

Utilização da samambaia *Pteridium arachnoideum* como fitorremediadora de Chumbo em áreas de mineração de carvão

Use of the fern *Pteridium arachnoideum* as a lead phytoremediator in coal mining areas

Manoel Fábio da Rocha^{1*}, Mari Lúcia Campos²

¹ Universidade Estadual de Maringá

² Universidade do Estado de Santa Catarina

* Autor para correspondência: mmanulisboa@outlook.com

Resumo

As ações antrópicas têm elevado os teores de elementos-traço (ET's) pelo planeta, ocasionando contaminações em corpos d'água e solos, a exemplo do que ocorre na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC) e os passivos ambientais ocasionados pela atividade de mineração do carvão. O presente estudo teve por objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre mineração de carvão e o uso de samambaias como fitorremediadoras e avaliar o potencial fitorremediador da samambaia *Pteridium arachnoideum* em área de depósito de carvão em SC. A metodologia foi dividida em duas etapas: na primeira foi realizada uma análise bibliométrica em banco de dados Scopus e Web of Science (WOS) com termos específicos, como “fern”, “phytoremediation” e “mining”, analisando os artigos publicados entre os anos de 2002 a 2022. Na segunda realizou-se avaliação do acúmulo de chumbo (Pb) no tecido da *P. arachnoideum* coletada em áreas de mineração de carvão na BCC. Criciúma, Forquilha, Lauro Müller, Siderópolis e Urussanga, foram os municípios para o desenvolvimento da pesquisa sobre caracterização dos teores de Pb presente nos rejeitos e estéreis dos depósitos da BCC, por apresentarem maiores problemas com passivos ambientais. Os teores de Pb encontram-se acima do valor de prevenção predito, para o solo, tanto para a resolução CONAMA n^o 420/2009, em três depósitos avaliados (A7, A8 e A9) que é de 72 mg.kg⁻¹, quanto para a Portaria do IMA n^o 45/2021, de 16,08 mg.kg⁻¹, onde apenas a área A12 não apresentou valor superior ao estabelecido. Os

estéreis e rejeitos da mineração são quimicamente pobres em macro e micronutrientes, apresentando teores anômalos de ET's. Mesmo com altos teores de Pb no solo, a *P. arachnoideum*, consegue se desenvolver no ambiente inóspito, demonstrando que pode apresentar potencial para fitoestabilização de Pb.

Palavras-chave: Elementos-traço. Fitorremediação. Pirita.

Abstract

Anthropogenic actions have increased the levels of trace elements (ET's) across the planet, causing contamination in bodies of water and soil, as is the case in the Santa Catarina Carboniferous Basin (BCC) and the environmental liabilities caused by coal mining activities. The present study aimed to carry out a bibliometric review on coal mining and the use of ferns as phytoremediators and to evaluate the phytoremediation potential of the fern *Pteridium arachnoideum* in a coal deposit area in SC. The methodology was divided into two stages: in the first, a bibliometric analysis was carried out in the Scopus and Web of Science (WOS) database with specific terms, such as “fern”, “phytoremediation” and “mining”, analyzing the articles published between the years from 2002 to 2022. In the second, an evaluation of the accumulation of Pb in the tissue of *P. arachnoideum* collected in coal mining areas of the BCC was carried out. Criciúma, Forquilha, Lauro Müller, Siderópolis and Urussanga, were the municipalities for carrying out research on the characterization of Pb levels present in the tailings and waste from BCC deposits, as they present greater problems with environmental liabilities. The Pb contents are above the predicted prevention value for the soil, both for CONAMA resolution n^o 420/2009, in three evaluated deposits (A7, A8 and A9) which is 72 mg.kg⁻¹ and for IMA Ordinance n^o 45/2021, 16.08 mg.kg⁻¹, where only area A12 did not present a value higher than that established. Mining waste and tailings are chemically poor in macro and micronutrients, presenting anomalous ET levels. Even with high levels of Pb in the soil, *P. arachnoideum* is able to develop in an inhospitable environment, demonstrating that it may have potential for Pb phytostabilization.

