

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ÁGRARIAS – ICIAG

NATHALIA SILVA RODOVALHO

Promoção do crescimento de amendoim forrageiro em solo contaminado
por Cr, Cu, Mn, Zn quando inoculado com o fungo *Trichoderma atroviride*

Uberlândia, MG

2022

NATHALIA SILVA RODOVALHO

Promoção do crescimento de amendoim forrageiro em solo contaminado por Cr, Cu, Mn, Zn quando inoculado com o fungo *Trichoderma atroviride*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

Uberlândia – MG

2022

NATHALIA SILVA RODOVALHO

Promoção do crescimento de amendoim forrageiro em solo contaminado por Cr, Cu, Mn, Zn quando inoculado com o fungo *Trichoderma atroviride*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Uberlândia, 07 de abril de 2022

Banca Examinadora:

Lucas Carvalho Basílio de Azevedo – Doutor (USP)

Patrisia de Oliveira Rodrigues – Doutora (UFU)

Tatiane Pereira Santos Assis – Doutora (UFU)

Uberlândia – MG

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Luciana Maria e Antônio Luiz por não medirem esforços para me proporcionarem um ensino de qualidade durante toda minha vida; e ao meu irmão Natan Luis por todo apoio, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Instituto de Ciências agrárias (ICIAG) pelo incentivo ao desenvolvimento científico, essencial no meu processo de formação profissional e por tudo o que aprendi ao longo dos anos no curso.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante a pesquisa que foi de suma importância para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a empresa BRSEEDS® pelo fornecimento das sementes de amendoim forrageiro, e a empresa BIOSAG® pelo fornecimento do fungo, fatores essenciais para tornar possível a realização da pesquisa.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, por toda disposição em instruir, pela paciência e por ser tão empático e admirável pessoa.

Agradeço aos meus pais, Antônio Luiz e Luciana Maria, por todo suporte e compreensão durante todos os passos na montagem e monitoramento da pesquisa. E ao meu irmão, Natan Luis, por todo carinho e reflexões construtivas durante nossa jornada acadêmica.

Agradeço as minhas amigas Geissielen Lauriuchi, Marina Homaied e Thais Jesus por todo companheirismo, encorajamento, incentivo e troca de experiências durante toda jornada acadêmica.

Agradeço a Maria Clara, aluna de mestrado em qualidade ambiental na UFU por toda ajuda na montagem e monitoramento da pesquisa. Ao Jayder Pereira, Bruno Borges, Luana Vieira, Ellyenaya e Erica por toda ajuda na etapa inicial do projeto.

Ao professor Dr. Roberto Terumi Atarassi pelo empréstimo de equipamento, esclarecimentos e disponibilização total de uso do laboratório de tecnologia ambiental.

Ao professor Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão pelas orientações acerca da qualidade das sementes do amendoim forrageiro e por disponibilizar o uso do laboratório de produção e tecnologia de sementes.

A Professora Dra. Milla Alves Baffi, e a técnica Luciana Alves pelos esclarecimentos e auxílios na etapa experimental e pelo zelo com os discentes quanto ao uso do Laboratório de Microbiologia – LAMIC.

“Na natureza, o papel dos infinitamente
pequenos é infinitamente grande”

(Louis Pasteur)

RESUMO

A diversidade de metais pesados usados pelo ser humano tem crescido desde a revolução industrial, concomitantemente os casos de contaminação. Apesar de alguns metais serem essenciais em concentrações adequadas, em excesso podem dificultar o crescimento e sobrevivência dos seres vivos, incluindo a fauna, flora e a microbiota. Poluição por Cr, Cu, Mn, Zn pode afetar o solo, água, ar e a cadeia alimentar, com danos ao funcionamento do ecossistema e potencialmente à saúde pública. Uma das formas de descontaminação desses metais é a fitorremediação, que consiste no uso de plantas tolerantes para reduzir a poluição do solo. Um dos modos de aumentar a eficiência da fitorremediação é a aplicação de microrganismos promotores de crescimento vegetal. Além disso, a grande diversidade vegetal no Brasil ainda é pouco explorada para busca de possíveis plantas biorremediadoras. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a fitorremediação de Cr, Cu, Mn e Zn no solo por meio do crescimento de *Arachis pintoi* sob aplicação do fungo endofítico *Trichoderma atroviride* como promotor do crescimento vegetal. Foram estabelecidos três tratamentos: (1) solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi*; (2) solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro; e (3) solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*. O experimento foi montado em vasos, em casa de vegetação com delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. Após crescimento vegetal, o desenvolvimento do *A. pintoi* foi analisado e constatou-se que a aplicação de *T. atroviride* contornou a situação de contaminação do solo por Cr, Cu, Mn e Zn e promoveu o crescimento vegetal ao ponto de ser similar às plantas em solo não contaminado. Por outro lado, a massa seca das raízes não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Sendo assim, houve um efeito promissor quanto à sua utilização para promover o crescimento do amendoim forrageiro em solos contaminados por metais pesados.

