

Potencial de espécies arbóreas nativas para fitorremediação sob solos de cerrado: revisão bibliográfica

Potential of native tree species for phytoremediation in Cerrado soils: literature review

Potencial de especies arbóreas nativas para la fitorremediación en suelos de cerrado: revisión bibliográfica

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França  

Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados (MS), Brasil
robertassrf@hotmail.com

Elka Élice Vasco de Miranda  

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Dourados (MS), Brasil
elkaelice@gmail.com

Guilherme Willkomm Paim  

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Dourados (MS), Brasil
gui_wilkom@hotmail.com

Resumo

O Cerrado é um dos biomas mais importantes do país. O avanço das fronteiras agrícolas em suas áreas tem causado, além da diminuição da vegetação nativa, a contaminação do solo através da má utilização de fertilizantes, herbicidas e pesticidas. O uso de plantas e sua microbiota associada para extrair ou reduzir a toxicidade de contaminantes no solo ou na água é denominado fitorremediação. Essa técnica é considerada não destrutiva e ecologicamente correta, além de ser social e economicamente aceita para a remediação de solos contaminados. Assim, objetivou-se com este trabalho, por meio de revisão bibliográfica, relatar e relacionar estudos utilizando espécies arbóreas nativas do Cerrado com potencial para fitorremediação de metais poluentes.

Palavras-chave: Metais pesados. Remediação. Espécies nativas.

Abstract



The Cerrado is one of the most important biomes in the country. The advance of agricultural borders in their areas has caused, in addition to the reduction of native vegetation, soil contamination through the misuse of fertilizers, herbicides and pesticides. The use of plants and their associated microbiota to extract or reduce the toxicity of contaminants in soil or water is called phytoremediation. This technique is considered non-destructive and ecologically correct, and is socially and economically accepted for the remediation of contaminated soils. Thus, the objective of this work, through literature review, report and relate studies using native Cerrado tree species with potential for phytoremediation of polluting metals. It can be seen that the Cerrado offers native plants with this potential, however, the existing studies still address few species, demonstrating the lack of studies on this subject.

Keywords: Heavy metals. Remediation. Native species.

Resumen

El Cerrado es uno de los biomas más importantes del país. El avance de las fronteras agrícolas en sus áreas ha causado, además de la reducción de la vegetación nativa, la contaminación del suelo a través del uso indebido de fertilizantes, herbicidas y pesticidas. El uso de plantas y su microbiota asociada para extraer o reducir la toxicidad de contaminantes en el suelo, o el agua se denomina fitorremediación. Esta técnica se considera no destructiva y ecológicamente correcta, y es aceptada social y económicamente para la remediación de suelos contaminados. Así, el objetivo de este trabajo, a través de la revisión de la literatura, reporta y relaciona estudios utilizando especies nativas de árboles Cerrado con potencial para la fitorremediación de metales contaminantes. Se puede ver que el Cerrado ofrece plantas nativas con este potencial, sin embargo, los estudios existentes aún abordan pocas especies, lo que demuestra la falta de estudios sobre este tema.

Palabras-clave: Metales pesados. Remediación. Especies nativas.

Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando, aproximadamente, 22% do território nacional. Sua área abrange os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além de algumas partes do Amapá, Roraima e Amazonas (BRASIL, 2020a). Grande parte dos solos da região dos Cerrados é classificada como Latossolo variando da coloração vermelha para a amarela e cobrindo aproximadamente 46% da área total desse Bioma. Caracteristicamente são solos profundos e bem drenados, apresentando acidez, toxidez de alumínio e escassez de nutrientes essenciais, tais como: cálcio, magnésio e potássio.

Além dos Latossolos, temos ainda os solos pedregosos e rasos (Neossolos Litólicos), geralmente de encostas, os arenosos (Neossolos Quartzarênicos), os orgânicos (Organossolos) e outros de menor expressão (EMBRAPA, 2020). A conversão da vegetação natural desse bioma em pastos e lavouras devese,

principalmente, às políticas federais de expansão da agropecuária nas décadas de 50 e 60. Com a construção de Brasília deu-se início à uma política expansionista, iniciada com uma rápida e desorganizada ocupação da região do Cerrado, fundamentada num modelo de exploração extrativista e, em muitos casos, predatório.

Além disso, o Governo Federal ainda investiu em pesquisas nas áreas da agricultura e pecuária, por meio da Embrapa e outros órgãos, sendo que os resultados desse investimento transformaram os solos do Cerrado, com baixa fertilidade, em áreas altamente produtivas, por meio da correção de acidez e da adubação química. Com o aumento das áreas destinadas à agricultura e à pecuária, grande parte do Cerrado foi ocupada por lavouras de monocultura e o bioma, antes visto como infértil, transformou-se na maior fronteira agrícola do planeta. (FERNANDES e PESSÔA, 2011).

A partir desse período, esses solos, que possuem altas concentrações de alumínio, têm sido contaminados por metais pesados, elementos com densidades superiores a 5 g cm⁻³ ou número atômico maior que 20 (BRESSAN et al., 2016), provenientes de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e fungicidas (MINET et al., 2017). Esse tipo de contaminação configura-se como um dos mais graves (KHAN et al., 2015), requerendo, ainda, muitos estudos relativos aos seus efeitos em plantas, visando a recuperação do solo e impedindo a contaminação de novas áreas.

Alguns dos metais encontrados na natureza são essenciais para o crescimento das plantas, como exemplo, o cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco, que desempenham funções bioquímicas e fisiológicas tais como participação em reações redox e diretamente na estrutura de várias enzimas (KHAN et al., 2015; IHSANULLAH et al., 2016). No entanto, quando a concentração destes elementos no solo excede certo limiar, estes podem se tornar tóxicos para as plantas. Essa toxicidade ainda pode variar de acordo com a espécie vegetal e está intimamente relacionada com a concentração e a forma química dos elementos, bem como o pH do solo (ACKOVA, 2018).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020b), entende-se como área contaminada uma área que contenha quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger que nela tenham sido

depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.