Key words: Trace elements. Phytoremediation. Pyrite.

1 Introdução

As atividades antropogênicas, a exemplo da mineração de carvão, podem ocasionar poluição por elementos-traço (ET's) nos solos e em mananciais de água, como rios e lagos (DANIEL, 2018). Conforme ZHU et al. (2022) a mineração de carvão é uma das atividades mais altamente poluente ao meio ambiente. No Brasil, a ocorrência de carvão mineral abrange os Estados do Sul e SP (SILVA; FERREIRA, 2015).

O dissulfeto de ferro (FeS_2) conhecido como pirita, encontrada nos rejeitos e estéreis da mineração de carvão, que pode, em contato com água ou oxigênio, vim a oxidar e formar a Drenagem Ácida de Mina (DAM), solução aquosa, é um dos principais passivos ambientais da atividade (CÉSAR et al., 2017).

O comportamento dos metais nos solos dependerá de diversos fatores como potencial hidrogeniônico (pH), densidade de partículas, oxi-hidróxidos de Fe e Al, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), matéria orgânica (MO), entre outros (MARRUGO NEGRETE et al., 2017), sendo que reduções do pH podem ocasionar mudanças no oxigênio dissolvido, nas concentrações de Fe, Mn e Al e de ET's (CÉSAR et al., 2017). ET's liberados no solo tem potencial de serem absorvidos pelo sistema radicular, alterando o metabolismo das plantas, podendo ocasionar sérios riscos à saúde humana (GALVAN et al., 2022).

A fitorremediação utiliza plantas e seus microrganismos associados para remediar problemas ocasionados no solo e água, podendo ser usada nos tratamentos de extensas áreas contaminadas com poluentes orgânicos e inorgânicos, como ET's, além de ser uma técnica com custo relativamente baixo quando comparada a outras técnicas de remediação (ANDRADE et al., 2007).

Entre as plantas fitorremediadoras há as hiperacumuladoras que podem ser cultivadas, de maneira natural, em lugares contaminados ou são plantas transgênicas com genes benéficos incorporados em si (YADAV et al., 2018).

Em áreas degradadas pela mineração de carvão é possível o uso de plantas com potencial fitorremediador objetivando a recuperação de tais áreas (ZHU et al., 2022). O presente estudo teve por objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre mineração de carvão e a utilização de samambaias como fitorremediadoras e avaliar o potencial

fitoremediador da samambaia *Pteridium arachnoiudeum* encontrada em áreas de mineração em SC.

2 Metodologia

1ª Parte: Revisão bibliométrica

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliométrica sobre a questão norteadora da mesma: Quais as potencialidades da utilização de samambaias na recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração de carvão?

A delimitação da pesquisa foi do ano de 2002 até 2022, tendo um banco de dados de 20 anos. Sendo que foram excluídos artigos de conferência, livros, capítulos de livros e outros tipos de publicações.

As pesquisas foram realizadas nas bases de dados Scopus e Web of Science (WOS), a partir de janeiro de 2023. As buscas de artigos se deram por meio de palavras-chave presentes no título do artigo, no resumo e nas palavras-chave para a base Scopus (SCOPUS, 2017) e selecionou-se a opção “tópicos”, correspondente à presença das palavras que aparecem no título, no resumo e nas palavras-chave plus e palavras-chave do autor, para a base WOS.

O uso dos termos OR e AND, conforme VISENTIN et al. (2019), são indispensáveis para a busca. O termo OR indica que pelo menos um dos termos pré-definidos deve aparecer nos resultados da pesquisa e o termo AND indica que todos os termos utilizados devem aparecer nos resultados da pesquisa, sendo que para ambas as pesquisas (Scopus e WOS) foram usados os mesmos procedimentos.

Na análise bibliométrica foram avaliados países, áreas temáticas, financiadores das pesquisas e os periódicos. A análise sistemática abordou detalhes em cada um destes tópicos como quais países têm publicações sobre o tema; quais as áreas temáticas se destacam em relação ao assunto; quem são os financiadores das pesquisas e quais periódicos destacam-se com mais publicações.