Palavras – Chave: Biorremediação, fitorremediação, *Arachis pintoi*, elementos traço, endofítico

ABSTRACT

The diversity of heavy metals used by humans has increased since the industrial revolution, concomitantly with cases of contamination. Although some metals are essential in adequate concentrations, in excess they can hinder the growth and survival of living beings, including fauna, flora, and microbiota. Pollution by Cr, Cu, Mn, and Zn can affect soil, water, air, and the food chain, with damage to ecosystem functioning and potentially to public health. One of the ways to decontaminate these metals is phytoremediation, which consists of using tolerant plants to reduce soil pollution. One of the ways to increase the efficiency of phytoremediation is the application of plant growth-promoting microorganisms. In addition, the great plant diversity in Brazil is still little explored in the search for possible bioremediation plants. Therefore, the objective of this study was to evaluate the phytoremediation of Cr, Cu, Mn, and Zn in the soil through the growth of *Arachis pintoi* under the application of the endophytic fungus *Trichoderma atroviride* as a plant growth promoter. Three treatments were established: (1) soil not contaminated with *A. pintoi* growth; (2) soil contaminated with forage peanut growth; and (3) soil contaminated with the growth of *A. pintoi* and application of *T. atroviride*. The experiment was set up in vases, in a greenhouse with a completely randomized design with six replications. After plant growth, the development of *A. pintoi* was analyzed and it was found that the application of *T. atroviride* circumvented the situation of soil contamination by Cr, Cu, Mn and Zn and promoted plant growth to the point of being similar to plants in uncontaminated soil. However, the dry mass of the roots did not show significant differences between treatments. Thus, there was a promising effect regarding its use to promote the growth of forage peanuts in soils contaminated by heavy metals.

Keywords: Bioremediation, phytoremediation, *Arachis pintoi*, trace elements, endophytic,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ilustração das estratégias da planta no processo de fitorremediação e os possíveis destinos dos contaminantes.....	19
Figura 2	Monitoramento da temperatura na casa de vegetação durante todo ensaio.....	27
Figura 3	Representação gráfica do resultado encontrado da análise estatística das massas secas das partes aéreas e raízes dos tratamentos 1, 2 e 3.....	28
Figura 4	Representação gráfica do resultado encontrado da análise estatística das massas secas totais dos tratamentos 1, 2 e 3.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado da análise do solo coletado, prévio ao início do experimento, das correções de acidez, adubação e inoculação de isolado fúngico.....	23
Tabela 2	Correção aplicada no solo coletado.....	24
Tabela 3	Propriedades do substrato utilizado na semeadura.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACC	Enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato
Al	Alumínio
ATROV-14	<i>Trichoderma atroviride</i>
Ca	Cálcio
CaCO₃	Carbonato de cálcio
Cd	Cádmio
C_{org}	Carbono Orgânico
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CuSO₄	Sulfato de cobre
ET	Etileno
Fe	Ferro
FNR	Fosfato natural reativo OCP
FPCB	Fungos promotores de crescimento vegetal
H+Al	Acidez potencial
K	Potássio
K₂Cr₂O₇	Dicromato de potássio
K₂SO₄	Sulfato de potássio
m	Saturação por alumínio
Mg	Magnésio
MgCO₃	Carbonato de magnésio
Mn	Manganês
MnSO₄H₂O	Sulfato de manganês
M.S.P.A.	Massa Seca Parte Aérea
M.S.R	Massa Seca Raiz
M.S.T.	Massa Seca Total
NaClO	Hipoclorito de sódio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo

pH	Potencial hidrogeniônico
pH H₂O	Potencial hidrogeniônico em água
pH CaCl₂	Potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio
P_{meh}	Fósforo Mehlich
t	Capacidade de troca catiônica efetiva
T	Capacidade de troca catiônica
V	Saturação por bases
Zn	Zinco
ZnCl₂	Cloreto de zinco

