismos bióticos são bons substratos nestes estudos, sendo considerados biomonitores (CABRINI et al., 2013).

Biomonitores são espécies ou comunidades que apresentam baixa ou alta resistência a determinado estresse respondendo de modo que possa ser quantificada, atentando a determinados critérios de seleção de indicadores (SOUZA, 2010).

O biomonitoramento é considerado um método experimental indireto cujo objetivo engloba identificar e quantificar poluentes por meio das respostas expressadas através de uma espécie ou comunidade mediante o estresse gerado pelos materiais com toxicidade (CARRERAS e PIGNATA, 2001; PIGNATA et al., 2002; PONTES et al., 2014).

Segundo Zimbone (2012) e Maia et al. (2001) para ser um bom indicador a espécie ou comunidade em questão deve apresentar determinadas características sendo elas: sensibilidade a poluentes, relação quantitativa entre a resposta biológica e as concentrações de substâncias tóxicas, disponibilidade em todos os períodos do ano, área de distribuição ampla, ciclo de vida relativamente longo, homogeneidade e estabilidade do patrimônio genético na área em estudo de modo que as respostas aos estímulos ambientais sejam as mais homogêneas possíveis.

A utilização da bioindicação como forma de monitoramento permite avaliar de maneira integrada os efeitos ecológicos causados por diversas fontes de poluição, gerando dados mensuráveis do local impactado e suas mediações, quantificando os impactos em diversos níveis tróficos (JAGER et al., 1996; KAPUSTA, 2008).

Inúmeras são as vantagens na utilização deste recurso de avaliação ambiental, dentre eles a facilidade de amostragem (SZCZEPANIAK e BIZIUK, 2003), a ocorrência permanente e comum do organismo no campo mesmo em áreas remotas e o baixo custo por não requer equipamentos caros (WOLTERBEEK, 2002).

Biomonitores podem responder a contaminação por alterações de sua fisiologia, ou sua capacidade para acumular elementos ou substâncias e esta resposta é fortemente influenciada pelas condições físicas, químicas e biológicas do ambiente (temperatura, umidade, ventos e radiação) assim como pelas condições fisiológicas, morfológicas estruturais e nutricionais (BAGLIANO, 2012). Segundo Callisto et al. (2004), as características citadas mencionadas tornam este método de avaliação mais eficiente do que as medidas de parâmetros físicos e químicos (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, teores totais e dissolvidos de nutrientes, entre outros) que são normalmente medidos no campo.

Dentre os organismos que podem ser utilizados na avaliação do nível de contaminação ambiental por parte de metais (HODA et al., 2007; COSTA e HARTZ, 2009), encontram-se os musgos (QUARRI et al., 2014; CHEN et al., 2015; OGUNKUNLE et al., 2016). Para Barboza (2012), a utilização destes como monitores, a partir do estudo de suas respostas biológicas aos níveis de poluentes encontrados no ambiente tem fornecido ferramentas bioquímicas essenciais para a implementação de programas de monitoramento, exposição e/ou efeitos de contaminantes.

Colaborando com as informações disponíveis na literatura brasileira acerca de bioindicadores ambientais. O presente estudo de revisão visa relacionar, principalmente, os efeitos da poluição dos recursos naturais tendo os musgos como bioindicadores de traços metálicos provenientes de ações antrópicas oriundas da expansão de áreas urbanas, agrícolas e industriais.

## 2 Metais pesados

O termo metal pesado é aplicado a um grupo heterogêneo de elementos, incluindo metais, semimetals e não metais que possuem número atômico maior que 20 ou apresentam densidade maior que 0,005 g/cm<sup>3</sup> (ATKINS e JONES, 1992; MALAVOLTA, 1994; CARDOSO, 2008). Tal

definição é aplicada a elementos como: alumínio (2,70 g/cm<sup>3</sup>), cádmio (8,65 g/cm<sup>3</sup>), cobre (8,93 g/cm<sup>3</sup>), chumbo (11,30 ou 11,34 g/cm<sup>3</sup>), mercúrio (13,55 g/cm<sup>3</sup>), níquel (8,91 g/cm<sup>3</sup>), paládio (12,00 g/cm<sup>3</sup>), platina (21,45 g/cm<sup>3</sup>), zinco (7,14 g/cm<sup>3</sup>) dentre outros (MOREIRA, 2007).

