

Avaliação do Papel das Briófitas como Bioindicadores na Remoção de Metais Pesados do Meio Ambiente

DOI: 10.5281/zenodo.13118012

Linara Tarusa Damascena Correa^{a*}

The study carried out by the authors of the reference article analyzed the atmospheric deposition of cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), nickel (Ni), manganese (Mn), lead (Pb) and zinc (Zn) in Kosovo. The concentrations of metallic elements were determined by atomic absorption spectrometry (AAS) equipped with flame and/or furnace systems. Thus, the use of bryophytes as bioindicators proved to be an effective and low-cost method for determining the rate of environmental pollution due to human activities.

O estudo feito pelos autores do artigo referencial analisou a deposição atmosférica de cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em Kosovo. As concentrações dos elementos metálicos foram determinadas por espectrometria de absorção atômica (AAS) equipada com sistemas de chama e/ou forno. Dessa forma, a utilização de briófitas como bioindicadores se mostrou um método eficaz e de baixo custo para determinar o índice de poluição do ambiente devido a atividades antrópicas.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: linara.tarusa@gmail.com

Palavras-chave: poluição do ar; metal pesado; briófitas; AAS.

Aceito em 25 de maio de 2024,

Aprovado em 16 de julho de 2024,

Publicado em 31 de julho de 2024.

Introdução

É indiscutível que o desenvolvimento industrial proporcionou grandes avanços tecnológicos. A industrialização dos países foi intensificada, principalmente depois do êxodo rural, dando origem a era da urbanização. Dessa forma, o ser humano melhorou a capacidade produtiva, aumentou o consumo, se aperfeiçoou nos campos da medicina, do transporte e das telecomunicações, contudo a constante intervenção humana em busca de seu desenvolvimento causou danos progressivos ao planeta, como poluição do ar, do solo e da água.¹

Devido a isso, pautas ambientais têm se tornado cada vez mais frequentes e, por consequência, a preocupação com o meio ambiente tem se intensificado, impulsionando diversas pesquisas voltadas ao estudo da degradação ambiental, sendo um dos tópicos importantes a contaminação das águas por metais pesados.

O termo "metal pesado" refere-se a elementos químicos com densidade superior a 5 g/cm³, sendo uma das principais características o elevado valor de número e massa atômica.² Embora pequenas quantidades de metais sejam essenciais para a manutenção de processos biológicos, concentrações elevadas podem ser fatais, devido à alta reatividade desses elementos, que participam de reações em cadeia sem serem metabolizados.^{2,3} Como resultado, os organismos vivos não conseguem degradá-los, resultando em uma contaminação acumulativa que se intensifica com o passar do tempo.

Os metais pesados estão presentes em diversas atividades, por exemplo, no setor agrícola, eles são provenientes de fertilizantes inorgânicos e orgânicos, das águas de irrigação e dos pesticidas. Embora, os níveis de metais transferidos ao solo sejam baixos, seu uso constante pode ser responsável por um desequilíbrio ambiental. Nas indústrias, esses metais podem chegar ao meio ambiente através da mineração, até mesmo as ações cotidianas são responsáveis pela contaminação do ambiente, como por exemplo, o transporte utilizando automóveis e aeronaves que utilizam combustíveis fósseis.⁴

Mais especificamente no caso do tráfego rodoviário, os metais pesados são liberados no formato de partículas de ar de diversos tamanhos. A origem desses elementos está na combustão incompleta de combustíveis fósseis em veículos movidos a diesel e gasolina, o que mostra também a importância dos biocombustíveis para a preservação ambiental. Dessa forma, alguns dos elementos emitidos se ligam às partículas sólidas, enquanto outros permanecem na fase gasosa, a depender do processo de combustão. Sob diferentes condições climáticas, essas partículas podem ser transportadas por longas distâncias pelo vento e, eventualmente, serem depositadas no solo e nas águas.⁵

É importante ressaltar que os metais presentes no meio ambiente não se degradam ao longo do tempo, além de apresentar características de bioacumulação nos seres vivos e biomagnificação, ou seja quando há acúmulo progressivo de substâncias na teia trófica, sendo responsáveis pela geração de danos aos ecossistemas e, potencialmente, à saúde humana. Portanto, as contínuas emissões desse elemento são

absorvidas em primeiro lugar por vegetais e animais, causando assim intoxicações em todos os níveis da cadeia alimentar.²

