

Área: Sustentabilidade | Tema: Produção Sustentável

**AUMENTO NA EFICIÊNCIA DA TÉCNICA DE FITORREMEDIAÇÃO EM ÁREAS PÓS MINERAÇÃO:
POR MEIO DA ADIÇÃO DE AMENIZANTES E ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES**

**INCREASE IN THE EFFICIENCY OF PHYTEMEDICATION TECHNIQUE IN POST-MINING AREAS:
THROUGH THE ADDITION OF AMENIZANTS AND ASSOCIATION OF ARBUSCULAR MYCORRHY
FUNGI**

Fernanda Cantoni, Jéssica Stefanello Cadore, Mayara Alves Lopes, Juliana De Gregori Da Rocha, Fabiane

Toniazzo e Andrei De Souza Da Silva

RESUMO

Tem-se observado a necessidade de remediar áreas pós mineração, devido ao risco de contaminação do solo e/ou recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Os solos destas áreas geralmente são mais ácidos, fazendo com que os metais pesados presentes nestes se encontrem em níveis tóxicos, prejudicando o estabelecimento de vegetação. Sendo assim, a fitorremediação surge como alternativa para recuperar estes locais, e quando em conjunto utiliza-se amenizantes de origem orgânica ou inorgânica e organismos do solo associados as suas raízes, observa-se um aumento na sua eficiência. Deste modo, o objetivo deste trabalho concentra-se em avaliar a literatura pertinente ao potencial de utilização da técnica de fitorremediação associada a fungos micorrízicos arbusculares e amenizantes para remediar áreas pós mineração. Fazendo um levantamento bibliográfico sobre áreas de mineração, fitorremediação, amenizantes e fungos micorrízicos arbusculares. A fitorremediação é uma técnica viável para ser utilizada nestas áreas, e sua eficiência pode ser aumentada com o uso de amenizantes e fungos micorrízicos arbusculares, no entanto, torna-se necessário realizar mais estudos sobre a interação entre organismos do solo, amenizantes e plantas cultivadas em solos de áreas pós mineração.

Palavras-Chave: contaminação, fitoestabilização, fitoextração, adubos orgânicos e inorgânicos, organismos do solo.

ABSTRACT

The need to remedy post-mining areas has been observed, due to the risk of contamination of the soil and / or surface and underground water resources. The soils of these areas are generally more acidic, causing the heavy metals present in them to be at toxic levels, damaging the establishment of vegetation. Thus, phytoremediation appears as an alternative to recover these sites, and when combined with the use of organic or inorganic softeners and soil organisms associated with their roots, an increase in their efficiency is observed. Thus, the objective of this work is to evaluate the relevant literature on the potential use of the phytoremediation technique associated with arbuscular mycorrhizal fungi and to improve post-mining areas. Making a bibliographical survey on areas of mining, phytoremediation, entangling and arbuscular mycorrhizal fungi. Phytoremediation is a feasible technique to be used in these areas, and its efficiency can be increased with the use of arbuscular mycorrhizal fungi and amigrants, however, it is necessary to carry out further studies on the interaction between organisms of the soil, softeners and cultivated plants in soils from post mining areas.

Keywords: contamination, phytostabilization, phytoextraction, organic and inorganic fertilizers, soil organisms.

Eixo temático: Sustentabilidade

**AUMENTO NA EFICIÊNCIA DA TÉCNICA DE FITORREMEDIAÇÃO EM ÁREAS
PÓS MINERAÇÃO: POR MEIO DA ADIÇÃO DE AMENIZANTES E ASSOCIAÇÃO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES**

**INCREASE IN THE EFFICIENCY OF PHYTEMEDICATION TECHNIQUE IN
POST-MINING AREAS: THROUGH THE ADDITION OF AMENIZANTS AND
ASSOCIATION OF ARBUSCULAR MYCORRY FUNGI**