2ª Parte: Avaliação do acúmulo de Pb no tecido da samambaia *P. arachnoideum*

O presente estudo deu-se em cinco municípios na Bacia Carbonífera Catarinense (BCC): Criciúma, Forquilha, Lauro Müller, Siderópolis e Urussanga, todos integrantes da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC).

BCC é a denominação da unidade geomorfológica, que ocupa uma área de aproximadamente 1.659 Km², localizada no extremo sul de SC, em uma faixa alongada na direção Norte – Sul, sendo os Argissolos e os Cambissolos, os solos mais representativos da região, com aproximadamente 43,1% e 24,22%, respectivamente (EPAGRI, 2022).

A geologia da região encontra-se enquadrada no Grupo Guatá que se compõe de camadas de carvão e sedimentos não-glaciais, apresentando duas formações: a formação superior (Palermo) constituída por sítios arenosos, siltitos e folhelhos silticos, e a formação inferior (Rio Bonito) de origem flúvio-deltaicos, com seção arenosa (base), argilosa (intermediária) e areno-argilosa (superior) abarcando camadas de carvão (MAAHS et al., 2019).

A *P. arachnoideum* foi encontrada em todas as áreas dos cinco municípios, sendo que tais áreas se caracterizaram por possuírem rejeitos brutos e não sofreram nenhum tipo de procedimento de recuperação. A coleta, identificação da samambaia, análise química dos estereis e rejeito piritoso, análise do tecido da planta, foram obtidos da tese de doutorado de ANDREOLA (2015).

Para a realização da amostragem foi realizado, através de caminhamento, coleta de *P. arachnoideum*. O material foi acondicionado em sacos plásticos identificados e mantidos abertos para impedir possíveis danos nas samambaias, além de manter o rejeito piritoso e o solo presente no sistema radicular e a estrutura das plantas conservadas durante o transporte dos cinco municípios ao Laboratório de Levantamento de Análise Ambiental (LLAA) do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV UDESC.

O rejeito piritoso e o solo foram secos em estufa por 24 h a 60 °C, sendo moídos e passados em peneira de 2 mm. Para caracterizar o rejeito e solo foram determinados pH em água, utilizando-se uma relação solo/solução de 1:1, teores de P, K e Na pelo método Mehlich; Ca, Mg e Al com solução KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995) e MO (WALKLEY; BLACK, 1934). Os teores de argila foram determinados pelo método EMBRAPA (1997).

Plantas bioacumuladoras apresentam capacidade de bioconcentrar ET's em seus tecidos, em um fator de bioconcentração que varia de 50 a 450 para Pb (LEAL-ALVARADO et al., 2017). Ainda os mesmos autores, em estudos com a samambaia *Salvinia minima*, mostraram que o Pb bioacumulado não manifestou

efeitos visíveis nas folhas, mas alterou o processo de fotossíntese. Porém, como *S. minima* é aquática, foi preciso expô-la ao Pb e identificar os genes que elevaram sua expressão em resposta ao elemento.

3 Resultados

Para a revisão bibliométrica obtivemos: Para os termos "coal mining", "fern" e "lead" a base de dados WOS retornou apenas 1 resultado: o artigo "Ferns and lycophytes in coal mining waste and tailing landfills" (ANDREOLA et al., 2022). Para os termos "fern", "phytoremediation" e "mining" na WOS, retornaram 3 resultados: "Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water", artigo publicado no periódico Environmental Science And Pollution Research (2021); "A review of in situ phytoextraction of rare earth elements from contaminated soils" no periódico International Journal of Phytoremediation (2021) e "Small-scale and household methods to remove arsenic from water for drinking purposes in Latin America" no periódico Science Of The Total Environment (2012).

Para os termos "coal mining", "fern" e "lead" apenas 2 resultados: Ferns and lycophytes in coal mining waste and tailing landfills, publicado no periódico Environmental Science And Pollution Research (2022) e Phytomining of rare earth elements - A review, publicado no Chemosphere (2022).