Nessas áreas pode haver compactação, erosão, salinização e até contaminação química dos solos. Diante desse cenário, exige-se que sejam aplicadas ações de recuperação do solo em áreas contaminadas, a fim de devolver às áreas degradadas sua funcionalidade ambiental. A recuperação de solos contaminados pode ser realizada através de métodos como remoção, lavagem do solo e estabilização física, porém, esses métodos são bastante dispendiosos. Por este fato, passou-se a dar preferência a métodos com custos mais baixos e menos agressivos ao meio ambiente (ESTRELA et al., 2018).

Dentro deste contexto, a fitorremediação, que emprega espécies vegetais e sua microbiota associada à rizosfera com o fim de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos, se torna uma técnica emergente para a descontaminação ambiental, pois tem baixo custo e gera o mínimo de perturbação ao solo quando comparada com outras técnicas (AGNELLO et al., 2015). Nesse contexto, ressalta-se a importância deste bioma, onde encontram-se as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul: Amazônica, São Francisco e Prata, o que resulta em um elevado potencial aquífero, favorecendo a sua biodiversidade (BRASIL, 2020a). Esse domínio fitogeográfico ainda tem papel essencial para a economia do país, com 42% do rebanho bovino, sendo responsáveis por 55% da produção de carne brasileira, e produzindo metade da safra nacional de grãos.

Além da produção de soja, o Cerrado responde por 76% do algodão, 31% do milho, 18% do arroz e 22% do feijão produzidos no país. Há ainda culturas como sorgo, girassol, cevada, trigo e seringueira assim como frutas e vegetais para a indústria de processamento de alimentos (SANTOS, 2020). Dado o interesse na recuperação de áreas degradadas do Cerrado, um bioma ameaçado e que ocupa parte significativa do território brasileiro, com espécies vegetais naturalmente adaptadas às condições climáticas e de solo da região, objetivou-se com este trabalho, por meio de revisão bibliográfica, relatar e relacionar estudos utilizando espécies arbóreas nativas do Cerrado com potencial para fitorremediação de metais poluentes.

Revisão de Literatura

O bioma Cerrado abriga 12.383 espécies vegetais, das quais 7.356 são endêmicas desse domínio fitogeográfico (Flora do Brasil, 2020 em construção). Dessa maneira, a heterogeneidade desse bioma torna-se um fator determinante para sua biodiversidade. Com a classificação dessa vasta diversidade, qualificou-se este bioma como a “savana mais rica do mundo”, além de ser o berço das águas, abrigando as nascentes dos principais rios da bacia Amazônica, Prata e do rio São Francisco (BRASIL, 2020a).

No entanto a conservação desse bioma está em risco, com o avanço das grandes plantações de monocultura e o uso desenfreado de herbicidas e agrotóxicos, além do aumento das quantidades geradas de resíduos que possuem origem da rede urbana, industrial ou agroindustrial, que acabam afetando a qualidade desse ambiente (GOMES, 2019).

Solos contaminados

Quando falamos em solos, a contaminação com metais pesados é um problema mundial, que afeta a produtividade agrícola, o rendimento de biomassa das plantas e a fertilidade do solo (LOTFY & MOSTAFA, 2014). Em ambiente natural o conteúdo de metais nos solos depende das quantidades presentes no material original e do seu grau de intemperismo. Sendo assim em condições normais, esses elementos ocorrem nos solos em baixas concentrações, sem risco para o meio ambiente. O aumento das concentrações de metais pesados nos solos é resultado da deposição atmosférica, aplicação de pesticidas, resíduos orgânicos e inorgânicos urbanos e industriais, resíduos de mineração e fertilizantes do solo (ALLOWAY, 2013).

Assim, elementos como o alumínio (Al), bário (Ba), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni), encontrados nas fontes antrópicas, quando dispostos em quantidades excessivas no solo, são considerados metais pesados, podem promover efeitos tóxicos tanto nas plantas quanto na atmosfera e biota do solo (CAMBROLLÉ et al., 2015).

As ações antrópicas são o principal fator quando se trata da contaminação do solo por metais potencialmente tóxicos. Dentre estas, destacam-se as emissões causadas

pelo crescimento desordenado de áreas industriais, mineração, uso inadequado de fertilizantes químicos e agentes fitossanitários, e a aplicação no solo de resíduos de esgoto (PANDEY et al., 2016). Esses contaminantes podem ser divididos em duas categorias, conforme os benefícios e toxicidade que promovem.

Há o tipo de elemento que é diretamente tóxico, mesmo em pequenas quantidades, como é o caso do cádmio, cromo, mercúrio e chumbo. Ainda, há metais que são micronutrientes essenciais para animais e vegetais, que, por fazerem parte de muitos processos metabólicos, além da composição de proteínas e enzimas, estão diretamente relacionados ao seu desenvolvimento e, mesmo assim podem se tornar tóxicos, quando sua concentração excede um teor crítico específico. Temos como exemplo o ferro e o manganês, que são micronutrientes essenciais, entretanto potencialmente tóxicos (TAIZ et al., 2017).

Ainda, existe uma relação entre a presença desses metais no solo, sua assimilação pelas plantas e os danos causados a saúde de animais e seres humanos (AHMAD et al., 2010). Khan et al. (2015) observam que as suas implicações na saúde humana podem ser diretas e indiretas, sendo o impacto direto relacionado à ingestão de alimentos contaminados, principalmente vegetais. Em condições naturais os metais estão contidos nos solos em baixas concentrações, sem que haja risco ao ambiente.