RESUMO

Tem-se observado a necessidade de remediar áreas pós mineração, devido ao risco de contaminação do solo e/ou recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Os solos destas áreas geralmente são mais ácidos, fazendo com que os metais pesados presentes nestes se encontrem em níveis tóxicos, prejudicando o estabelecimento de vegetação. Sendo assim, a fitorremediação surge como alternativa para recuperar estes locais, e quando em conjunto utiliza-se amenizantes de origem orgânica ou inorgânica e organismos do solo associados as suas raízes, observa-se um aumento na sua eficiência. Deste modo, o objetivo deste trabalho concentra-se em avaliar a literatura pertinente ao potencial de utilização da técnica de fitorremediação associada a fungos micorrízicos arbusculares e amenizantes para remediar áreas pós mineração. Fazendo um levantamento bibliográfico sobre áreas de mineração, fitorremediação, amenizantes e fungos micorrízicos arbusculares. A fitorremediação é uma técnica viável para ser utilizada nestas áreas, e sua eficiência pode ser aumentada com o uso de amenizantes e fungos micorrízicos arbusculares, no entanto, torna-se necessário realizar mais estudos sobre a interação entre organismos do solo, amenizantes e plantas cultivadas em solos de áreas pós mineração.

Palavras-chave: contaminação, fitoestabilização, fitoextração, adubos orgânicos e inorgânicos, organismos do solo.

ABSTRACT

The need to remedy post-mining areas has been observed, due to the risk of contamination of the soil and / or surface and underground water resources. The soils of these areas are generally more acidic, causing the heavy metals present in them to be at toxic levels, damaging the establishment of vegetation. Thus, phytoremediation appears as an alternative to recover these sites, and when combined with the use of organic or inorganic softeners and soil organisms associated with their roots, an increase in their efficiency is observed. Thus, the objective of this work is to evaluate the relevant literature on the potential use of the phytoremediation technique associated with arbuscular mycorrhizal fungi and to improve post-mining areas. Making a bibliographical survey on areas of mining, phytoremediation, entangling and arbuscular mycorrhizal fungi. Phytoremediation is a feasible technique to be used in these areas, and its efficiency can be increased with the use of arbuscular mycorrhizal fungi and amigrants, however, it is necessary to carry out further studies on the interaction between organisms of the soil, softeners and cultivated plants in soils from post mining areas.

Keywords: contamination, phytostabilization, phytoextraction, organic and inorganic fertilizers, soil organisms.

1 INTRODUÇÃO

Atividades como mineração, indústria metalúrgica, indústria química e a agricultura são algumas das grandes responsáveis pela contaminação por metais pesados dos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e do solo, causando distúrbios na biosfera (BHAGARVA et al., 2012).

Áreas pós mineração apresentam uma série de distúrbios, como a contaminação do solo e/ou recursos hídricos superficiais e subterrâneos por metais pesados, podendo apresentar riscos ambientais e a saúde humana (LEBRUN et al., 2017). A acidificação do solo destas áreas também é vista, que por sua vez eleva a concentração dos metais pesados a níveis tóxicos, fazendo com que a vegetação destes locais sejam prejudicadas quanto ao seu crescimento e desenvolvimento.

A recuperação destes locais se torna necessário sendo prevista por lei. Afim de mitigar os efeitos negativos ao meio ambiente e danos à saúde (FELLET; MARMIROLI; MARCHIOL, 2014). As técnicas físicas e químicas para remediar os solos contaminados são utilizadas há muito tempo, porém esses métodos convencionais são caros, difíceis de implementar e muitas vezes podem ser prejudiciais ao solo (ALI; KHAN; SAJAD, 2013). Sendo assim, a fitorremediação surge como uma boa técnica para recuperação destes locais, a mesma consiste na utilização de plantas em associação conjunta ou não aos microrganismos da rizosfera, para sequestrar, degradar ou imobilizar contaminantes do solo, promovendo assim a sua descontaminação (PILON-SMITS, 2005; SOUZA et al., 2011; SHARMA; PANDEY, 2014).

No entanto, como o pH dos solos de áreas pós-mineração são frequentemente ácidos, e pobres de nutrientes disponíveis, torna-se necessário a utilização de emendas orgânicas e/ou inorgânicas, para uma maior eficiência da técnica de fitorremediação (PARK et al., 2011), pois a adição destas ocasionam aumento no pH destes locais, diminuindo assim o efeito tóxico dos metais as plantas (BROWN et al., 1996), bem como, proporcionando seu estabelecimento nestas áreas.