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 SOLO	15
2.2 METAIS PESADOS	15
2.3 CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS	16
2.4 MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS	17
2.5 FITORREMEDIAÇÃO	18
2.6 ESPÉCIES VEGETAIS	20
2.7 BIORREMEDIAÇÃO E FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 ENSAIO EM CASA DE VEGETAÇÃO	23
3.2 TESTE DE GERMINAÇÃO	24
3.3 METAIS PESADOS - CR, CU, MN, ZN.....	25
3.4 PREPARO DO INÓCULO DE FUNGO – <i>TRICHODERMA ATROVIRIDE</i> (ATROV-14).....	25
3.5 PREPARO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES	25
3.6 INOCULAÇÃO NO SUBSTRATO DO SOLO E TRANSPLANTES	26
3.7 CONDUÇÃO DO ENSAIO	27
3.8 MASSA SECA	27
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
4 RESULTADOS	28
4.1 MASSAS SECAS	28
5 DISCUSSÃO	29
6 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os metais pesados, também chamados elementos traço são elementos químicos, geralmente, com ocorrência em baixas concentrações no ambiente natural. Alguns, como Cu, Mn, Fe, Ni e Zn, são essenciais para seres vivos, exercendo funções fisiológicas (CHAVES et al., 2008). No entanto, quando em excesso, as concentrações provocam desarranjo funcional das células, causando morte ou inibição do metabolismo dos indivíduos. Isso altera as comunidades de animais, plantas e microrganismos, afetando funções do ecossistema e gerando riscos de prejuízo à qualidade da água e à saúde pública (CARNEIRO et al., 2001; SU, 2014; KHALID et al., 2017; SUN et al., 2019).

No solo, a ocorrência de metais depende do material de origem, do processo de formação do solo e das deposições atmosféricas (SPOSITO, 2008). Por outro lado, as contaminações do solo, isto é, o aumento da concentração de metais acima do natural, ocorrem devido às atividades humanas, como mineração, galvanoplastia, aplicações recorrentes de pesticidas e fertilizantes, tráfego de automóveis, esgotos e resíduos de animais (WUANA e OKIEIMEN, 2011). Uma vez que o emprego de metais tem expandido desde a revolução industrial devido ao contínuo desenvolvimento tecnológico, coincidentemente, casos de contaminações relatados são crescentes no mundo (WIEDMANN et al., 2015; KHALID et al., 2017). Portanto, faz-se necessário encontrar soluções para o tratamento dos solos contaminados com metais pesados, em processos de diminuição da concentração, da toxidez, da biodisponibilidade e mobilidade (CATROGA, 2009; KHALID et al., 2017). Esses processos são chamados de remediação de áreas contaminadas.

Há diversas técnicas para remediar elementos traço dos solos, como a oxidação ou redução do contaminante, lixiviação, precipitação, incineração, adsorção e retirada via organismos vivos (KHALID et al., 2017; FARIAS et al., 2020). O emprego de seres vivos ou seus processos para descontaminação recebe o nome de biorremediação. As maiores vantagens da biorremediação são o menor custo e a incorporação do processo de descontaminação nos ciclos naturais de energia e matéria (THAKUR et al., 2016; YANG, 2018; ASHRAF et al., 2019). Dentre as estratégias de biorremediação, a fitorremediação tem potencial de descontaminar uma ampla gama de contaminantes e ambientes pelo uso de plantas.