Segundo a IUPAC (2002), a terminologia correta para metal pesado é metais-traço. Esses elementos são encontrados em baixa concentração, em frações mássicas da ordem de µg/g, em algumas fontes, como solos, plantas, tecidos, águas subterrâneas, entre outros (ALLOWAY, 2010). Para Souza et al. (2015), as principais fontes naturais dos metais-traço são: o intemperismo sobre o material crustal, que os liberam nas formas dissolvida e/ou particulada e a atividade vulcânica (80% das concentrações naturais), além da queima de florestas e a atividade biogênica (com 10%, cada uma). No entanto, as atividades antrópicas têm contribuído para aumentar significativamente a concentração desses elementos no meio, principalmente a indústria química e a mineração (MAHAR et al., 2016), fazendo com que se tornem uma das mais graves formas de poluição ambiental (CARNEIRO et al., 2002; VAITSMAN e VAITSMAN, 2006).

Os metais-traço são responsáveis por amplos processos de regulação dos sistemas biológicos, apresentando alta afinidade por diversas macromoléculas biológicas (DNA, enzimas, proteínas, polipeptídios, aminoácidos) de extrema importância para vida, permitindo que os íons sejam captados e absorvidos pelas células animais e vegetais (BENITE et al., 2007). Os seres vivos necessitam de alguns destes componentes para sobrevivência e funcionamento normal dos processos bioquímicos (ALI et al., 2013). Nesta classe estão: alumínio III (Al), arsênio III (As), boro III (B), cobalto III (Co), cromo III, IV e V (Cr), cobre II (Cu), ferro II (Fe), flúor (F), manganês II (Mn), zinco II (Zn), molibdênio IV, V e VI (Mo) etc (GUILHERME et al., 2005; BASTOS e CARVALHO, 2004; BARAN, 2005).

Para Cardoso (2008), as principais propriedades dos metais pesados, também denominados elementos traço, são os elevados níveis de reatividade e bioacumulação. O mesmo autor afirma que o acúmulo dessas substâncias nos organismos vivos desencadeiam diversas reações químicas não metabolizáveis, fazendo com que esses elementos permaneçam em caráter cumulativo ao longo da cadeia alimentar.

O processo de bioacumulação de metais envolve a transferência de um metal de uma matriz contaminada para a biomassa, podendo ser realizado por indivíduos de diferentes classes animais e vegetais (LIMA, 1995), o que afeta diretamente a biodisponibilidade de outros elementos, altera processos bioquímicos, membranas celulares e organelas (JANSSEN et al., 2000). São considerados, dentre os compostos químicos tóxicos, contaminantes de grande relevância, visto que não são biodegradáveis e sofrem o fenômeno da bioacumulação nos organismos ao longo da cadeia alimentar (SOUZA et al., 2015). Como consequência deste processo, os níveis de metais nos membros superiores da cadeia alcançam valores muito acima dos que se encontram na natureza, explicitamente no caso dos seres humanos estes valores podem ser considerados co-fatores de doenças como exemplifica a Tabela 1.

**Tabela 1:** Classificação quanto à carcinogenicidade em seres humanos de alguns possíveis contaminantes provenientes de resíduos industriais.

Substância	Símbolo	Carcinogenicidade	Evidências
Arsênio	As	Carcinogênico para humanos	Evidência em humanos de desenvolvimento de câncer de bexiga, pulmão, pele, e evidência limitada de câncer de fígado e bÍlis, próstata e rim.
Cádmio	Cd	Carcinogênico para humanos	Evidência em humanos de desenvolvimento de pulmão e evidência limitada de câncer próstata e rim.
Chumbo	Cu	Provavelmente carcinogênico para humanos	Evidência limitada de câncer de estômago.
Cromo	Cr	Carcinogênico para humanos	Evidência em humanos de desenvolvimento de câncer de pulmão.
Mercúrio	Hg	Provavelmente carcinogênico para humanos	Neurotoxicidade: efeitos adversos nas funções cognitivas, motoras e sensoriais.
Níquel	Ni	Carcinogênico para humanos	Evidências em humanos de desenvolvimento de câncer de cavidade nasal e seios paranasais.

Fonte: IARC, 2016.