Nessa perspectiva, a aplicação de técnicas eficientes capazes de remover/reduzir metais presentes no meio ambiente é fundamental para diminuir os impactos que estes elementos podem causar nos seres vivos. Na maioria das vezes, a avaliação da presença de poluentes no meio ambiente é realizada por meio de metodologias que utilizam recursos químicos, físicos ou físico-químicos, fazendo o uso de aparelhos que, em muitos casos, são bastante sofisticados e caros. Uma forma alternativa e mais barata de realizar a mesma análise é monitorar como o poluente, ou seja, os metais pesados afetam os organismos vivos. É importante ressaltar que essa metodologia é relativamente nova nas ciências ambientais, conhecido como biomonitoramento ou bioindicação.⁶

Dessa forma, a bioindicação fundamenta-se no princípio de estabilidade e equilíbrio dinâmico que os sistemas biológicos adquirem após passarem por processos adaptativos a diversos fatores ambientais ao longo de sua evolução. Ao final, esses sistemas conquistaram um espaço e um nicho ecológico onde encontram as condições necessárias e favoráveis para sua manutenção e reprodução. No entanto, alterações no meio ambiente sob a influência de estressores antrópicos resultam em novos estados de estabilidade.^{6,7}

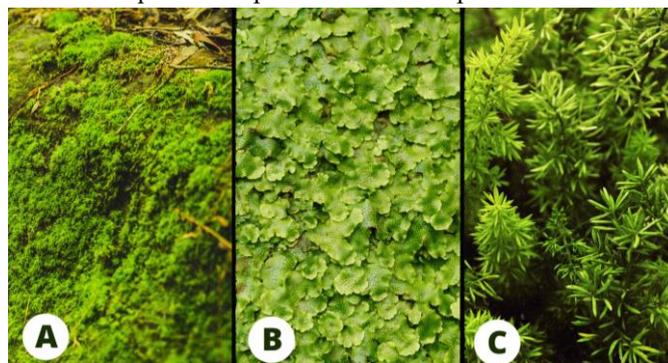
Todo e qualquer organismo reage a mudanças no meio ao qual estão inseridos, contudo nem todos se adaptam. Para aqueles que não conseguem prosseguir no processo evolutivo devido a sua capacidade adaptativa ser ultrapassada, manifestam-se em sua estrutura sintomas visíveis. Nesse contexto, o reconhecimento da fonte poluidora ocorre após o aparecimento de certos danos visíveis, assim parâmetros bioquímicos e fisiológicos sensíveis podem indicar o início do estresse em concentrações ainda baixas de estressores.^{6,7}

O biomonitoramento utiliza vegetais como ferramenta para a avaliação da qualidade do ar, da água e dos solos. Este método emprega técnicas simples e reproduz de forma mais precisa a qualidade do meio ambiente, pois avalia as respostas de sistemas biológicos de maneira integrada, ou seja, a ação de diversos poluentes simultaneamente e em condições atmosféricas reais. O uso do biomonitoramento como ferramenta para a avaliação da qualidade ambiental é amplamente reconhecido em nível mundial.^{6,5}

Nesse contexto, surgem os bioindicadores, organismos que permitem o monitoramento da qualidade ambiental. Através da coleta de uma amostra, é possível

realizar uma análise para verificar a presença de poluição e estimar os níveis de cada poluente. As briófitas são excelentes bioindicadores, pois possuem uma alta capacidade de acumular metais pesados devido à sua grande área superficial. Além disso, a parede celular de suas células é carregada negativamente, o que facilita a troca catiônica com metais pesados, uma vez que estes possuem carga positiva.¹

Figura 1. Exemplo de briófitas. “A” corresponde ao musgo, “B” corresponde à hepática e “C” corresponde ao antocero.