Assim, a fitorremediação é uma das estratégias para se remediar solos contaminados com metais, por meio do crescimento de plantas capazes de remover, concentrar, imobilizar, volatilizar ou diminuir a toxidez no solo e na água (THAKUR et al., 2016; YANG, 2018; ASHRAF et al., 2019; SILVA et al., 2019; FARIAS et al., 2020). Quando há absorção, translocação e acúmulo do metal na sua parte aérea, há a oportunidade de se colher o vegetal e, conseqüentemente, retirar os metais para destinação adequada (SOUZA et al., 2010). Essa tecnologia oferece diversas vantagens, como, o baixo custo, possibilidade de aplicação em áreas extensas e, em muitos casos, ser realizado *in situ*, isto é, na própria área contaminada, evitando o transporte do material poluído (THAKUR et al., 2016; YANG, 2018; ASHRAF et al., 2019). Dessa forma, evita-se contaminações secundárias, além de viabilizar a revegetação dessas áreas, auxiliando na proteção do solo contra erosões eólicas e hídricas, ao mesmo tempo contribuindo com a melhora da beleza cênica da área contaminada (TAVARES et al., 2013).

Para aplicar a fitorremediação, é necessário selecionar plantas adequadas às condições estressantes da contaminação e adaptadas ao clima e solo do local. Dada a grande diversidade vegetal do Brasil, as espécies nativas constituem em uma importante fonte para selecionar plantas com potencial de remediação de metais (ANDRADE et al., 2018). Os estudos para se encontrar espécies nativas fitorremediadoras também se justifica pelo fato de que o maior número de opções de plantas reflete em maior probabilidade de se aplicar descontaminações eficientes de metais em diferentes situações. Dito isso, uma espécie nativa com facilidade de obtenção de propágulos e cultivo é o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Gregory), que é uma leguminosa rasteira (hábito estolonífero), nativa do cerrado, sendo comum o cultivo como forragem e na jardinagem. Por fazer associação simbiótica com bactérias fixadores de nitrogênio atmosférico do tipo rizóbio, suporta condições com baixa disponibilidade de N e em solos ácidos (SILVA, 2004).

Uma das formas de aumentar a eficiência da biorremediação é com o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal, como os fungos do gênero *Trichoderma* (FARIAS et al., 2020; ALVES et al., 2021). A aplicação desses fungos melhora o crescimento das raízes, estimula a associação simbiótica mutualista com fungos micorrízicos arbusculares e, portanto, melhora o acesso das raízes aos nutrientes e metais no solo (FARIAS et al., 2018; FARIAS et al., 2020; ALVES et al., 2021). A espécie *Trichoderma atroviride* é um fungo endofítico (isto é, coloniza os tecidos

vegetais), com potencial de promover o crescimento vegetal e, portanto, melhorar a fitorremediação.

Dessa forma, é importante estudar os efeitos da aplicação do fungo *Trichoderma atroviride* na melhora da fitorremediação de metais pesados por plantas de amendoim forrageiro, visando o desenvolvimento de estratégias de descontaminação mais eficientes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

A formação do solo ocorre a partir dos resultados de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, que ocorrem ao longo do tempo sob influência dos fatores clima, relevo, organismos e material de origem. O desempenho desses fatores promove a desagregação e alteração do material de origem em um processo denominado intemperismo, formando diferentes tipos de solos com diferentes características, organizados em camadas e/ou horizontes que se diferem do material de origem inicial (DOS SANTOS et al., 2018).

Compõem uma base fundamental para a biosfera terrestre e colabora, em um sistema complexo e interativo, para a saúde do ecossistema. Ou seja, é capaz de purificar e regular a água, é motor dos ciclos de nutrientes e um imenso reservatório de genes e espécies, funcionando como um suporte à biodiversidade. É também um sumidouro de carbono global, atuando um papel importante na redução das alterações climáticas e dos seus impactos. E ainda, constitui a base para 90% de toda a produção de alimentos, rações, fibras e combustíveis, fornecendo matéria-prima para atividades que vão da horticultura ao setor de construção. Sendo assim, sua preservação é de imensa importância não somente a níveis locais e regionais, mas também, mundial. Ademais, conserva vestígios do nosso passado, prestando-se não somente para as funções produtivas, mas também como um importante componente do nosso patrimônio cultural (RIBEIRO et al., 2013; European Environment Agency [EEA], 2019).

2.2 METAIS PESADOS

Os metais pesados estão integrados no solo como parte do material de origem (minerais primários e/ou secundários), precipitados com outros elementos, adsorvidos, dissolvidos na solução do solo ou incorporados em microrganismos, plantas ou animais (OLIVEIRA e COSTA, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2015). Suas interações com a fase

sólida são muito complexas, pois, envolvem reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica (AMARAL SOBRINHO et al., 1998; OLIVEIRA e COSTA, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2015).