### 3 Musgos

De todas as espécies biológicas utilizadas como bioindicadoras, os musgos do filo Bryophyta têm o maior destaque em todo o mundo (FIGUEIRA et al., 2002; CHEN et al., 2010; WILKIE e LA FARGE, 2011; HARMENS et al., 2010; BOQUETE et al., 2013), pois a sua morfologia não varia de acordo com a sazonalidade o que permite acúmulo de elementos (como os metais pesados) e apresentam considerável longevidade (SZCZEPANIAK e BIZIUK, 2003).

Os musgos são conceituados como plantas pequenas, macias, possuem um ciclo de vida marcado pela alternância de gerações (MAKI et al., 2013), com cerca de 880 espécies aceitas no Brasil atualmente (FLORA DO BRASIL, 2016), classificados em três classes (*Sphagnidae*, *Andreaeidae* e *Bryidae*) e habitam a maior parte da terra (RAVEN et al., 2014). São únicos porque conseguem armazenar água de 16 até 26 vezes o seu peso seco e possuem compostos fenólicos nas suas paredes celulares que evitam a deterioração dos mesmos (HUBERS e KERP, 2012).

A grande utilização de musgos como bioindicadores deve-se a inúmeras razões, dentre estas a excelente distribuição geográfica da espécie, com adaptação a diferentes condições ambientais, facilidade de penetração na parede celular por parte de íons metálicos, não tem sistema radicular (SERT et al., 2011), não possui tecido vascular, mostram correlação entre quantidade em massa seca e concentração de deposição úmida (BOQUETE et al., 2014).

Muitos países têm realizado pesquisas de biomonitoramento sobre níveis de metais em áreas industriais ou não, com base em musgos como bioindicadores. Kayee et al. (2015) estudaram a adsorção de metais pesados no ar poluído da Tailândia por musgos nativos e verificou um aumento na concentração de Fe, Zn, Cu, e Cd, podendo os mesmos serem usados como bio-adsorventes de metais pesados da atmosfera. Na Espanha González e Pokrovsky (2014) analisaram a adsorção de Cu, Cd, Ni, Pb e Zn em *Hypnum sp*, *Sphagnum sp*, *Pseudoscleropodium purum* e *Brachytecium rutabulum*. Os resultados demonstraram que apesar dos musgos diferirem geograficamente, a adsorção de metais é universal e constante para todas as espécies estudadas e os mesmos são considerados mais eficientes em adsorver metais pesados.

Estudos realizados na Europa, a partir de 1990 envolvendo 25 países, utilizando musgos e metais pesados (HARMENS et al., 2010; HARMENS et al., 2011, HARMENS et al., 2012) evidenciaram que concentrações de As, Cr, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, Zn, aumentaram

naturalmente, e em 2005 foi observado também, aumento para o Al e Sb. Em 2010, um estudo piloto sobre biomonitoradores de poluentes orgânicos persistentes selecionados (HARMENS et al., 2013<sup>a,b</sup>) avaliou as tendências temporais nas últimas duas décadas quanto a emissão e deposição de metais pesados por meio de musgos. Os resultados das análises nos musgos confirmaram um declínio na concentração dos metais citados anteriormente devido as políticas de redução da poluição implantadas por alguns países europeus (HARMENS et al., 2015).

Na Nigéria o musgo *Barbula lambaranensis* é um método econômico para avaliação continua da poluição atmosférica por metais como Zn, Cd, Cr, Pb, Cu e Ni (OGUNKUNLE et al., 2016). No Brasil Mazzoni et al., (2012) relatou que a deposição de metal pesado em um musgo está correlacionado com a concentração desses na atmosfera em Caxias do Sul, RS.

Na China Chen et al. (2015) examinou os efeitos de Cu, Zn, Pb, Cr, Cd e Hg sobre parâmetros fisiológicos e atividades fotossintéticas de duas espécies de musgos, o *Taxiphyllum taxirameum* e *Eurhynchium eustegium* cultivados em meio aquático e solo úmido. Os estudos permitiram determinar visualmente o tipo de metal e a concentração aproximada do mesmo nas duas espécies de musgo analisadas.