Nagajyoti et al. (2010), enumera seis fontes de metais potencialmente tóxicos que podem contaminar o meio ambiente: (1) fontes naturais: rochas e vulcões; (2) fontes agrícolas: fertilizantes, pesticidas, calagem do solo e irrigação; (3) fontes industriais: mineração, transporte do minério, fundição, reciclagem de metais; usinas que queimam carvão e usinas nucleares, indústria petrificadora; (4) efluentes domésticos: águas residuais da rede de esgoto, incineração de lixo e lixões; (5) fontes atmosféricas: deslocamento da fumaça e cinzas proveniente de erupções vulcânicas, queima de carvão e lixo; (6) outras fontes: veículos e aeronaves movidos a diesel.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil - CONAMA, no uso das atribuições, através da Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (ANEXO 1), alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013 (ANEXO 2), discorreu sobre critérios e valores para orientar a respeito da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, assim como as concentrações máximas permitidas para metais em solos e águas subterrâneas. O artigo 3º desta resolução determina que:

Art. 3º - A proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos. Vários têm sido os trabalhos abordando contaminantes em áreas de Cerrado. Nascimento (2016) estudando a contaminação por metais-traço em veredas, ecossistemas úmidos de grande importância ambiental no Bioma Cerrado, do triângulo mineiro observou que a concentração dos elementos-traço estudados esteve abaixo dos valores de prevenção estabelecidos pela legislação brasileira, permitindo inferir que essas áreas não estavam contaminadas.

Miranda (2016), em seu trabalho sobre metais pesados em solos agrícolas de Rio Verde- GO, descreve que os elementos-traços Cromo e Cádmio foram encontrados acima do permitido pela legislação brasileira, enquanto valores mínimos de elementos-traço arsênio e mercúrio, considerados prioritários na lista de produtos perigosos foram verificados no solo. Santos (2019) investigando a presença de metais pesados em áreas agrícolas e de Cerrado nativo no oeste da Bahia relata que as áreas agrícolas na região oeste da Bahia contribuíram para elevar os teores de elementos-traço (Bário, Cádmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Níquel e Zinco) no solo, em relação ao Cerrado nativo; ressaltando a necessidade de um acompanhamento adequado dos riscos de contaminação do solo da região.

A remediação de metais pesados do solo merece atenção, mas é prejudicada pelo custo desses processos, uma vez que pode ser influenciada por vários fatores, incluindo o local e as características de contaminação, custo, efetividade, tempo e aceitabilidade pública (PAZ-FERRERO et al., 2014; LIU, et al., 2017). Em contraponto, a fitorremediação tem uma ótima relação custo-benefício, pode ser aplicada em grandes extensões contaminada, além de atuar na restauração da paisagem (BERNARDINO, 2016).

Fitorremediação

O processo de remediação ajuda na melhoria das características físicoquímicas e na redução do conteúdo de poluentes e de sua periodicidade inerente. Os métodos tradicionais de recuperação do solo incluem remoção, lavagem e estabilização física. No

entanto, eles têm duas principais desvantagens: os custos elevados e a agressividade com o meio ambiente (ANDRADE et al., 2007).

Para sanar essas desvantagens, a fitorremediação se mostra como uma alternativa, uma vez que é uma técnica na qual as plantas são utilizadas para extrair, sequestrar ou desintoxicar o solo, água, sedimentos e ar contaminados. Quando o agente estressor presente no solo é levado até a planta, excedendo o limite homeostático do organismo, são ativados mecanismos de resposta em níveis molecular, bioquímico, fisiológico e morfológico (ZHAO et al., 2016).

Este processo só pode ser realizado graças à capacidade de adaptação de alguns vegetais a condições adversas do ambiente, tornando possível a absorção dos contaminantes, e desta forma se tornando uma alternativa biotecnológica economicamente viável (BERNARDINO et al., 2016; SILVA et al., 2019).

A fitorremediação pode ocorrer de várias maneiras, tais como fitoextração, que desloca os metais do solo e acumula na biomassa vegetal; fitodegradação ou fitotransformação, por meio da absorção, armazenamento e degradação dos contaminantes orgânicos; rizofiltração, onde os agentes contaminantes são removidos de fontes aquosas por meio das raízes; fitoestabilização, que imobiliza ou reduz a biodisponibilidade dos poluentes; e a fitovolatilização: que utiliza as plantas para volatilizar poluentes (PEUKE & RENNENBERG, 2005).

A fitorremediação acontece, principalmente, quando plantas aptas a fitoextração têm a habilidade de translocar o contaminante do solo para a fitomassa aérea. Já outras espécies, tais como as fitoestabilizadoras precisam apresentar sistema radicular vigoroso e habilidade de complexar o metal ao húmus do solo ou a ácidos orgânicos presentes na rizosfera. Plantas fitodegradadoras são aquelas que produzem substâncias orgânicas que estimulam o crescimento da biota do solo, para que essa degrade compostos orgânicos contaminantes; plantas volatilizadoras absorvem metais voláteis e os volatilizam nas folhas e plantas rizofiltradoras acumulam os metais em seu sistema radicular, precipitando-os (ANDRADE et al., 2007; SARMA, 2011).

Segundo Estrela et al. (2018), por ser de uma tecnologia de baixo custo e de rápido desempenho, é necessário conhecer o potencial das espécies e, com isso, testá-las quanto a sua aptidão como fitorremediadoras. Cantoni et al. (2019) ainda relatam que a

fitorremediação é uma técnica viável e adequada para ser utilizada em áreas pós-mineração, promovendo assim que a vegetação estabelecida nestas áreas possa crescer e se desenvolver.

Portanto, a fitorremediação surge como uma solução inovadora e sustentável para solos e águas contaminadas com metais pesados (ALI et al., 2013). Esta técnica de remediação *in situ*, que utiliza plantas para remover poluentes do meio ambiente ou torná-los inofensivo, tem sido aplicado gradualmente em escala global, uma vez que sua utilização desperta um grande interesse ambiental (PIVETZ, 2001).

Potencial de espécies nativas fitorremediadoras

O Brasil destaca-se mundialmente por ser o país com a maior diversidade biológica no mundo. Esse destaque se deve tanto pela exuberante quantidade de espécies animais e vegetais quanto pela complexidade de seus biomas (PIMENTEL et al., 2015). O fato é que o país tem capacidade de colocar em prática o conhecimento científico sobre a própria biodiversidade, usufruindo dos meios que a natureza oferece aliados ao desenvolvimento sustentável como, por exemplo, por meio da fitorremediação (SOUSA, 2018).