O grau de mobilidade, atividade e biodisponibilidade desses compostos dependem de diversos fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e a composição e força iônica da solução do solo (OLIVEIRA e COSTA, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2015). Em tese, estudos têm indicado que os metais pesados Pb, Cr e Cu apresentam, baixa mobilidade, acumulando nas camadas superficiais do solo, enquanto Zn, Mn, Ni e Cd são, comparativamente, mais móveis (OLIVEIRA e COSTA, 2004).

Também chamados elementos traço, os metais pesados são substâncias que estão presentes no ambiente de modo natural exercendo diversas funções fisiológicas nos seres vivos, sendo assim, essenciais em concentrações adequadas, como Cu, Mn, Fe, Ni e Zn (CHAVES et al., 2008). Em razão da industrialização e rápido crescimento populacional, a produção de rejeitos antrópicos, biossólidos e agroquímicos, têm aumentado o risco de poluição do solo trazendo grande preocupação ambiental (DE MELO et al., 2008; ALEXANDRE et al., 2012). Pois, quando em excesso, as concentrações desses elementos provocam inibições do crescimento das plantas e alterações nas comunidades vegetais, bem como geram efeitos adversos nos microrganismos do solo, afetando funções do ecossistema com danos que vão desde ao meio ambiente à saúde pública (CARNEIRO et al., 2001; AMADO e CHAVES FILHO, 2015; KHALID et al., 2017; SUN et al., 2019).

2.3 CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS

A contaminação de solos por metais pesados representa uma preocupação global por sua alta e complexa desordem no equilíbrio ecológico. Bem como, pela representativa perda econômica e prejuízos à saúde humana (MAO et al., 2015; CARDOSO, 2020). Sua causa se atribui devido ao aumento da concentração de metais acima do natural, que ocorrem em resposta às atividades antrópicas, como mineração, galvanoplastia, aplicações recorrentes de pesticidas e fertilizantes, tráfego de automóveis, esgotos e resíduos de animais (WUANA e OKIEIMEN, 2011; MAO et al., 2015; CARDOSO, 2020; FARIAS et al., 2020). Visto que o uso de metais tem expandido desde a revolução industrial, devido ao contínuo desenvolvimento tecnológico, ao mesmo tempo que casos

de contaminações são relatados e crescentes no mundo (WIEDMANN et al., 2015; KHALID et al., 2017; CARDOSO, 2020; FARIAS et al., 2020).

Uma área é dita contaminada quando as concentrações do elemento envolvido estiverem acima de um limite estabelecido, sinalizando risco não somente sobre a saúde humana, mas também para qualquer atividade biológica existente no sistema (AMADO e CHAVES FILHO, 2015; CARDOSO, 2020). No Brasil, os valores de referência para investigar os teores de metal pesado e de outras substâncias químicas em solos contaminados em decorrência de atividades antrópicas, são estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 420, de 28 de dezembro de 2009, auxiliando na avaliação e criação de indicadores que controlem e zelem das áreas expostas a metais, tal como, dos seres vivos presentes nelas (CONAMA, 2009; AMADO e CHAVES FILHO, 2015).

Em decorrência desses fatores, esse nicho ambiental trouxe sérias consequências, principalmente, em relação a redução de áreas agricultáveis no mundo e a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos. Logo, a criação de planos e medidas de remediação é de suma importância (AMADO e CHAVES FILHO, 2015; CARDOSO, 2020).

2.4 MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Em função do alto risco para a saúde humana e para a segurança ecológica, os solos contaminados por metais pesados devem ser remediados a fim de suscitar sua recuperação (CARDOSO, 2020). Para isto, existem diversas técnicas que são aplicadas de acordo com a matriz contaminada, com a natureza do contaminante, com o nível de contaminação e com a disponibilidade de recursos (TAVARES et al., 2013), como a oxidação ou redução do contaminante, lixiviação, precipitação, incineração, adsorção e/ou retirada via organismos vivos (CHAVES et al., 2008; KHALID et al., 2017; FARIAS et al., 2020). Todas baseadas em dois princípios: *in situ* e *ex-situ*. Tratando-se de solo, remediá-lo *in situ* representa uma grande vantagem, pois não há a necessidade de realizar o transporte de amplas quantidades de solos contaminados, ademais, o problema é resolvido no próprio local (CHAVES et al., 2008).