O estado nutricional das plantas pode ser melhorado por meio da adubação ou através da inoculação de microrganismos que formam interação com as raízes das plantas, assim, aumentando a eficiência da mesma na fitorremediação (FERREIRA et al., 2016). Deste modo, os fungos micorrízicos arbusculares apresentam capacidade de aumentar a resistência das plantas aos altos níveis de metais no solo favorecendo o crescimento da planta e em alguns casos aumentando o teor de metais no tecido (FERREIRA et al., 2015).

Este trabalho foi desenvolvido objetivando avaliar a literatura pertinente ao potencial de utilização da técnica de fitorremediação associada a fungos micorrízicos arbusculares e amenizantes para remediar áreas pós mineração.

2 METODOLOGIA

Para a construção desta pesquisa foi realizado uma revisão bibliográfica afim de compreender os principais aspectos sobre fitorremediação. A pesquisa foi de caráter descritivo do tipo qualitativa, com o intuito de realizar um levantamento de literatura de qualidade e gerar discussões pertinentes sobre o tema.

Foi realizado pesquisas na literatura, através da análise em livros dentro das áreas em estudo, e em documentos, tais como: teses, dissertações e artigos em revistas encontrados em sites de buscas em pesquisas como o google acadêmico. E também foi coletado material no site portal de periódicos da CAPES, visando uma maior qualidade do conteúdo apresentado,

buscando artigos publicados em revistas com qualis de qualidade. Além disto, também foram realizadas consultas nas diferentes legislações e decretos citados.

Foi utilizado o levantamento bibliográfico como a principal forma para se obter informações sobre o tema em estudo, tendo preferência por trabalhos publicados como artigos de revistas, bem como trabalhos que forneçam informações precisas e completas sobre o tema, excluindo-se trabalhos que não estejam dentro destes critérios, para assim fornecer informações para o mundo acadêmico e sociedade no geral.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ÁREAS DE MINERAÇÃO

Com a expansão da globalização e aumento do consumo de metais, desde o final dos anos 1990, teve-se um aumento da mineração na América Latina, crescendo em um ritmo acelerado, tanto em volume extraído quanto em abertura de novas minas (FERNANDES; ARAUJO 2016).

Algumas atividades econômicas humanas alteram o meio ambiente, sendo a agricultura e mineração duas atividades econômicas básicas da economia mundial. Ambas causam grandes impactos ambientais, podendo vir a poluir o solo, águas superficiais e subterrâneas. Áreas destinadas a mineração causam impactos consideráveis, alterando significativamente a área mineradas e áreas próximas as quais são destinados os rejeitos (SILVA, 2007).

Atividades de mineração são fontes de poluentes ambientais, e alguns trabalhos já foram realizados nestas áreas com o intuito de investigar a contaminação destes locais, os quais constataram a contaminação dos locais destinados a este tipo de atividade (CHOPIN; ALLOWAY, 2007 ; HUANG et al., 2010 ; OBIORA et al., 2016).

No entanto a Constituição Federal menciona em seu artigo 225 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Em no seu § 2º estabelece que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”. Deste modo, é previsto por lei a recuperação destas áreas, e técnicas como fitorremediação e uso de amenizantes para amenizar a toxidez do pH destas áreas podem ser usadas, para a recuperação das mesmas.

3.2 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação consiste da utilização de plantas em associação conjunta ou não aos microrganismos da rizosfera, para sequestrar, degradar ou imobilizar contaminantes do solo, promovendo assim a sua descontaminação (PILON-SMITS, 2005; SOUZA et al., 2011). Ainda sob o termo fitorremediação, diferentes técnicas estão incluídas, as quais possuem objetivos específicos e dentre essas técnicas é de interesse deste projeto a fitoextração e a fitoestabilização.