Em relação às plantas fitorremediadoras, o Cerrado tem um grande potencial para ser estudado, uma vez que a eficácia da fitorremediação está diretamente relacionada à sobrevivência e crescimento de espécies vegetais em locais que foram contaminados (SOUSA, 2018). As espécies vegetais deste bioma crescem em solos ácidos e ricos em metais que não conferem risco ao seu desenvolvimento (MEYER et al., 2016).

O potencial de fitorremediação de plantas nativas do cerrado pode ser determinado pelas características apresentadas por estas, principalmente por serem rústicas, apresentando biologia adaptada, diferenciada, sobrevivendo em condições edáficas e climáticas nas quais outras plantas não sobreviveriam (SOUSA, 2018).

Algumas das vantagens da utilização de plantas como fitorremediadoras são elevadas produção de biomassa, crescimento rápido, vigor, tolerância à poluição e competitividade. Porém, pode-se observar que o uso das plantas do Cerrado como

potencial fitorremediadoras esteja sendo subestimado, principalmente pela falta de estudos (LAMEGO & VIDAL, 2007).

Dentre os critérios desejáveis para as plantas fitorremediadoras, Procópio et al. (2009) listam elevada capacidade transpiratória, elevada taxa de crescimento, produção de biomassa e de exsudação radicular, sistema radicular profundo e denso, resistência a pragas e doenças, fixação de nitrogênio atmosférico, adaptabilidade ao local contaminado, fácil aquisição ou multiplicação de propágulos além de fácil controle ou erradicação posterior, alta associação com fungos micorrízicos, entre outras.

Desse modo, a utilização de espécies lenhosas para fitorremediação, além de cumprir os critérios, também contribui para a diminuição da erosão e lixiviação, além do aumento da atividade microbiana do solo, isto se dá devido ao desenvolvimento do sistema radicular e caulinar da planta, e a sua disposição de acumular metais, e a maior produção de biomassa (BRUNNER et al., 2008) Além disso, arborização de áreas degradadas é um modo sustentável de reconstruir o solo, além da regeneração do ambiente (HAIGH, 2018).

Alguns estudos utilizando espécies lenhosas desse Bioma já foram realizados, tais como Silva et al. (2007) que utilizaram *Peltophorum dubium* (canafístula), *Cedrela fissilis* (cedro) e *Enterolobium contortisiliquum* (timbaúva) na fitorremediação de cobre; e Caires et al. (2011) que também testaram o potencial de *C. fissilis* na fitorremediação de cobre, ambos com resultados positivos acerca das espécies utilizadas.

Estes trabalhos demonstram o potencial das plantas lenhosas nativas do Cerrado para o processo de fitorremediação, porém ainda existe uma gama de espécies a ser estudada para esse fim. Sousa (2018), em sua revisão bibliográfica, salienta ainda que há carência de estudos específicos sobre plantas do Cerrado que possuam habilidade de fitorremediar e, ainda, Lopes et al. (2010) relata que o uso de plantas exóticas nessa técnica é uma prática perigosa, pois sem a presença dos predadores naturais, as espécies poderiam virar pragas e desequilibrar o sistema. Os estudos sobre fitorremediação têm crescido no Brasil, mas ainda são necessárias pesquisas que utilizem plantas nativas (BERNARDINO, 2016). Entender os mecanismos envolvidos na acumulação e desintoxicação de metais potencialmente tóxicos em plantas lenhosas é fundamental para gerar metodologias de fitorremediação (KUMARI et al., 2016).

Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as principais informações relacionadas com o tema fitorremediação, utilizando o método de revisão sistemática. A metodologia utilizada foi do tipo pesquisa bibliográfica, que envolve a leitura, a análise e interpretação de livros, jornais e revistas acadêmicas, periódicos, manuscritos e sites científicos (PEREIRA et al., 2018). Por meio das bases de dados eletrônicas Scholar Google e SciELO foram reunidas informações sobre quais espécies nativas arbóreas são estudadas e avaliadas, quais poluentes podem ser imobilizados, removidos ou isolados do solo e em quais tecidos estes poluentes/contaminantes se acumulam.

As palavras-chave usadas em diversas combinações foram “Fitorremediação” “Solos contaminados no Cerrado” e “Espécies arbóreas nativas”. A pesquisa foi limitada às línguas inglesa e portuguesa, com estudos publicados nos últimos cinco anos. Foram incluídos no estudo artigos que abordassem simultaneamente os três termos anteriormente destacados. Foram excluídos os artigos indisponíveis e as referências duplicadas, além de resumos publicados em eventos, assim como aqueles de dissertações ou teses acadêmicas.

Foi realizada uma análise de títulos e resumos para obtenção de artigos potencialmente relevantes para a revisão, utilizando a base de dados do Instituto Brasileiro de Florestas para consultar as espécies que são nativas (Figura 1). Número de referências encontradas: 484, excluídos após leitura dos títulos: 447, selecionados para leitura de resumos (37), excluídos após leitura de resumos (22), selecionados para leitura na íntegra (15), leitura após leitura na íntegra (6) e o total de artigos selecionados foram 9.

Resultados e Discussões

Na pesquisa bibliográfica foram encontrados 484 artigos, sendo 106 em português utilizando as palavras chaves “Fitorremediação, Solos contaminados no Cerrado e Espécies arbóreas nativas” e 378 na língua inglesa utilizando as palavras chaves “Phytoremediation, Contaminated soils in the Cerrado and Native tree species”.

Após a leitura dos títulos 11 foram selecionados em português e 26 em inglês. Para a leitura na íntegra foram selecionados três artigos em língua portuguesa e 12 em língua inglesa. Ao todo nove artigos se enquadraram em todos os critérios e foram utilizados nessa revisão. Sousa (2018) fazendo uma revisão sobre os estudos de fitorremediação no Brasil, entre 2000 e 2016, identificou que o maior número de espécies utilizadas nas pesquisas pertencia ao bioma Cerrado, com 35 ocorrências, seguido pela Mata Atlântica, onde foram relatadas 24 ocorrências.