As estratégias *in situ* possuem como objetivo imobilizar os metais pesados, os retirando do solo. Geralmente, podem ser divididos em biorremediação, fitorremediação, eletrocínética, tratamento químico e/ou separação pirometalúrgica. Basicamente, a biorremediação é o processo no qual se introduz microrganismos específicos no local da

contaminação; a fitorremediação emprega plantas com o objetivo de remover, transferir, estabilizar ou destruir elementos nocivos; a eletrocinética usa a passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade entre os eletrodos envolvidos pelos contaminantes do solo; o tratamento químico é baseado em processos oxidativos ou redutores; e por fim, a separação pirometalúrgica utiliza fornalhas de altas temperaturas para volatilizar os metais. Destes, a biorremediação e a fitorremediação são os mais testados cujo sucesso na descontaminação de solos contendo metais pesados é alto (CHAVES et al., 2008).

2.5 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é um processo complexo que envolve o uso de plantas e seus microrganismos associados, tendo em vista o tratamento in situ de solos contaminados (TAVARES et al., 2013; MOTA e SANTANA, 2016). Apresenta como vantagens, além de ser uma técnica de remediação in situ, baixo custo, possibilidade de aplicação em áreas extensas e a revegetação das áreas contaminadas, que conseqüentemente, promove a proteção do solo contra erosões e beneficia a estética da área (TAVARES et al., 2013; BOMFIM, 2020).

A planta fitorremediadora desenvolve distintas estratégias para remediar o solo contaminado, resumidamente, são elas: i) **fitoestabilização**, em que o contaminante é imobilizado por complexação (lignificado ou humificado) nos tecidos radiculares; ii) **fitoestimulação**, no qual o contaminante é degradado pela exsudação de substâncias pelas raízes das plantas; iii) **fitovolatilização**, em que o contaminante, uma vez absorvido, é fisicamente alterado para o estado gasoso através da metabolização da planta; iv) **fitoextração**, no qual a planta extrai os contaminantes do ambiente e os transporta para a parte aérea, possibilitando sua colheita; v) **fitodegradação**, no qual os contaminantes são degradados por ação enzimática (SOUZA, et al, 2013; MOTA e SANTANA, 2016; BRAGA, 2020) (Figura 1).

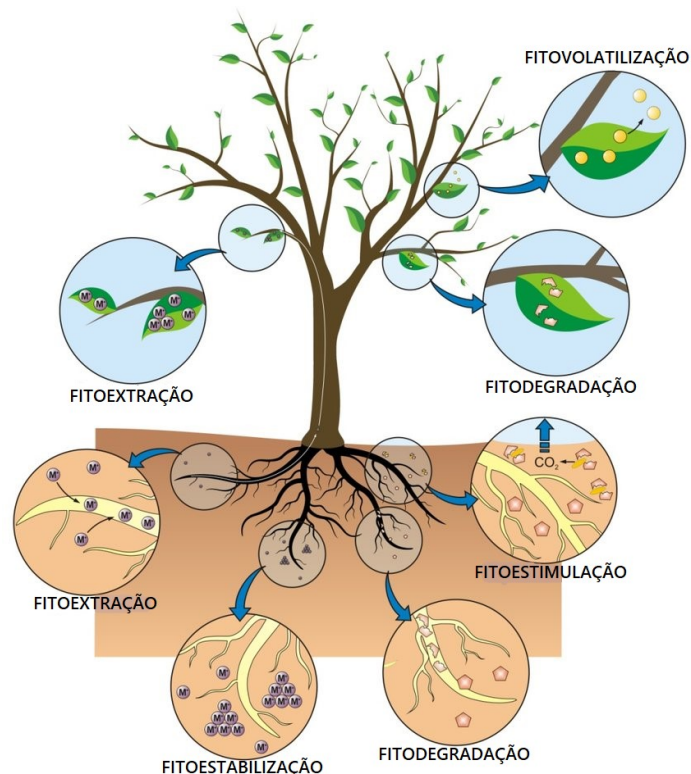


Figura 1 - Ilustração das estratégias da planta no processo de fitorremediação e os possíveis destinos dos contaminantes (FAVAS et al, 2014; BRAGA, 2020).