O portfólio bibliográfico fora composto através da seleção de palavras chaves combinadas a operadores booleanos, sendo que para a Scopus usamos: ("fern" AND "phytoremediation" AND "mining") OR ("coal mining" AND "fern" AND "lead"). Os seis termos retornaram em 55 publicações, onde três eram capítulos de livros e uma conferência, logo obtivemos 51 artigos. Os idiomas dos 51 artigos foram: inglês (49), mandarim (1) e português (1). China, Índia e Austrália destacam-se com 29, 05 e 04 artigos publicados, respectivamente.

As revistas que publicam sobre o tema apresentam foco na área das Ciências Ambientais, tais como ecotoxicologia, desenvolvimento sustentável, ecossistemas, recuperações de áreas degradadas por ET's, dentre outras áreas, incluindo aqui as ciências biológicas (biota, utilização sustentável do meio ambiente, flora e fauna, etc) e

agrárias (degradação e restauração dos solos, planos de recuperação de áreas degradadas, etc).

Os periódicos com maiores números de artigos publicados são “Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição”, “Poluição ambiental” e “Quimiosfera” com seis, cinco e quatro publicações, respectivamente, seguidos por “Ciência do Meio Ambiente Total”, “Jornal Internacional de Fitorremediação” e “Diário de Materiais Perigosos”, cada um com três publicações ao longo de 2002 a 2022. Os outros periódicos aparecem com duas ou apenas um artigo publicado.

Para a segunda parte da metodologia obtivemos: Os teores de Pb no rejeito piritoso (RPS), no sistema radicular e na parte aérea (quadro 01) apresentaram correlação linear positiva ($P < 0,05$), indicando que a presença de Pb no RBS condiciona a presença no tecido da planta.

Quadro 01: Correlação linear entre teores de Pb no rejeito piritoso e solo (RPS), sistema radicular e parte aérea da samambaia *Pteridium arachnoideum* coletados em áreas de mineração de carvão nos 5 municípios da pesquisa de 2002 a 2022.

	Pb RPS	Pb sistema radicular
Pb sistema radicular	0,83*	1
Pb parte aérea	0,64*	0,76*

Fonte: Os autores (2023). *Significativo para teste Tukey e 5% de significância.

Para teores de Pb no RPS, na parte aérea e no sistema radicular observou-se os coeficientes de variação (CV) 4,81%, 12,76%, e 25,29%, respectivamente. Os Teores Pb nas áreas A7, A8 e A9 (quadro 02) encontram-se acima do valor de prevenção estabelecido pela resolução CONAMA N° 420/2009 de 72 mg.kg⁻¹ de solo e a área A7 também ultrapassa o valor de investigação para solo agrícola e residencial.

Quadro 02: Teores médios de Pb no RPS, no sistema radicular e parte aérea da *P. arachnoideum* coletada em 9 áreas de mineração e uma área testemunha (AT2).

Áreas	Teor RPS mg.Kg ⁻¹	Teor Sist. Rad. mg.Kg ⁻¹	Teor parte aérea mg.Kg ⁻¹
A1	52,81 c	0,41 c	1,00 bcd

A3	55,98 c	0,56 bc	1,96 b
A5	58,28 c	0,50 c	1,41 bc
A7	839,74 a	4,19 a	4,23 a
A8	141,51 b	2,61 a	5,21 a
A9	146,29 b	1,93 ab	1,01 bcd
A11	60,81 c	0,57 bc	0,49 d
A12	6,11 d	0,34 c	0,57 cd
A22	46,15 c	0,59 bc	2,06 b
AT2	55,03 c	0,22 c	0,49 d

Fonte: Os autores (2023). *Letras minúsculas correspondem a comparação entre áreas para teste Tukey e 5% de significância.

As áreas A9 e A8 apresentam teores de Pb seis vezes inferior a área A7, mas, os teores no tecido da planta são semelhantes. O quadro 03 apresenta a correlação linear entre o Pb presente no rejeito piritosos e no solo versus os fatores de translocação e de bioacumulação para a *P. arachnoideum*.