A fitoextração é uma técnica que se baseia no uso de plantas que removem metais do solo através da absorção pelas raízes, transporte e concentração na parte aérea. Porém para que se obtenha sucesso é necessário que o solo não apresente altos níveis de contaminação e que a planta usada seja tolerante ao metal em que se quer remover, e ainda apresente um sistema radicular abundante, possua uma taxa de crescimento rápido, tenha potencial de produzir

elevada quantidade de biomassa e por fim que acumule grandes quantidades de metal na parte aérea (MARQUES et al., 2009).

A fitoestabilização consiste na imobilização do contaminante no solo ou no sistema radicular. As raízes das plantas evitam a migração do contaminante, bem como sua dispersão no solo, as plantas ideais para aplicação desta técnica devem ser tolerantes as condições do solo, crescer rapidamente, possuir o seu sistema radicular bem desenvolvido, absorver grandes quantidades do metal e baixa translocação da raiz para a parte aérea, serem fáceis de estabelecer e manter em condições de campo, e possuírem ciclos de vida longos ou serem capazes de autopropagar (MORENO; SÍGOLO, 2007; BERTI; CUNNINGHAM, 2000, SANTIBÁÑEZ; VERDUGO; GINOCCHIO, 2008).

3.3 AMENIZANTES

Quando compostos orgânicos são aplicados em solos contaminados com metais pesados pode ocorrer diferentes processos como imobilização, disponibilização ou modificação na especiação do metal (PARK et al., 2011). As reações de adsorção, com elevação do pH, fazem com que ocorra a imobilização, que se dá devido ao aumento das cargas de e a presença de compostos de ligação aos metais. Por outro lado, a adição de compostos orgânicos com baixo peso molecular podem facilitar a migração do metal para a solução do solo, favorecendo sua absorção pelas plantas. Sendo assim a adição de compostos orgânicos é capaz de modificar a eficiência da fitorremediação de metais pesados (PARK et al., 2011).

Diferente da maioria dos contaminantes orgânicos, os metais pesados não são passíveis de sofrer dissipação, desta forma é necessário utilizar-se medidas que reduzam a fitotoxidez. Logo, a adição de amenizantes de origem orgânica ou inorgânica é uma boa estratégia, pois é capaz de atuar na conversão das formas lábeis e trocáveis de metais pesados em formas mais estáveis, causando redução na sua biodisponibilidade e toxicidade que esses elementos podem causar as plantas. Contudo, a disponibilidade desses contaminantes pode ser dada pela reação direta de superfície, pelo efeito do pH ou por processos de estabilização como a precipitação, humificação e transformações redox (KABATA-PENDIAS, 2010).

Se a correção do pH do solo for corrigida, realizando-se a calagem, a disponibilidade de Cu as plantas pode ser limitada, pois elevando o pH diminui a disponibilidade de Cu na solução do solo, por formar complexos de esfera interna com óxidos de Fe e Al (MEIER et al., 2012). Sendo assim, os amenizantes podem ser usados para aumentar o pH.

Segundo Baker; White; Pierzynski (2011) as propriedades do solo podem ser melhoradas quando se tem adição de material orgânico, contribuindo para o crescimento das plantas e imobilização de metais pesados. Em trabalho realizado por TEJADA et al. (2008) o incremento de materiais orgânicos ao solo foi uma boa estratégia para recuperação de áreas contaminadas por metais pesados.

Quando são adicionados amenizantes orgânicos em solos com altos teores de metais pesados, pode-se reduzir a disponibilidade destes elementos traços, essa adição promove o aumento das formas complexadas ou quelatadas a matéria orgânica, tendo como consequência a redução de formas trocáveis (KABATA-PENDIAS, 2010).

A adubos orgânicos são considerados bons amenizantes, pois possuem elevada quantidade de matéria orgânica, e grande capacidade de imobilizar metais do solo, fazendo com que o seu efeito tóxico no crescimento das plantas seja diminuído (BOLAN; DURAISAMY, 2003). No entanto, Li et al. (2009) utilizaram adubos orgânicos em um solo contaminado por Cu e Cd e verificaram que a concentração destes metais aumentou nos tecidos de plantas de arroz.