As briófitas são organismos de pequeno porte, visto que não possuem vasos condutores de seiva. Elas predominam em locais úmidos e com pouca luminosidade, como por exemplo rochas, troncos ou outras superfícies. Seus principais representantes incluem os musgos, as hepáticas e os antóceros. Elas também constituem o segundo maior grupo de plantas terrestres, com distribuição ampla, e possuem alta adaptabilidade a diversas condições ambientais. Por fim, caracterizam-se por apresentar um ciclo de vida marcado pela alternância de gerações gametofítica e esporofítica, sem estruturas diferenciadas em raiz, caule e folhas.⁸

Além disso, as briófitas aquáticas são reconhecidas por sua sensibilidade, tolerância e capacidade de acumular uma vasta gama de metais pesados, radionuclídeos e nutrientes. Dentre os fatores que contribuem para essa capacidade estão características morfológicas e fisiológicas, como a falta de uma cutícula bem desenvolvida, uma alta relação superfície/volume, que favorece a captura de partículas, e uma elevada capacidade de troca catiônica, possibilitando o acúmulo de grandes quantidades de elementos.^{9,10,11}

Consequentemente, as características desse grupo tornam as briófitas adequadas para serem utilizadas como bioindicadores e fitorremediadores de contaminantes ambientais.⁸ A análise de traços de elementos acumulados nas briófitas fornece informações valiosas sobre os poluentes no ambiente, possibilitando a avaliação das mudanças na qualidade do meio em que o contaminante se encontra.¹² Nesse

contexto, é fundamental o desenvolvimento de estudos que utilizem espécies de briófitas na remoção de metais, especialmente quando se pode explorar de forma diferenciada as características desse grupo.

Metodologia

A elaboração e redação deste QuiArtigo contaram com a utilização das plataformas *Google Scholar*, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o *Web of Science*. É importante ressaltar que todos os estudantes regularmente matriculados na Universidade de Brasília (UnB) têm acesso as duas últimas plataformas citadas por meio de seus e-mails institucionais. A pesquisa foi conduzida com base no emprego de palavras-chave específicas, sendo estas "Bioindicadores", "Briófitas" e "Metal pesado".

No artigo em referência,¹³ os autores coletaram amostras de musgo em 25 locais diferentes distribuídos de forma uniforme pelo território do Kosovo durante o período do verão de 2011. As espécies de musgo mais predominantes nesta área de estudo foram *Pseudoscleropodium purum* e *Hypnum cupressiforme*, sendo que a primeira espécie foi encontrada em 23 locais, enquanto a segunda foi encontrada nos outros dois locais.

Em seguida, as amostras foram armazenadas em sacos de papel e transferidas para os laboratórios de análise. Antes da análise, as amostras passaram por um processo de limpeza para a remoção de materiais estranhos, como folhas mortas, cascas de árvores, líquenes, poeira do solo e outros materiais orgânicos mortos aderidos à superfície das amostras.

Para a análise foram utilizadas as partes verdes e marrom-esverdeadas representando de 3 a 5 anos de crescimento da planta. As amostras foram secas por 48 horas a 30–35 °C. Para reduzir o tamanho das partículas e garantir a homogeneidade, as amostras foram trituradas manualmente.

Foi empregada a técnica de digestão, portanto foi utilizado aproximadamente 0,5 g de amostras de musgo que foram transferidas para tubos de Teflon de meia pressão, aos quais foram adicionados 10 ml de ácido nítrico (na proporção de 9:1). Os tubos foram então selados e deixados em temperatura ambiente por 48 horas, seguidas de uma digestão por 3 horas a 80–90 °C. Posteriormente, a temperatura foi elevada para 200°C por meia hora para a conclusão da digestão. Os tubos foram abertos e o ácido foi evaporado até reduzir a um volume mínimo.

Após o resfriamento, a massa foi transferida para frascos volumétricos de 25 ml e diluída até a marca com água tratada por osmose. A determinação dos metais pesados, como Cu, Cd, Pb, Mn e Ni, foi realizada por espectrometria de absorção atômica (AAS) equipada com sistema eletrotérmico, utilizando o espectrômetro analítico de absorção atômica Jena (AAS). Para Zn e Fe, foi empregada AAS de chama, enquanto para a determinação de mercúrio, em "foi utilizada a espectrometria de absorção atômica de vapor frio (CVAAS) com o instrumento *Varian 10+*."

Resultados e discussão

O estudo feito pelos autores do artigo referencial analisou a deposição atmosférica de cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em Kosovo. O primeiro ponto a destacar dos autores foi o cuidado do local da coleta. As amostras foram coletadas justamente nas regiões onde havia grande atividade rodoviária, ou seja, uma maior quantidade de poluição sendo produzida naquela região devido a queima de combustíveis fósseis. Portanto foram evitadas áreas de alta montanha, localizadas no norte, oeste e sul do Kosovo, nas quais o ar estaria mais limpo devido a menor intensidade de atividade humana.