Migaszewski et al. (2010) no Alasca e Polônia avaliou a concentração de mercúrio em duas espécies de musgos encontradas nestas regiões simultaneamente. Esse estudo permitiu avaliar as fontes de poluição e os fatores ambientais que influenciaram as concentrações de Hg nos musgos avaliados. Na Albânia o estudo de Quarri et al. (2014) propiciou o biomonitoramento de metais pesados na atmosfera. A análise dos resultados evidenciaram a área central do país como maior acumulador de metais pesados (Al, Cr, Fe, Ni, Zn e V), devido a associação destas com a metalurgia do ferro-cromo, refinaria de petróleo, industria de cimento, industria de mineração e trafego constante.

Nos estudos de Boquete et al. (2014) avaliou-se o crescimento do musgo *Pseudoscleropodium purum* durante vários períodos, em sete locais de amostragem com diferentes condições climáticas. Determinou-se também as concentrações de Cd, Cu, Hg, Pb e Zn nos segmentos de crescimento dos musgos analisados durante cada período e os resultados comprovaram que a concentração desses metais pode ser medida com maior exatidão em partes jovens desses vegetais.

Deben et al. (2016) confirmou nas suas pesquisas que a desvitalização de amostras de musgos aquáticos não inibe a capacidade destes em acumular elementos traço. Utilizando também musgos desvitalizados González et al. (2016) estudou a adsorção de Cu em função da concentração e do pH por *Hypnum sp*, *Sphagnum denticulatum*, *Pseudoscleropodium purum* e *Brachytecium rutabulum*. Dentre os musgos estudados o autor concluiu que a espécie *Sphagnum denticulatum* foi a que acumulou maior quantidade de Cu, sendo considerada a mais indicada como biomonitor nesse estudo.

#### 4 Conclusão

Os seres vivos necessitam de quantidades variadas de alguns metais, incluindo Ca, K, Na, Mg, Fe e, em menor quantidade de Sn, Cr, Co, Cu, Mn, Mo, V, Sr, Zn para a realização de sua funções vitais, porém níveis excessivos destes, podem se tornar prejudiciais. A informação prévia de áreas com elevados índices de metais traço é uma ferramenta útil nos estudos que avaliam a relação entre os agentes nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

O uso de organismos vegetais como bioindicadores é um instrumento eficaz de pesquisa e avaliação ambiental que evidencia diferenças significativas quanto a sensibilidade a substâncias poluentes. Os musgos servem como base para estudos de bioindicação pois se enquadram como bons substratos para o monitoramento de ambientes impactados por metais traço.

## 5 Referências

- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Review: Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. **Chemosphere**, v.91, p.869-881, 2013.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York, John Wiley, 2010.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Chemistry: Molecules, Matter, and Change**. W. H. Freeman and Company, 3<sup>a</sup> ed., 1992.
- BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.2, p.24-40, 2012.
- BARAN, E. J. Suplementação de elementos traços. **Química Nova na Escola**, v.6, p.7-12, 2005.
- BARBOSA, F. S. **Análise cienciométrica da utilização de briófitas como bioindicadores**. 2012. 46 p. Trabalho de conclusão de curso (Biologia) - Universidade Estadual de Goiás, 2012.
- BASTOS, A. R. R.; CARVALHO, J. G. Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas, e seu papel na parede celular. **Série Ciências da Vida**, v.24, p.47-66, 2004.
- BENITE, A. M. C.; MACHADO, S. P.; BARREIRO, E. J. Considerações sobre a química bioinorgânica. **Revista eletrônica de Farmácia**, v.4, p.131-142, 2007.
- BOQUETE, M. T.; ABOAL, J. R.; CARBALLEIRA, A.; FERNANDEZ, J. A. Effect of age on the heavy metal concentration in segments of *Pseudoscleropodium purum* and the biomonitoring of atmospheric deposition of metals. **Atmospheric Environment**, v.86, p.28-34, 2014.
- BOQUETE, M. T.; FERNÁNDEZ, J. A.; CARBALLEIRA, A.; ABOAL, J. R. Assessing the tolerance of the terrestrial moss *Pseudoscleropodium purum* to high levels of atmospheric heavy metals: A reciprocal transplant study. **Science of Total Environment**, v.461-462, p.552-559, 2013.
- CABRINI, I.; MAICON, D. G.; ANDRADE, C. F. S.; THYSSEN, P. J. Richness and composition of Calliphoridae in a Atlantic Forest fragment: implication for the use of dipteran species as bioindicators. **Biodiversity Conservation**, v.22, p.2635-2643, 2013.
- CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. D. C. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, p.71-82, 2001.
- CALLISTO, M.; GONÇALVES Jr.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. 2004. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/beds/arquivos/invertaquaticos>. Acessado 16 de junho de 2016.
- CARDOSO, M. L. **Metais pesados**. 2008. Disponível em: <http://www.infoescola.com/quimica/metais-pesados/>. Acesso em: 12 junho 2016.