Na tabela 1 são listados os estudos enquadrados na pesquisa, destacando-se seus autores, ano, espécie utilizada e contaminante, assim como seus principais resultados. Dentre os nove estudos dos últimos cinco anos, a espécie mais utilizada foi *Cedrela fissilis* Vell., aparecendo em três artigos. Em seguida aparecem espécies dos gêneros *Inga* Mill. e *Handroanthus* Mattos, que já foram pesquisadas mais de uma vez.

Entre os metais potencialmente tóxicos, o que apareceu com mais frequência nos artigos utilizados para este estudo foi o Zinco (Zn). Este elemento é um micronutriente, mas em grandes quantidades gera problemas ambientais, tais como a contaminação do solo, causando fitotoxicidade às plantas (BENEDET, 2014). Ainda, nesta pesquisa, foram relatados dois estudos que tratam da fitorremediação em solos contaminados pelos herbicidas atrazina e 2,4D. No Brasil, no período de 2000 a 2016, foi observada uma tendência de maiores quantidades de estudos com remediação sustentável de uma forma geral, enquanto o número de artigos com fitorremediação teve decréscimo (SOUSA, 2018).

Sousa (2018) ainda ressalta que os trabalhos envolvendo plantas fitorremediadoras foram publicados em maior quantidade em revistas na área de Ciências Agrárias, evidenciando uma maior preocupação em solucionar problemas relacionados à contaminação por compostos orgânicos que inorgânicos, ou ainda, que existem, de fato, maiores problemas reais com poluentes orgânicos nos setores agrícolas.

Sousa (2018) observa também que os periódicos com escopo em fisiologia vegetal e ciência do solo são os que mais publicaram sobre o tema, apesar da fitorremediação ser uma área de interesse, também, da ecologia, engenharia ambiental e química ambiental. Nesse trabalho, pode-se notar que, atualmente, essa tendência vem mudando, uma vez que, dos nove trabalhos analisados, dois foram publicados no

International Journal of Phytoremediation, dois na revista Environmental and Experimental Botany, dois no periódico Ecotoxicology and Environmental Safety, um na Revista Árvore, um na Chemosphere e um no Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, sendo dois periódicos científicos brasileiros e quatro internacionais.

Silva (2016) afirma que trabalhos com fitorremediação devem ser multidisciplinares, pois necessitam do conhecimento de diversas áreas como Microbiologia, Engenharia, Ecologia, Geologia e Química e, desta forma, estão sendo cada vez mais buscados, estudados e executados por grande número de autores. Esta técnica explora vários campos de conhecimento e torna-se amplamente simples e acessível para se contextualizar com essas áreas.

Tabela 1. Autores que publicaram artigos utilizando espécies nativas do Cerrado brasileiro e sua utilização na fitorremediação, 2015-2020

Autor/ano	Espécie	Contaminante	Potencial fitorremediador
De Araújo et al., 2016	Inga marginata Schizolobium parahyba Cedrela fissilis	Herbicidas- atrazina e 2,4-D	I. marginata apresentou maior tolerância aos herbicidas, apresentando maior matéria seca das raízes. S. parahyba e C. fissilis foram as espécies mais sensíveis à aplicação de herbicidas.
Meyer et al., 2016	Cedrela fissilis	Metais- Cd, Cu, Pb e Zn	C. fissilis se apresentou como um acumulador de Zn, com capacidade de controlar a absorção de Zn como mecanismo de defesa, mesmo em condições de alto estresse, com o melhor comportamento para fitorremediação e alta tolerância à contaminação
Gai et al., 2017	Handroanthus impetiginosus Tabebuia roseoalba	metal- Zn	As plantas de H. impetiginosus acumularam maiores quantidades de Zn nas raízes, sem apresentar danos graves nas partes aéreas. Já as plantas de T. roseoalba mobilizaram Zn para as partes aéreas e apresentaram menor acúmulo nas raízes, com grandes efeitos nas folhas. Os resultados evidenciam o potencial dessas espécies como candidatas à

			biorremediação em áreas de Cerrado poluídas por Zn.
Gomes et al., 2018	<i>Albizia polycephala</i> <i>Pterogyne nitens</i>	metal- Zn	Os aumentos de temperatura não restringem a capacidade de <i>A. polycephala</i> e <i>P. nitens</i> de recuperar Zn nas raízes e folhas e, portanto, essas espécies devem continuar sendo utilizadas em programas de fitorremediação de Zn.
Asensio et al., 2019	<i>Myracrodruon urundeuva</i> <i>Cedrela fissilis</i>	metal- Cu	Ambas as espécies têm potencial para atuar como fitoextratores e fitostabilizadores de Cu em solos poluídos, pois acumularam mais de 300mgkg ⁻¹ desse metal em brotações, concentrações ainda maiores nas raízes e sobreviveram e cresceram.
De Araújo et al., 2019	<i>Cedrela fissilis</i> <i>Handroanthus serratifolius</i> <i>Inga marginata</i>	Herbicidas- atrazina e 2,4-D	<i>C. fissilis</i> , e <i>H. serratifolius</i> não são recomendadas para recomposição de áreas ribeirinhas próximas a campos agrícolas, onde são aplicadas atrazina e 2,4-D. <i>I. marginata</i> foi tolerante à atrazina e reduziu a concentração desse herbicida no solo. Bactérias específicas presentes na rizosfera de <i>I. marginata</i> podem ajudar na degradação da atrazina.
Freitas et al., 2019	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	metal- Zn	O Zn não afetou o desenvolvimento inicial das mudas de <i>M. urundeuva</i> , sendo que essas acumularam maiores teores do contaminante nas raízes, em detrimento da parte aérea. Portanto, essa espécie apresenta grande potencial para ser usada nos processos de recuperação ambiental de áreas contaminadas com altas concentrações de Zn.
Aguiar et al., 2020	<i>Eremanthus crotonoides</i> <i>Inga striata</i>	Herbicidas- atrazina e clomazona	<i>I. striata</i> apresentou menor condutância estomática e transpiração em solo contaminado com clomazona. <i>E. crotonoides</i> e <i>I. striata</i> reduziram os resíduos desses herbicidas. A atrazina e a clomazona reduziram as variáveis fisiológicas de <i>E. crotonoides</i> e <i>I. striata</i> . Essas plantas