Ainda com relação a metodologia adotada pelos autores, também é importante ressaltar que os autores utilizaram as partes mais velhas do musgo visto que elas tiveram mais contato com o ambiente poluído, portanto teriam uma deposição significativa de metais pesados em sua superfície.

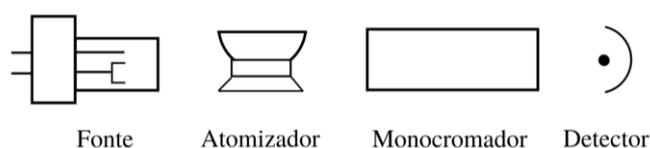
A quantidade dos locais de coletas também é muito importante para o experimentalista visto que a amostra a ser analisada deve ser uma representação do todo, ou seja, da população de interesse. Considerando que o país de Kosovo possui apenas 10.887 km² de área, os experimentalistas conseguiram coletar amostras significativas. Além disso, produziram também as sub-amostras que consiste na combinação de várias amostras coletadas em diferentes locais dentro da população de interesse, com a finalidade de homogeneizá-las.^{14,15}

Para o caso do estudo, os métodos mais utilizados para o preparo de amostras de metal pesado são os de extração, digestão por via úmida e métodos que envolvem combustão. Dessa forma, os autores utilizaram para a determinação desses analitos o método de digestão que é mais comum de todos, e

que em geral são feitos com o uso de ácidos fortes como ácido nítrico (HNO₃) e ácido clorídrico (HCl).^{14,15}

A Espectrometria de Absorção Atômica¹⁶ foi utilizada para analisar as amostras, pois ela permite a determinação quantitativa de elementos, como metais, em amostras diversificadas, desde alimentos até materiais ambientais. Assim, a técnica visa medir a intensidade da radiação eletromagnética, emitida pela fonte, que é absorvida pelos átomos gasosos da amostrada no estado fundamental, aqueles dispostos nos níveis mais baixos de energia devido a passagem pelo atomizador. Dessa forma, a identificação e quantificação dos metais pesados é possível visto que a taxa de absorção é proporcional à concentração dos átomos na amostra.

Figura 2. Estrutura simplificada da Espectrometria de Absorção Atômica.



Com relação a análise, ao atravessar a parede celular das briófitas, o agente poluente entra em contato com a membrana plasmática. Nesse momento, há a formação de ligações químicas entre grupos sulfidríla das proteínas e grupos peróxidos dos lipídeos com o metal pesado,¹⁷ o que acarreta na perda das funções básicas da planta, como por exemplo, a fotossíntese pois a produção de clorofila é prejudicada pela formação dessas ligações.

A contaminação por metais pesados possui alto teor de toxicidade, por isso plantas bioindicadores devem apresentar certa resistência aos poluentes, em outras palavras, acumular quantidades consideráveis do material, mas sem sofrer tantos efeitos colaterais no crescimento ou desenvolvimento.¹⁸ Além disso, também devem resistir a longos períodos de exposição, possibilitando assim uma análise do ambiente ao qual estão inseridas, momentânea e também após exposição integrada, que é muito importante nas áreas onde os níveis de metais mudam rapidamente.

Os resultados da análise apresentada pelos autores com relação à concentração de metais pesados nas briófitas foram em quantidades significativas, sendo a ordem de concentração dos elementos, no musgo, amostras foram Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cr > Cd > Hg. Contudo, no caso dos metais Cd, Hg, Fe, Ni, and Pb é importante lembrar que devido à localização do país, que possui característica da origem

litogênica, a origem primária desses elementos pode também estar associada a crosta terrestre¹⁹ e que refere não somente as atividades humanas, como também reflete na deposição atmosférica da poeira do solo levada pelo vento.

No caso do Ni e o Cd, eles não fazem parte tradicionalmente do ambiente, portanto é influenciada por outros fatores antropogênicos. Dessa forma, as disparidades na concentração de metais em musgos entre diferentes regiões do país refletem a variação local na deposição de metais pesados e a localização das fontes de emissão desses elementos.