3.4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA FITORREMEDIAÇÃO

O estado nutricional das plantas pode ser melhorado por meio da adubação ou quando se realiza a inoculação de microrganismos associados a elas. Os mesmos participam na amenização da toxidez de metais pesados no solo, pois promovem o crescimento vegetal. Os microrganismos podem ocupar diferentes lugares da planta, podendo estar presentes próximos as raízes, ocupando a rizosfera ou habitar o interior dos órgãos vegetais (FERREIRA et al., 2016). Desta forma a associação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com a planta surgem como alternativa para aumentar a eficiência na fitorremediação.

Soares et al. (2006) relatam que os FMAs possuem um papel reconhecido na associação com espécies vegetais em áreas degradadas, incluindo aquelas contaminadas com metais pesados, onde os mesmos auxiliam na nutrição da planta e no aumento de sua tolerância a essas condições adversas. Auxiliando na sua proteção ao excesso de metais pesados. Ainda, alguns estudos indicam que o suprimento adequado de fósforo (P) faz com que se tenha também um aumento da retenção de metais pesados nas raízes das plantas que possuem essa associação, restringindo o transporte de tais elementos para a parte aérea. Pois elementos como o P que são considerados de baixa mobilidade podem ser absorvidos em maior quantidade pelas raízes da planta, melhorando seu estado nutricional, pois a mesma irá absorver mais P do que outros elementos que podem causar toxidez (ANZANELLO; SOUZA; CASAMALI, 2011).

Carneiro; Siqueira; Moreira (2001) relataram que a inoculação de FMA nas raízes das plantas pode amenizar a toxidez por Cu, pois essa associação irá possibilitar que ambos tolerem e garantam a sobrevivência em locais com altos teores de Cu.

Os FMA liberam substâncias orgânicas, como a glomalina, que pode ser um mecanismo altamente eficiente, pois a mesma realiza o sequestro de metais pesados, promovendo melhoras nas condições ambientais, podendo levar a estabilização de solos que estão com altos teores destes elementos (CORNEJO et al., 2008). Ainda os FMA podem armazenar Cu por exemplo em compartimentos celulares, tais como, esporos e vesículas, onde a taxa metabólica é reduzida, trazendo benefícios ao crescimento das plantas e aos FMAs (FERROL et al., 2009; CORNEJO et al., 2013).

Purin; Rillig (2007) mencionam que em solos contaminados com metal pesado, há um aumento na produção de glomalina, podendo ser um mecanismo de defesa para melhorar o habitat dos fungos em condições de estresse.

Johnson et al. (2010) citam que os FMAs impactam em diversos benefícios as plantas, como uma maior tolerância à seca, contribuem na absorção de nutrientes como P, Cu e Zn. Além das suas hifas ajudarem na formação de agregados e estruturação do solo, a qual a glomalina contribui, ajudando na cimentação das partículas do solo, e consequentemente aumentando a estabilidade dos agregados.

Estudos realizados com a espécie de FMA *Rhizophagus clarus* (antigo *Glomus clarum*) têm mostrado que o mesmo possui uma capacidade diferenciada na retenção de metais como Cu, Zn, Cd e Pb em tecidos dessa espécie *in vitro* (CABRAL et al., 2010), estes fungos desempenham importante papel na tolerância das plantas a diferentes contaminantes, e devido a tal desempenho se mostram eficientes na fitorremediação, visto que a maioria das plantas formam a simbiose micorrízica mesmo que estejam em condições de elevada contaminação (KLAUBERG-FILHO et al., 2005).

Cabral et al. (2010) demonstrou que o micélio de *R. clarus* possui capacidade de reter grandes quantidades de Cu quando comparado a outros metais como Zn, Cd e Pb, demonstrando que este FMA pode prevenir a exposição das plantas ao Cu. As glicoproteínas que são produzidas pelos FMA podem efetivamente reter elementos metálicos no solo

fazendo com que se reduza a disponibilidade dos contaminantes para as plantas, mostrando que as mesmas desempenham um efeito protetor sobre as plantas.

Os FMAs contribuem com a proteção da planta quando expostas a estresse que pode ser provocado por contaminantes que estão em excesso no solo, fazendo com que a fitorremediação seja mais eficiente quando possuir essa associação.