			podem ser usadas para recuperar áreas com resíduos desses herbicidas, atuando como filtros que diminuirão a quantidade de herbicidas que atingiriam os cursos de água. E. crotonoides e I. striata são eficientes para o processo de remediação.
Araujo et al., 2020	Astronium graveolens	metal- Pb	O Pb não interferiu na capacidade de sobrevivência da espécie. A análise do teor de Pb nos tecidos das plantas mostrou uma grande quantidade de metal na parte aérea dos tratamentos com maior disponibilidade de Pb no solo, sendo possível caracterizar A. graveolens como um fitoextrator, pois foi capaz de transportar o metal pesado além do sistema radicular e para os tecidos fotossintéticos. A. graveolens apresentou maior crescimento secundário no tratamento com maior nível de Pb, caracterizando a espécie como um potencial fitorremediador.

Fonte: Autores, 2022

Considerações Finais

Mesmo existindo trabalhos que envolvam fitorremediação no Brasil, os mesmos ainda são escassos e em sua maioria envolvem herbicidas e metais tais como o zinco e o cobre, restringindo--se à ação das plantas fitorremediadoras. Considerando a biodiversidade vegetal existente no Cerrado podemos considerar que, possivelmente, algumas espécies ainda não estudadas também possam potencial fitorremediador para contaminantes. Nesta questão, o cedro e o ipê ainda são as plantas mais estudadas na nossa literatura.

Maior número de estudos sobre fitorremediação são necessários, incluindo espécies nativas e um número maior de contaminantes, para levantamento de espécies com esse potencial, assim como para diagnosticar contaminantes que podem ser retirados ou imobilizados no solo.

Referências

ACKOVA, Darinka Gjorgieva. Heavy metals and their general toxicity on plants. **Plant Science Today**, [S./l.], v.5, n.1, p.14-18, 2018.

AGNELLO Ana Carolina., BAGARD M., VAN HULLEBUSCH, E. D., ESPOSITO, G., HUGUENOT, D. Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. **Science of The Total Environment**, [S./l.], v.563, n.1, p.693-703, 2016.

AGUIAR, Luciana Monteiro., DOS SANTOS, José Barbosa, BARROSO, Gabriela Madureira, FERREIRA, Evando Alves, CABRAL, Cássia Michelle, COSTA, Márcia Regina, VIEIRA, Estela Rosana Durões, ZANUNCIO, José Cola. Phytoremediation by *Eremanthus crotonoides* and *Inga striata* decay atrazine and clomazone residues in the soil. **International Journal of Phytoremediation**, [S./l.], v.22, n.8, p.827-833, 2020.

AHMAD, Mahtab et al. Lead and copper immobilization in a shooting range soil using soybean stover-andpine needle-derived biochars: Chemical, microbial and spectroscopic assessments. **Journal of Hazardous Materials**, [S./l.], v. 301, n.1, p.179–186, 2011.

ALI, Hazrat; KHAN, Ezzat; SAJAD, Muhammad Anwar.. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. **Chemosphere**, v.91, n.7, p.869–881, 2013.

ALLOWAY, Brian J. **Heavy Metals in Soils**. (Vol. 22). Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. 612p.

ANDRADE, Julio Cesar da Matta; DE LUCENA TAVARES, Silvio Roberto; MAHLER, Cláudio Fernando. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 176 p.

APPENROTH, Klaus-J. The definition of heavy metals and their role in biological systems, Chap 2, In: Varma A, Sherameti I (eds) **Soil heavy metals**, vol 19, Soil biology Springer, **Berlin**, 2010. p 19–29.

ARAUJO, Maycon A., LEITE, Marilaine C., CAMARGOS, Liliane S., MARTINS, Aline R. Tolerance evaluation and morphophysiological responses of *Astronium graveolens*, a native Brazilian Cerrado, to addition of lead in soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S./l.], v.195, n.110524, p.1-9, 2020.

ASENSIO, Verónica, FLÓRIDO, Flávia Garcia, RUIZ, Francisco, PERLATTI, Fabio, OTERO, Peres XL., OLIVEIRA, Daniel P., FERREIRA, Tiago Osório. The potential of a Technosol and tropical native trees for reclamation of copper-polluted soils. **Chemosphere**, [S./l.], v. 220, n.1, p.892-899, 2019.

BENEDET, Lucas. **Biodisponibilidade de Cobre e Zinco e Alterações Bioquímicas e Fisiológicas em Plantas de Milho (*Zea mays* L.) em Solo Adubado com Dejetos suínos**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado Agroecossistemas) - Programa de Pós-

graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BERNARDINO, Cassiano AR; MAHLER, Claudio; PREUSSLER, Karla; NOVO, Luis. State of the Art of Phytoremediation in Brazil - Review and Perspectives. **Water, Air & Soil Pollution**, [S./l.], v.227, n.8, p. 272, 2016.

BRASIL-MMA, 2020a - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O Bioma Cerrado**. 2022. Disponível em:<<https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

BRASIL-MMA, 2020b - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Recuperação de Áreas Degradadas**. 2021. Disponível em <<https://www.mma.gov.br/cidadessustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>>:. Acesso em: 27 mai. 2021.

BRESSAN, A. C. G., COAN, A. I., HABERMANN, G. X-ray spectra in SEM and staining with chrome azurol S show Al deposits in leaf tissues of Al - accumulating and nonaccumulating plants from the Cerrado. **Plant Soil**, [S./l.], v.404, n.1, p. 293–306, 2016.

BRUNNER, Ivano, LUSTER, Joger, GÜNTHARDT-GOERG, Madeleine, FREY, Bata. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. **Environmental Pollution**, [S./l.], v.152, n.3, p.559-568, 2008.

CAIRES, Sandro Marcelo D., FONTES, Maurício Paulo Ferreira., FERNANDES, Raphael Bragança Alves, NEVES, Júlio César Lima., FONTES, Renildes Lúcio Ferreira. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, [S./l.], v.35, n.6, p.1181-1188, 2001.