É interessante também ressaltar que os autores, além de analisarem a deposição de metais pesados em Kosovo, eles também compararam a deposição com dados coletados de 2010 de demais países da Europa. Dessa forma, as concentrações médias de Pb, Zn e Cr nas amostras de musgo do Kosovo são superiores à mediana das concentrações de Pb em amostras de musgo da Europa, indicando um forte impacto de fatores antropogênicos, como emissões veiculares, processamento de metais e origem geogênica da poeira do solo dispersada pelo vento. Os contaminantes mais presentes foram os Hg, Cd, Pb, Ni, Fe e Zn, sendo a região de ocidental do Kosovo a mais poluída, devido a grande atividade industrial do tráfego a partir das emissões veiculares,

Levando em consideração o que foi abordado, nota-se que apesar dos níveis de metal pesado encontrados pelos autores não serem tão significativos, a proposta da utilização das briófitas como bioindicadores mostrou-se eficaz visto que a identificação dos poluentes foi possível, demonstrando que elas são um bom instrumento de avaliação ambiental.

Além disso, a escolha da planta a ser analisada foi determinante, visto que os musgos possuem ampla distribuição geográfica, sendo facilmente encontrados em diversas regiões do planeta, além de se desenvolverem durante todos os períodos do ano. As briófitas, de forma geral, possuem uma alta capacidade de adaptação às condições ambientais, permitindo assim uma análise mais precisa de como está a qualidade do ambiente local.

A coleta das amostras em diferentes partes de Kosovo permitiu uma visão mais completa do todo, destacando-se também a interação com o poluente, de modo que a amostra apresentou sensibilidade ao analito de interesse. Por fim, a resposta biológica foi efetiva, visto que o estímulo recebido pelo meio ocorreu de forma homogênea para possibilitar uma análise de maior confiança.²⁰

O estudo realizado pelos autores é de extrema importância, porque cada vez mais o nível de poluição aumenta no planeta devido as atividades antrópicas. Dessa forma, observa-se não somente contaminações no meio ambiente, mas também em outras áreas da cadeia animal. É importante lembrar que metais pesados são extremamente tóxicos, prejudicando não apenas a fauna e a flora, mas também afetando a saúde humana, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito cancerígena de metais pesados no ser humano. Extraído da referência 2.

Substância	Símbolo	Carcinogenicidade
Arsênio	As	Desenvolvimento de câncer de bexiga, pulmão, pele, e evidência limitada de câncer de fígado e bÍlis, próstata e rim.
Cádmio	Cd	Desenvolvimento de pulmão e evidência limitada de câncer próstata e rim.
Chumbo	Cu	Evidência limitada de câncer de estômago
Cromo	Cr	Desenvolvimento de câncer de pulmão.
Mercúrio	Hg	Neurotoxicidade que afeta as funções cognitivas, motoras e sensoriais.
Níquel	Ni	Desenvolvimento de câncer de cavidade nasal e seios paranasais.

Portanto, mesmo que as briófitas sejam o filo mais simples a compor reino *Plantae*, o uso desses organismos vegetais como bioindicadores é um instrumento eficaz de pesquisa, porque eles aumentam a eficiência do monitoramento ambiental, diminuem o custeio necessário para análise, devido à facilidade de amostragem, além de permitir uma avaliação melhor direcionada sobre efeitos ecológicos causados pela poluição.

Conclusões

Os seres vivos requerem uma variedade de metais em quantidades variadas para desempenhar funções vitais. No entanto, concentrações excessivas desses metais podem causar efeitos prejudiciais. A identificação precoce de áreas com altos teores de metais traço é crucial em estudos que investigam a correlação entre agentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Dessa forma, como apresentado no artigo em referência, a utilização de organismos vegetais como bioindicadores se mostrou uma estratégia eficaz para a pesquisa e avaliação ambiental. Os musgos, em particular, destacaram-se como candidatos promissores para estudos de bioindicação, devido à sua capacidade de indicar a presença de metais traço em ambientes impactados. Assim, a combinação do biomonitoramento de musgo com análise estatística dos dados permitiu a identificação de áreas em risco devido à elevada deposição atmosférica de metais pesados.