CARNEIRO, M. A.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1629-1638, 2002.

CARRERAS, H. A.; PIGNATA, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. **Environmental Pollution**, v.111, p.45-52, 2001.

CHEN, Y.; CUI, J.; YANG, J. ZHANG, Z.; YUAN, M.; SONG, C.; YANG, H.; LIU, H.; WANG, C.; ZHANG, H.; ZENG, X.; YUAN, S. Biomonitoring heavy metal contaminations by moss visible parameters. **Journal of Hazardous Materials**, v.296, p.201–209, 2015.

CHEN, Y. E.; YUAN, S.; SU, Y. Q.; WANG, L. Comparison of heavy metal accumulation capacity of some indigenous mosses in Southwest China cities: a case study in Chengdu city. **Plant Soil Environ**, v.56, p.60–66, 2010.

COSTA, S. C.; HARTZ, S. M. Evaluation of trace metals (cadmium, chromium, copper and zinc) in tissues of a commercially important fish (*Leporinus obtusidens*) from Guaíba Lake, Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, p.241-250, 2009.

DEBEN, S.; FERNANDEZ, J. A.; CARBALLEIRA, A.; ABOAL, J. R. Using devitalized moss for active biomonitoring of water pollution. **Environmental Pollution**, v.210, p.315-322, 2016.

FIGUEIRA, R.; SÉRGIO, C.; SOUSA, A. J. Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal. **Environmental Pollution**, v.118, p.153–163, 2002.

FLORA DO BRASIL. Briófitas, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128466>>. Acesso em: 11 Jun. 2016.

GONZÁLEZ, A. G.; VILLACORTAB, F. J.; BEIKEC, A. K.; RESKIC, R.; ADAMOG, P.; POKROVSKY, O. S. Chemical and structural characterization of copper adsorbed on mosses (Bryophyta). **Journal of Hazardous Materials**, v.308, p.343–354, 2016.

GONZALEZ, A. G.; POKROVSKY, O. S. Metal adsorption on mosses: Toward a universal adsorption model. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.415, p.169–178, 2014.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4, p.345-390, 2005.

HARMENS, H.; NORRIS, D. A.; SHARPS, K.; MILLS, G.; ALBER, R.; ALEKSIAYENAK, Y.; BLUM, O.; CUCU-MAN, S. M.; DAM, M.; TEMMERMAN, L.; ENE, A.; FERNANDEZ, J. A.; MARTINEZ-ABAIGAR, J.; FRONTASYEVA, M.; GODZIK, B.; JERAN, Z.; LAZO, P.; LEBLOND, S.; LIIV, S.; MAGNUSSON, S. H.; MANKOVSKA, B.; KARLSSON, G. P.; PIISPANEN, J.; POIKOLAINEN, J.; SANTAMARIA, J. M.; SKUDNIK, M.; SPIRIC, Z.; STAFILOV, T.; STEINNES, E.; STIHL, C.; SUCHARA, I.; THONI, L.; TODORAN, R.; YURUKOVA, L.; ZECHMEISTER, H. G. Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some “hotspots” remain in 2010. **Environmental Pollution**, v.200, p.93-104, 2015.

HARMENS, H.; FOAN, L.; SIMON, V.; MILLS, G. Terrestrial mosses as biomonitors of atmospheric POPs pollution: a review. **Environmental Pollution**, v.173, p.245-254, 2013a.

HARMENS, H.; MILLS, G.; HAYES, F.; NORRIS, D. Air Pollution and Vegetation. ICP Vegetation Annual Report 2012/2013. ICP Vegetation Programme Coordination Centre. **Centre for Ecology & Hydrology Bangor**, v.42, p.2013b.