CAMBROLLÉ, J., GARCÍA, J. L., FIGUEROA, M. E., CANTOS, M. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. **Chemosphere**, [S./l.], v.120, n.1, p.171-178, 2015.

CANTONI, Fernanda; da SILVA, Andrei de Souza.; LOPES, Mayara Alves.; LAVNITCKI, Laís. Fitorremediação e biochar: uma alternativa para recuperação de áreas pós-mineração. **TERRA: Habitats Urbanos e Rurais**, [S./l.], v.1, n.1, p.237, 2019.

DA SILVA, Maria A., BÜLL, Leonardo T., MIGGIOLARO, Alessandra E., ANTONANGELO, João A., MUNIZ, Antonio. S. Fitodisponibilidade de metais utilizando ácidos orgânicos após sucessiva aplicação de resíduos no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S./l.], v.1, n.1, p.1287-1295, 2014.

DE ARAÚJO FIORE, Rebeca, DOS SANTOS, José Barbosa, FERREIRA, Evander Alaves, CABRAL, Cássia Michele, PEREIRA, Israel Marinho. Growth and nutritional analysis of tree species in contaminated substrate by leachable herbicides. **Revista Árvore**, [S./l.], v.40, n.4, p.585-594, 2016.

DE ARAÚJO FIORE, Rebeca, DOS SANTOS, José Barbosa, FERREIRA, Evander Alaves, CABRAL, Cássia Michele, LAIA, Marcelo., SILVA, Daniel Valadão, DE FREITAS SOUZA, Matheus. Selection of arboreal species to compose and remedy riparian forests next to agricultural areas. **Ecological Engineering**, [S./l.], v. 131, n.1, p.9-15, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Solos do Cerrado. 2020. Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_14_911200585231.html>. Acesso em: 08 abr. 2020.

ESTRELA, M. A., CHAVES, L. H. G., SILVA, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, [S./l.], v.31, n.1, p.160-172, 2018.

FERNANDES, Paula Arruda; PESSÔA, Vera Lucia Salazar. O Cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, [S./l.], v.3, n.7, p.19-37, 2011.

FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

FREITAS, Daniela Aparecida, ALVARENGA, Anarely Costa, DURÃES, Alisson Farley Soares. Potencial de fitorremediação da espécie arbórea Myracrodouon urundeuva em solos contaminados por zinco/Phytoremediation potential of the tree species Myracrodouon urundeuva in zinc contaminated soils. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S./l.], v. 2, n. 5, p.1768-1775, 2019.

GAIA. Ana Paula Camargo, DOS SANTOS, Daniela Soares, VIEIRA, Evandro Alves. Effects of zinc excess on antioxidant metabolism, mineral content and initial growth of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos and *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. **Environmental and Experimental Botany**, [S./l.], v.144, n.1, p.88-99, 2017.

GOMES, Marcelo Pedrosa, DE BRITO, Júlio César Moreira, SILVA, Janaina Guarnica, DA SILVA CRUZ, Fernanda Vieira, BICALHO, Eliza Monteze, HERKEN, Daniela Moreira Duarte, GARCIA, Queila Souza. Temperature effects on Zn responses and Zn-reclamation capacity of two native Brazilian plant species: Implications of climate change. **Environmental and Experimental Botany**, [S./l.], v.155, n.1, p.589-599, 2018.

HAIGH, M. Building a ‘Cradle for Nature’: a paradigm for environmental reconstruction. In: PRASAD, M.N.V., DE CAMPOS, P.J., MAITI, S.K. (Ed.), **BioGeotechnologies for Mine Site Rehabilitation**. Elsevier, Amsterdam, 2018. p. 593–616.

IHSANULLAH, A. A., AL-AMER, A. M., LAOUI, T., AL-MARRI, M. J., NASSER, M. S. ATIEH, M. A. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon

nanotubes: Critical review of adsorption applications. **Separation and Purification Technology**, [S./l.], v.157, n.1, p.141–161, 2016.

KHAN, Anwarzeb, KHAN, Sardar, KHAN, Mohamed Amjad, QAMAR, Zahir, WAQAS, Muhammad. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, [S./l.], v.22, n.18, p.13772–13799, 2015.

KUMARI, M. Keerthi. D. Varaprasad, NARASIMHAM, D., PARAMESH, K., CHANDRASEKHAR, T. Impacts of cadmium and manganese on in vitro seed germination and seedling growth of horse gram. **Indian Journal of Plant Sciences**, [S./l.], v.5, n.1, p.2319–3824, 2016.

LAMEGO, Fabiane Pinto, VIDAL, Ribas Antonio. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição?. **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, [S./l.], v.17, n.1, p.9-18, 2007.

LINDBLOM, Stormy Dawn, ABDEL-GHANY, Salah, HANSON, Brady R., HWANG, Seongbin, TERRY, Norman, PILON-SMITS, Elizabeth A Constitutive expression of a high-affinity sulfate transporter in Indian mustard affects metal tolerance and accumulation. **Journal of Environmental Quality**, [S./l.], v.35, n.3, p.726-733, 2006.

LIU, Lianwen, LI, Wei , SONG, Weiping, GUO, Mingxin Remediation techniques for heavy metal contaminated soils: principles and applicability. **Science of the Total Environment**, [S./l.], v.633, p.206-219, 2018.

LOPES, Alfredo Sheid. **Solos sob "cerrado"**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.

LOPES, Pedro Ferraz Ramos. **Efeito da exposição de Solanum nigrum L. a concentrações elevadas de níquel e crômio e participação das metalotioninas na homeostasia destes metais**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Molecular de Plantas), Universidade do Minho, Praga/Portugal, 2010.

LOTFY, Siad M., MOSTAFA, Zharan. Phytoremediation of contaminated soil with cobalto and chromium. **Journal of Geochemical Exploration**, [S./l.], v.144, n.1, p.367-373, 2014.