3.5 INTERAÇÃO ENTRE FUNGOS MICORRIZICOS E AMENIZANTES NA FITORREMEDIAÇÃO

Segundo Accioly e Siqueira (2000), a fitorremediação envolve o emprego de plantas, sua microbiota associada e de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agrônômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema.

A adição de vermicomposto e a inoculação com *Glomus intraradices* sob o crescimento de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em solo contaminado por lodo de esgoto onde verificaram que a presença do vermicomposto e do fungo arbuscular promoveram maior taxa fotossintética na planta, o que resultou em um maior crescimento das raízes, resultando no maior crescimento das raízes, parte aérea e produção de grãos (GARDEZI et al., 2014).

O uso de substratos adequados segundo Silva; Peixoto; Junqueira (2001) quando associado a FMAs contribui para a formação de mudas com qualidade melhor. Contudo segundo Dalanhó et al. (2016) não observaram efeito da inoculação com FMAs no crescimento das mudas de *E. uniflora*, alegando que foi provavelmente pelo fato do substrato usado conter um nível muito alto de fósforo.

Silva et al. (2008) observaram que a inoculação com FMA estimulou o crescimento das mudas de gravioleira, onde esse estímulo foi maior em solo com 10% de vermicomposto, promovendo nestas condições, a simbiose com *Acaulospora longula* multiplicado em solo promoveu a formação de mudas com maior altura, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e subterrânea e taxa de crescimento relativa. O autor menciona que uso conjunto de FMAs e adubos compostados tem efeito sinérgico positivo sobre o crescimento de gravioleiras, onde essa aplicação conjunta de FMA e adubo orgânico pode promover uma melhoria na qualidade do solo. Contudo as pesquisas envolvendo os efeitos entre a FMAs e aplicação de vermicomposto na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados ainda são muito escassas.

4 CONCLUSÃO

- A remediação de áreas de minas utilizando a técnica de fitorremediação mostra-se viável, pois além de recuperar a área é uma técnica de baixo custo e fácil implementação.
- A fitorremediação pode ser melhorada quando se tem a utilização amenizantes e fungos micorrízicos arbusculares, os quais aumentam a resistência da planta em crescer e se desenvolver nestas áreas muitas vezes contaminadas com metais pesados, e com pH frequentemente ácidos, favorecendo assim a descontaminação e recuperação destas.

- Ainda, necessita-se que mais estudos sejam realizados em áreas pós mineração, quanto a interação dos organismos do solo com as plantas utilizadas para recuperação destas áreas, e o melhor amenizante que deve ser utilizado para diminuir a toxidez dada pelo pH frequentemente ácido destes solos.

AGRADECIMENTOS

FAPESC e CAPES pela concessão das bolsas

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. p. 299-352

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ANZANELLO, R.; SOUZA, P. V. D. de; CASAMALI, B. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em portaenxertos micropropagados de videira. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 409-415, 2011.

BAKER, L.R., WHITE, P.M., PIERZYNSKI, G.M. Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. **Applied Soil Ecology**, v. 48, p. 1–10, 2011.

BERTI, W.R.; CUNNIGHAM, S.D. Phytostabilization of metals. In: RASKIN, I. & ENSLEY, B. D. (eds.). *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York: Wiley, p.71-88, 2000.

BHARGAVA, A., et al. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *J. Environ. Manage.* 105, 103–120. 2012

BOLAN, N.S.; DURAISAMY, V.P. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilization and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 533-555, 2003.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. 7 ed.1988. São Paulo: Saraiva, 2009.

BROWN, S. L. et al. Relative uptake of cadmium by garden vegetables and fruits grown on long-term biosolid-amended soils. **Environmental Science & Technology**, v. 30, n. 12, p. 3508-3511, 1996.

CABRAL, L., et al. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. **Química Nova**. v. 33, 25-29, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1443-1452, Dec. 2001

CHOPIN, E. I. B.; ALLOWAY, B. J. Distribution and mobility of trace elements in soils and vegetation around the mining and smelting areas of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 182, n. 1-4, p. 245-261, 2007.