HARMENS, H.; ILYIN, I.; MILLS, G.; ABOAL, J. R.; ALBER, R.; BLUM, O.; KUN, M. C.; TEMMERMAN, L.; FERNANDEZ, J. A.; FIGUEIRA, R.; FRONTASYEVA, M.; GODZIK, B.; GOLTSOVA, N.; JERAN, Z.; KORZEKWA, S.; KUBIN, E.; KVIETKUS, K.; LEBLOND, S.; LIIV, S.; MAGNÚSSON, S.H.; MANKOVSKA, B.; NIKODEMUS, O.; PESCH, R.; POIKOLAINEN, J.; RADNOVIC, D.; RÜHLING, Å.; SANTAMARIA, J.M.; SCHREODER, W.; SPIRIC, Z.; STAFILOV, T.; STEINNES, E.; SUCHARA, I.; TABOR, G.; THEONI, L.; TURCSANYI, G.; YURUKOVA, L.; ZECHMEISTER, H. G. Country-specific correlations across Europe between modelled atmospheric cadmium and lead deposition and concentrations in mosses. **Environmental Pollution**, v.166, p.1-9, 2012.

HARMENS, H.; NORRIS, D. A.; COOPER, D. M.; MILLS, G.; STEINNES, E.; KUBIN, E.; THEONI, L.; ABOAL, J. R.; ALBER, R.; CARBALLEIRA, A.; COŞKUN, M.; TEMMERMAN, L.; FROLOVA, M.; GONZALES-MIQUEO, L.; JERAN, Z.; LEBLOND, S.; LIIV, S.; MANKOVSKA, B.; PESCH, R.; POIKOLAINEN, J.; RÜHLING, Å.; SANTAMARIA, J.M.; SIMONEIE, P.; SCHREODER, W.; SUCHARA, I.; YURUKOVA, L.; ZECHMEISTER, H.G. Nitrogen concentrations in mosses indicate the spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition in Europe. **Environmental Pollution**, v.159, p.2852-2860, 2011.

HARMENS, H.; NORRIS, D. A.; STEINNES, E.; KUBIN, E.; PIISPANEN, J.; ALBER, R.; ALEKSIAYENAK, Y.; BLUM, O.; KUN, M. C.; DAM, M.; TEMMERMAN, L.; FERNANDEZ, J. A.; FROLOVA, M.; FRONTASYEVA, M.; GONZALEZ-MIQUEO, L.; GRODZINSKA, K.; JERAN, Z.; KORZEKWA, S.; KRMAR, M.; KVIETKUS, K.; LEBLOND, S.; LIIV, S.; MAGNÚSSON, S.H.; MANKOVSKA, B.; PESCH, R.; RÜHLING, Å.; SANTAMARIA, J. M.; SCHREODER, W.; SPIRIC, Z.; SUCHARA, I.; THEONI, L.; URUMOV, V.; YURUKOVA, L.; ZECHMEISTER, H.G. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: spatial and temporal trends in Europe. **Environmental Pollution**, v.158, p.3144-3156, 2010.

HODA, H. H.; AHDY, A. M.; ALY, A.; FATHY, T. T. Assessment of heavy metals and nonessential content of some edible and soft tissues. **Egyptian journal of aquatic research**, v.33, p.85, 2007.

HUBERS, M.; KERP, H. Oldest known mosses discovered in Mississippian (late Viséan) strata of Germany. **Geology**, v.40, p.755-758, 2012.

IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 100, A Review of Human Carcinogens. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. 2016. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/index.php>. Acesso: 02 de junho, 2016.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. Chemistry And Human Health Division Clinical Chemistry. Heavy metals— a meaningless term. **Pure and Applied Chemistry**, v.74, p.793–807, 2002.



JAGER, L. P.; RIJINIERSE, F. V. J.; ESSELINK, H.; BAARS, A. J. Biomonitoring with the buzzard *Buteo buteo* in the Netherlands: heavy metals and sources of variation. **Jornal Ornithology**, v.137, p.295–318, 1996.

JANSSEN, C. R.; SCHAMPHELAERE, K.; HEIJERICK, D.; MUYSSSEN, B.; LOCK, K.; BOSSUYT, B.; VANGHELUWE, M.; VAN SPRANG, P. Uncertainties in the environmental risk assessment metals. **Human Ecological Risk Assessment**, v.6, p.1003-1018, 2000.

KAPUSTA, S. C. **Bioindicação ambiental**. Porto Alegre: Escola Técnica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

KAYEE, P.; SONGPHIM, W.; PARKPEIN, A. Using thai native moss as bio-adsorbent for contaminated heavy metal in air. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.197, p.1037–1042, 2015.