Quadro 03: Correlação linear de Pb no rejeito piritoso e no solo (RPS) versus fator de translocação e RPS versus fator de bioacumulação para *P. arachnoideum*.

	Pb RPS
Fator de translocação	- 0,41
Fator de bioacumulação	- 0,37

Fonte: Os autores (2023).

4 Discussão

Em relação a revisão bibliométrica percebe-se a carência de mais artigos, trabalhos e pesquisas relacionadas a temática de fitorremediação utilizada em áreas de mineração de carvão para remoção ou mitigação dos problemas ambientais relacionados a presença de elementos-traço.

Em relação a samambaia e a avaliação realizada na espécie *P. arachnoideum*, temos que os teores de Pb nas áreas A7, A8 e A9 encontram-se acima do valor de prevenção estabelecido pela resolução CONAMA N° 420/2009 de 72 mg.kg⁻¹ de solo e a área A7 também ultrapassa o valor de investigação para solo agrícola e residencial.

Áreas que sofreram com os problemas ambientais ocasionados pela mineração de carvão e sua má distribuição dos rejeitos piritosos, costumam apresentar-se com solos e corpos de água ácidos, ou seja, com pH de 5 para baixo, impossibilitando a sobrevivência da maioria das espécies vegetais que apresentem interesses agronômicos ou que conhecemos.

O teor de Pb encontrado no solo da área testemunha (55,03 mg.kg⁻¹) foi superior ao valor de referência de qualidade Pb, conforme Portaria nº 45/2021 do Instituto do Meio Ambiente (IMA), para SC é igual a 16,08 mg.kg⁻¹ (IMA, 2021). Para o solo o teor é quase quatro vezes maior do que aquele recomendado pela Portaria.

Os altos teores de Pb que ocorrem nas áreas A7, A8 e A9 podem estar associados à geoquímica do mesmo, que é pouco móvel, podendo ser complexado por matéria orgânica, quimissorvido em óxidos de silicato e minerais e precipitado como carbonato, hidróxido ou fosfato, sendo um dos metais tóxicos mais abundantes no carvão (ANDREOLA, 2022).

Quanto maior for o FB, maior será a capacidade da samambaia em transferir determinado elemento-traço presente na solução do solo, conseqüentemente, maior será a capacidade da planta em remover o elemento do meio ambiente. Nas áreas da pesquisa o FB mais alto, para a *P. arachnoideum*, para Pb, fora na A12, de 14%, porcentual baixo quanto comparado a *Athyrium wardii*, outra espécie de samambaia que, conforme ZHAN et al. (2018) pode apresentar FB de até 78% para Pb. Em relação ao FT seu valor indica a eficiência da *P. arachnoideum* em translocar o Pb presente no sistema radicular para a parte aérea, sendo as áreas A22, A3 e A5, as quais se destacaram em relação ao fator.

5 Conclusões

Os teores de Pb presente no tecido da samambaia *P. arachnoideum* indicam que a planta pode ser considerada fitoestabilizadora pois conseguiu se desenvolver em solos com elevados teores de Pb e apresentou FB e FT que permitiram caracterizá-la como tal.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Doutora Ariane Andreola, pela permissão de utilizar alguns dados e dá continuidade ao seu trabalho de doutorado e ao Professor Doutor David José Miquelluti pela ajuda, de muito valia, na parte estatística do trabalho.

Referências

ANDRADE, J.C. DA M.; TAVARES, S.R. DE L.; MAHLER, C.F. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. Oficina de Textos, 176 páginas, volume único, 2007.

ANDREOLA, A. **Relação entre a presença de samambaias e licófitas e o teor de elementos-traço em áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina, sul do Brasil**. Tese (doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages. 158 páginas, 2015.

ANDREOLA, A.; ROSINI, D.N.; CAMPOS, M.L.; BIASI, J.P.; ZANETTE, V.C.; BORTOLUZZI, R.L.C.; MIQUELUTTI, D.J.; NICOLEITE, E.R. **Ferns and lycophytes in coal mining waste and tailing landfills**. Environmental Science and Pollution Research. Volume 29, 12 páginas, 2022.