A análise utilizando técnicas químicas de espectrometria de absorção atômica, juntamente com conhecimentos biológicos e estáticos demonstrou também a importância de todas as áreas do conhecimento para uma análise de um problema que afeta não somente o país de Kosovo, mas o mundo. Dessa forma, a estratégia desenvolvida pelos autores pode ser reproduzida por demais parte do mundo a fim de analisar o índice de poluição do ambiente de uma forma sem tantos custos, utilizando o próprio reflexo da poluição no meio ambiente.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de algumas observações são de Linara Tarusa Damascena Correa.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 G. N. Negrão, R. M. F. D. Santos and B. H. M. D. Oliveira, MONITORAMENTO AMBIENTAL DE METAIS PESADOS EM BRIÓFITAS PELA ANÁLISE DE ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA – AAS EM GUARAPUAVA, PR, *Atena Editora*, 2021, **1**, 169–179.
- 2 A. K. R. Souza, C. Y. Morassuti and W. B. D. Deus, POLUIÇÃO DO AMBIENTE POR METAIS PESADOS E UTILIZAÇÃO DE VEGETAIS COMO BIOINDICADORES, *Acta Biomed.Bras.*, 2018, **9**, 95.
- 3 U. F. Fernandes and G. F. Sousa, Introduzindo conceitos sobre bioindicadores aquáticos em práticas de educação ambiental. *Experiências no Ensino de Ciências*, 2018, **13**, 84-107.
- 4 A. Klumpp, W. Ansel, G. Klumpp and A. Fomin, Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras, *Rev. bras. Bot.*, 2001, **24**, 511–518
- 5 R. Bargagli, *Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*, Springer, Berlin ; New York, 1998.
- 6 N. B. Maia, H. L. Martos, W. Barrella, H. A. Bollmann, and Pontificia Universidade Católica de São Paulo, Eds., *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*, Educ ; COMPED, INEP, São Paulo, 2001.
- 7 S. M. D. F. Aquino, J. R. D. Almeida, R. R. R. S. B. Cunha and G. A. Lins, BIOINDICADORES VEGETAIS: UMA ALTERNATIVA PARA MONITORAR A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, *Revista Internacional de Ciências*, 2011, **1**, 77–94.
- 8 J.-P. Frahm, T. Pocs, B. O’Shea, T. Koponen, S. Piippo, J. Enroth, P. Rao and Y.-M. Fang, Manual of Tropical Bryology, *BDE*, 2003, **23**, 1–200.
- 9 J. Lopez and A. Carballeira, Interspecific differences in metal bioaccumulation and plant-water concentration ratios in five aquatic bryophytes, *Hydrobiologia*, 1993, **263**, 95–107.
- 10 R. Gerdol, L. Bragazza, R. Marchesini, A. Medici, P. Pedrini, S. Benedetti, A. Bovolenta and S. Coppi, Use of moss (*Tortula muralis* Hedw.) for monitoring organic and inorganic air pollution in urban and rural sites in Northern Italy, *Atmospheric Environment*, 2002, **36**, 4069–4075.
- 11 H. G. Zechmeister, K. Grodzińska and G. Szarek-Lukaszewska, in *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, Elsevier, 2003, **6**, 329–375.
- 12 A. Klos, Determination of Sorption Properties of Heavy Metals in Various Biosorbents, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2018, **25**, 201–216.
- 13 A. Maxhuni, P. Lazo, S. Kane, F. Qarri, E. Marku and H. Harmens, First survey of atmospheric heavy metal deposition in Kosovo using moss biomonitoring, *Environ Sci Pollut Res*, 2016, **23**, 744–755.
- 14 D. M. West, D. A. Skoog and, H. F. James, *Fundamentos de química analítica*, Cengage Learning, , 10, 2021.
- 15 L. Jones and P. W. Atkins, *Princípios de química : questionando a vida moderna e o meio ambiente*, Bookman, 7, 2021.
- 16 F. A. C. Amorim, I. P. Lobo, V. L. C. S. Santos and S. L. C. Ferreira, Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares, *Quím. Nova*, 2008, **31**, 1784–1790.
- 17 A. C. D. Rodrigues, A. M. D. Santos, F. S. D. Santos, A. C. C. Pereira and N. M. B. A. Sobrinho, Response Mechanisms of Plants to Heavy Metal Pollution: Possibility of Using Macrophytes for Remediation of Contaminated Aquatic Environments, *Revista Virtual de Química*, 2016, **1**, 262-276.
- 18 G. Tyler, Bryophytes and heavy metals: a literature review, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1990, **77**, 231–253.

- 19 F. W. Clark and H. S. Washington, The composition of the Earth's crust. *Proof Paper*, 1924. **127**.
- 20 E. F. D. Souza, M. A. D. S. Nobrega and M. D. S. Pontes, MUSGOS COMO BIOINDICADORES DE METAIS PESADOS NO AMBIENTE, *Acta Biomed.Bras.*, 2017, **8**, 13-22.