MARQUES, Marques, AGUIAR, Christiane Rosas Chafim, SILVA, Jonatas José Luiz Soares. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S./l.], v.35, n.1, p.1-11, 2011.

MEYER, Sylvia Therese, CASTRO, Samuel Rodrigues, FERNANDES, Marcus Manoel, SOARES, Ayalton Carlos, DE SOUZA FREITAS, Guilherme Augusto, RIBEIRO, Edvan. Heavy-metal-contaminated industrial soil: Uptake assessment in native plant species from Brazilian Cerrado. **International journal of phytoremediation**, [S./l.], v.18, n.8, p.832-838, 2016.

MINET, Eddy P., GOODHUE, Robbie, MEIER-AUGENSTEIN, Wolfram., KALIN, Robert M., FENTON, O., RICHARDS, Karl G., COXON, Catherine. E. Combining stable isotopes with contamination indicators: A method for improved investigation of nitrate sources and dynamics in aquifers with mixed nitrogen inputs. **Water Resource**, [S./l.], v.124, n.1, p.85–96, 2017.

MIRANDA, Héryka Lima Martins. **Elementos-traço em solos agrícolas de Rio Verde, Goiás**. 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) — Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2016.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [S./l.], v.8, n.1, p.199-216, 2010.

NASCIMENTO, Diogo Costa. **Elementos-traço em solos de veredas do Triângulo Mineiro, região de Uberlândia, MG**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PANDEY, Bhawna, SUTHAR, Surindra, SINGH, Vineet. Accumulation and health risk of heavy metals in sugarcane irrigated with industrial effluent in some rural areas of Uttarakhand, India. **Process Safety and Environment Protection**, v.102, n.1, p.655–666, 2016.

PAZ-FERREIRO, J., LU, H., FU, S., MÉNDEZ, A., GASCÓ, G. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. **Solid Earth, Göttingen**, [S./l.], v. 5, n. 1, p. 65-75, 2014.

PEREIRA, A. S., SHITSUKA, D. M., PARREIRA, F. J., SHITSUKA, R. Metodologia da pesquisa científica. Santa Maria: UAB/NTE/UFMS, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisaCientifica.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 jan. 2021.

PEUKE, Andreas D., RENNENBERG, Heinz. Phytoremediation. **EMBO Journal**, [S./l.], v.6, n.1, p.497–501 2005.

PIMENTEL, Vitor Paiva, VIEIRA, Vitor André Monteiro, MITIDIARI, Thiago Leone, OLIVEIRA, Felipe França Santos, PIERONI, João Paulo. Biodiversidade brasileira como fonte da inovação farmacêutica: uma nova esperança?. **Revista do BNDES**, [S./l.], v.43, n.1, p.41-89, 2015.

PIVETZ, Bruce E. **Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites**. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Solid Waste and Emergency Response, 2001.p.1–36.

PROCÓPIO, S. D. O., PIRES, F. R., SANTOS, J. B., SILVA, A. A Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas. Aracaju: Embrapa, 2009b. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/doc_156.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2023.

- RIBEIRO, José Felipe, WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. EMBRAPA/CPAC, Planaltina, 1998. p.89-166.
- SANTOS, Douglas da Silva. **Metais pesados em áreas agrícolas e Cerrado nativo no Oeste da Bahia**. 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- SANTOS, Eduardo Vieira dos. **Dinâmica e classificação fitogeomorfológica de veredas em diferentes bacias hidrográficas no cerrado**. 2020. 378 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2020.
- SARMA, Hemen. Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology. **Journal of Environmental Science and Technology**, [S./l.], v.4, n.2, p.118-138, 2011.
- SILVA, Rodrigo Ferreira da. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrizicos ao cobre**. 2007.134 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 2007.
- SILVA, T.J., HANSTED, F., TONELLO, Paulo .S, GOVEIA, D. Phytoremediation of soils contaminated with metals: current outlook and prospects of use of forest species. **Revista Virtual de Química**, [S./l.], v.11, n.1, p.18-34, 2019.
- SOUSA, Ísis Danielle. **Fitorremediação: contribuição científica brasileira no contexto nacional e internacional**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, Goiás, 2018.
- TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TU, Cong, MA, Lena Q. Effects of arsenic concentrations and forms on arsenic uptake by the hyperaccumulator ladder brake. **Journal Environmental Quality**, [S./l.], v.31, n.1, p.641-647, 2002.
- ZHAO, J. Z.; FAN, W.; VERSTRAETE, M. J.; ZANOLLI, Z.; FAN, J.; YANG, X. B.; TONG, S. Y. Quasi-One-Dimensional Metal-Insulator Transitions in Compound Semiconductor Surfaces. **Physical Review Letters**, [S./l.], v.118, n.23, 2016.
- WEI, Shuhe; ZHOU, Qixing; WANG, Xi; ZHANG, Kaisong; GUO, Guanlin; MA, Lena Qiyang. A newly-discovered Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. **Chinese Science Bulletin, Beijing**, [S./l.], v.50, n.1, p.33-38, 2005.
- XIE, Qing En; YAN, Xiu Lan; LIAO, Xiao-Yong; LI, Xia. The arsenic hyperaccumulator Fern *Pteris vittata* L. **Environmental Science & Technology**, [S./l.], v.43, n.22, p.8488-8495, 2009.

Autores

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França – É Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e Mestre em Biotecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Atualmente é Doutoranda pelo Programa Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Endereço: Rod. Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP 79804-970, Dourados, MS.

Elka Élice Vasco de Miranda – É Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Doutora em Edafologia pela Universidad de La Corua e Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Atualmente é Professora de Ensino Superior da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UESMS).

Endereço: Rod. Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP 79.804-970, Dourados, MS.

Guilherme Willkomm Paim – É Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente é Agente Comunitário na Prefeitura de Fátima do Sul/MS.

Endereço: Rua Ipiranga, 800, Jardim Hidalgo, CEP 79.700-000, Fátima do Sul, MS.

Artigo recebido em: 27 de novembro de 2022.

Artigo aceito em: 14 de maio de 2023.

Artigo publicado em: 30 de junho de 2023.