CÉSAR, R.; ROCHA, B. C. R. C.; CASTILHOS, Z. C.; CAMPOS T. M. P.; SCHNEIDER, C. **Bioensaios com oligoquetas edáficos para avaliação da eficácia do tratamento de resíduos de mineração de carvão em cenário de disposição terrestre**. Revista Geociências, 36, págs. 793 – 800. 2017.

DANIEL, E. S. **Aplicação de cobre, crescimento, morfogênese e nutrição mineral em gramíneas tropicais**. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 109 páginas, 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212 páginas, 1997.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. 1.010 páginas, 2022.

GALVAN, N. S.; CAMPOS, M. L.; MIQUELLUTI, D. J.; ESTEVES, M. E. S.; DORS, P. **Plantas medicinais e metais pesados: uma revisão bibliométrica**. Research, Society and Development, v. 11, n. 9, 2022.

IMA – Instituto do Meio Ambiente. **PORTARIA Nº 045/2021**. 16 páginas, disponível em: <https://consultas.ima.sc.gov.br/portarias/pdf/2802> Acesso em 06/02/2023.

LEAL-ALVARADO, D.A.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A.; CALDERÓN-VÁZQUEZ, C.L.; UH-RAMOS, D.; FUENTES, G.; RAMÍREZ-PRADO, J.H.; SÁENZ-CARBONELL, L.; SANTAMARÍA, J.M. **Identification of up-regulated genes from the metal-hyperaccumulator aquatic fern *Salvinia mínima* Baker, in response to lead exposure**. Aquatic Toxicology. Volume 193, 22 páginas, 2017.

MAAHS, R.; KUCHLE, J.; SCHERER, C.S.; ALVARENGA, R.S. **Sequence stratigraphy of fluvial to shallow-marine deposits: The case of the early Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, southernmost Brazil**. Brazilian Journal of Geology. Volume 49, 20 páginas, 2019.

MARRUGO NEGRETE, J.; PINEDO-HERNANDEZ, J.; DIEZ, S. **Avaliação da poluição por metais pesados, distribuição espacial e origem em solos agrícolas ao longo da bacia do rio Sinú, Colômbia**. Ambiente. Res., 154, pp. 380 – 388, 2017.
SCOPUS. **Scopus® Quick reference guide**. ELSEVIER, 9 páginas, 2017.

SILVA, L. M. DA.; FERREIRA, R. L. **Environmental Impact Caused by Coal Mining in The South of Santa Catarina State.** Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade, v.6 n.4 – 2015.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.edição, Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Boletim Técnico de Solos, 5), 174 páginas, 1995.

VISENTIN, C.; TRENTIN, A. W. S.; BRAUN, A. B.; THOMÉ, A. **Application of life cycle assessment as a tool for evaluating the sustainability of contaminated sites remediation: A systematic and bibliographic analysis.** Science of The Total Environment, v. 672, p. 893-905, 2019.

WALKLEY, A.J.; BLACK, I.A. **Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method.** Soil Sci. Volume 37, 10 páginas, 1934.

YADAV, K.K.; GUPTA, N.; KUMAR, A.; REECE, L.M.; SINGH, N.; REZANIA, S. **Mechanistic understanding and holistic approach to phytoremediation: A review on application and future prospects.** Journal Ecological Engineering. Volume 120, 62 páginas, 2018.

ZHAN, J.; LI, T.; YU, H.; ZHANG, X. **Cd and Pb accumulation characteristics of phytostabilizer *Athyrium wardii* (Hook.) grown in soils contaminated with Cd and Pb.** Environmental Science and Pollution Research. Volume 25, 11 páginas, 2018.

ZHU, X.; LI, J.; CHENG, H.; ZHENG, L.; HUANG, W.; YAN, Y.; LIU, H.; YANG, X. **Assessing the impacts of ecological governance on carbon storage in na urban coal mining subsidence area.** Journal Ecological Informatics. Volume 72. 2022.