LIMA, L. M. Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**. São Paulo: Hemus Editora, 3ª ed., 1995.

MAHAR, A.; WANG, P.; ALI, A.; AWASTHI, M. K.; LAHORI, A. H.; WANG, Q.; LI, R.; ZHANG, Z. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.126, p.111–121, 2016.

MAIA, N. B.; MATOS, H. L.; BARRELA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 1ª ed., 2001.

MAKI, E. S.; SHITSUKA, R.; BARROQUEIRO, C. H.; SHITSUKA, D. M. Utilização de bioindicadores em monitoramento de poluição. **Biota Amazônia**, v.3, p.169-178, 2013.

MALAVOLTA E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutriente e metais pesados: mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994.

MAZZONI, A. C.; LANZER, R.; BORDIN, J.; SCHAFER, A.; WASUM, R. Mosses as indicators of atmospheric metal deposition in an industrial area of southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, p.553-558, 2012.

MIGASZEWSKI, Z. M.; GAUSZKA, A.; DOEGOWSKA, S.; CROCK, J. G.; LAMOTHE, P. J. Mercury in mosses *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska: Understanding the origin of pollution sources. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.73, p.1345-1351, 2010.

MOREIRA A. S. **Biossorção Utilizando alga marinha (*Sargassum sp.*) aplicada em meio orgânico**. 2007. 23p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

OGUNKUNLE, C. O.; ZIYATH, A. M.; RUFAL, S. S.; FATOBA, P. O. Surrogate approach to determine heavy metal loads in a moss species – *Barbula lambaranensis*. **Journal of King Saud University – Science**, v.28, p.193-197, 2016.

PIGNATA, M. L.; GUDIÑO, G. L.; WANNAZ, E. D.; PLÁ, R. R.; GONZÁLEZ, C. M.; CARRERAS, H. A.; ORELLANA, L. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in

Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. **Environmental Pollution**, v.120, p.59-68, 2002.

PONTES, M.S.; SANTIAGO, E.F.; NOBREGA, M.A.S.; BARBOSA, V.M.; MOTTA, I.S. Germinação de sementes de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud (Moraceae) embebidas em lodo de esgoto. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, p. 1-6, 2014.

QARRI, F.; LAZO, P.; STAFILOV, T.; BEKTESHI, L.; BACEVA, K.; MARKA, J. Survey of atmospheric deposition of Al, Cr, Fe, Ni, V, and Zn in Albania by using moss biomonitoring and ICP-AES. **Air Quality Atmosphere Health**, v.7, p.297-307, 2014.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 8ª ed., 2014.

SERT, E.; UGUR, A.; OZDEN, B.; SAÇ, M. M.; CAMGOZ, B. Biomonitoring of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb using lichens and mosses around coal-fired power plants in Western Turkey. **Journal of Environmental Radioactivity**, v.102, p.535-542, 2011.

SORVARI, J.; RANTALA, L. M.; RANTALA, M. J.; HAKKARAINEN, H.; EVA, T. Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. **Environmental Pollution**, v.145, p.324-328, 2007.

SOUZA, V. M. **Bioindicadores animais de metais poluentes**. 2010. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2010.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brasilian Journal of Radiation Sciences**, v.3, p.01-13, 2015.

SZCZEPANIAK, K.; BIZIUK, M. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. **Environmental Research**, v.93, p.221–230, 2003.

TORO, I. D.; FLOYD, K.; GARDEA-TORRESDEY, J.; BORROK, D. Heavy metal distribution and bioaccumulation in Chihuahuan Desert Rough Harvester ant (*Pogonomyrmex rugosus*) populations. **Environmental Pollution**, v.158, p.1281-1287, 2010.

VAITSMAN, E. P.; VAITSMAN, D. S. **Química & Meio Ambiente: Ensino Contextualizado**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

WILKIE, D.; LA FARGE, C. Bryophytes as heavy metal biomonitors in the Canadian High Arctic. **Arctic Antarctic and Alpine Research**, v.43, p.289-300, 2011.

WOLTERBEEK, B. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. **Environmental Pollution**, v.120, p.11–21, 2002.

ZIMBONE, A. L. **Le briofite come bioindicatori ambientali nell'area costiera del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano (Italia Meridionale)**. 2012.117 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Università Degli Studi di Catania, 2012.