CORNEJO, P., et al. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. **Science of the Total Environment**, v. 406, n. 1-2, p. 154-160, 2008.

CORNEJO, P. et al. Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 925-928, 2013.

DALANHOL, S. J. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares e da adubação no crescimento de mudas de *Eugenia uniflora* L., produzidas em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p.117-128, fev. 2016.

FELLET, G.; MARMIROLI, M.; MARCHIOL, L. Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 598-608, 2014.

FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. 2016.

FERREIRA, P. A. A. et al. *Rhizophagus clarus* and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37–47. 2015.

FERREIRA, P. A. A. et al. Estratégias de amenização da fitotoxidez de metais pesados em solos de vinhedos. **Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**. 2016.

FERROL, N. et al. Survival strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in Cupolluted environments. **Phytochemistry Reviews**, v. 8, n. 3, p. 551-559, Oct. 2009.

GARDEZI, A. K. et al. Beans (*phaseolus vulgaris* L.) growth affected by irrigation from two sources of water mapped with gps, organic matter, and associated with *Glomus intrarradices*. In **Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, IEEE International, p.. 137-140. 2014.

HUANG, J. et al. Studies on Revegetation of Waste Mo Tailings Bank in Huludao Yangjiazhangzhi Area [J]. **Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition)**, v. 2, p. 020, 2010.

JOHNSON, N. C. et al. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p. 2093–2098, 2010.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton : Taylor e Francis Group, 2011. 505 p.

KLAUBERG-FILHO, O. et al. Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados. 2005.

LEBRUN, M. et al. Effect of biochar amendments on As and Pb mobility and phytoavailability in contaminated mine technosols phytoremediated by *Salix*. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 182, p. 149-156, 2017.

LI, P. et al. Distribution and Accumulation of Copper and Cadmium in Soil–Rice System as Affected by Soil Amendments. **Water Air Soil Pollution**, v. 196, p. 29–40, 2009.

MARQUES, A. P. G. C., et al. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.39, p.622-64, 2009.

MEIER, S. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on metallophyte and agricultural plants growing at increasing copper levels. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 280–287, 2012.

MORENO, F. N; SÍGOLO, J. B. Fitoestabilização controlada: proposta de processo de revitalização para passivos de areias de fundição. In: MOERI, E; RODRIGUES, D; NIETERS, A. (Editores). **Áreas contaminadas: remediação e revitalização**. São Paulo: Signus Editora, 2007. V. 3, p. 81-99.

OBIORA, S. C.; CHUKWU, A.; DAVIES, T. C. Heavy metals and health risk assessment of arable soils and food crops around Pb–Zn mining localities in Enyigba, southeastern Nigeria. **Journal of African Earth Sciences**, v. 116, p. 182-189, 2016.

PARK, J.H., L. et al. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, p. 549–574, 2011.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Revisions in Plant Biology**, v. 56, p.15-39. 2005.

PURIN, S.; RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, n. 2, p. 123-130, 2007.

SHARMA, P.; PANDEY, Sonali. Status of phytoremediation in world scenario. **Int J Environ Bioremed Biodeg**, v. 2, p. 178-191, 2014.

SANTIBÁÑEZ, C.; VERDUGO, C.; GINOCCHIO, R. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. **Science of Total Environment**, v. 395, v.1, p. 1-10, 2008.

SILVA, D.K.A. et al. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. 'Morada') associadas a fungos micorrízicos arbusculares. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v.22, n.3, p.863-869, 2008.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista espaço da Sophia**, v. 8, n. 1, 2007.

SILVA, R.P.; PEIXOTO, J.R.; JUNQUEIRA, N.T.V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.377-381, 2001.

SOARES, C. R. F. S. et al. Micorriza arbuscular e nutrição fosfatada sobre a toxicidade do zinco em trema [*Trema micrantha* (L.) Blum.]. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, 665–675, 2006.

SOUZA, E. R. et al. Fitoextração de sais pela *Atriplex numulária* lindl. Sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.5, p. 477-483, maio 2011.

TEJADA, M. et al. Soil amendments with organic wastes reduce the toxicity of nickel to soil enzyme activities. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, p. 129-140, 2008.