Entre os métodos de fitorremediação, a fitoestabilização e a fitoextração têm apresentado potencial promissor para descontaminação de solos (MENEGAES et al., 2015), particularmente por obter boa eficiência nos tratamentos e possibilitar práticas que possuem valor econômico. Entretanto, o método é avaliado como eficaz somente se a colheita for realizada, retirando dessa maneira todo o contaminante acumulado pela biomassa da planta (BRAGA, 2020). Para avaliar o potencial de fitoextração de uma espécie de planta, utiliza-se o índice de translocação ou também conhecido como fator de transferência, o qual mede quanto do metal absorvido é transportado para os tecidos/órgãos da planta (SOUZA et al., 2013).

A desvantagem desse método (fitorremediação) é que se deve considerar o ciclo vital da planta escolhida, como também a dificuldade de selecionar uma espécie, adequadamente, de acordo com o tipo de solo que contém muitos contaminantes (DA SILVA SANTOS et al., 2021) e ainda considerar a facilidade de obtenção dessas espécies vegetais (ANDRADE et al., 2018). A escolha da espécie fitorremediadora deve levar em consideração os tipos de solos, pois, cada um apresenta uma certa capacidade de armazenar compostos químicos essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo que

essa mesma capacidade pode influenciar no desenvolvimento e no potencial remediador das espécies vegetais (MEJÍA et al., 2014; BRAGA, 2020).

2.6 ESPÉCIES VEGETAIS

Plantas com elevada produção de biomassa são bastante vantajosas quando se considera a fitorremediação de metais pesados, isto porque mesmo que essas plantas não exibam taxas elevadas de alguns metais em seus órgãos, a elevada produção de biomassa lhes proporciona maior eficácia na extração de metais (BOMFIM, 2020). Além da elevada produção de biomassa, é interessante que nesse processo as espécies apresentem crescimento rápido, elevada competitividade, vigor e tolerância à poluição (TAVARES et al., 2013; BOMFIM, 2020).

As leguminosas, além de produzirem grandes quantidades de biomassa, realizam a fixação biológica de nitrogênio, oferecendo vantagem de crescimento em solos pobres em nitrogênio, como pode ser o caso de solos contaminados (BOMFIM, 2020).

O *Arachis pintoi*, também conhecido por amendoim forrageiro é uma leguminosa da família Fabaceae, originário da América do Sul, de clima tropical com boa adaptação no subtropical (CAVALI e VALENTIM, 2002; LUDWIG et al., 2010; ROCHA e VALLS, 2017). O gênero *Arachis* abriga espécies de importância econômica para uso alimentar (animal), forrageiro, ornamental ou para contenção de erosões (ROCHA e VALLS, 2017). Sua exploração ainda é pouco difundida, mas vem se destacando nos sistemas pecuários por apresentarem elevados teores de proteína, boa digestibilidade e, principalmente, pela boa produção de matéria seca de alta qualidade (LUDWIG et al., 2010), apresentam também o hábito de crescimento estolonífero, proporcionando boa cobertura do solo e ainda apresentam ciclo de vida perene (CAVALI e VALENTIM, 2002), ou seja, após ser plantada e concluir um ciclo produtivo, não necessita ser replantada.

O amendoim forrageiro se desenvolve bem em áreas sujeitas ao encharcamento temporário. Se adapta a diversos tipos de solos, com texturas variando de argilosa a arenosa, cresce bem em solos ácidos, de baixa a média fertilidade, tem exigência moderada a fósforo, sendo, apesar disso, eficiente na absorção quando o solo apresenta níveis baixos deste elemento. Ainda existem informações de elevada atividade de micorrizas associadas ao seu sistema radicular (VALENTIM et al., 2001).

2.7 BIORREMEDIAÇÃO E FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

Os microrganismos ou seus processos podem ser utilizados na degradação de poluentes para descontaminação de áreas contaminadas em um método denominado biorremediação (MADIGAN et al., 2016). Entre suas maiores vantagens, destacam-se o menor custo e a incorporação do processo de descontaminação nos ciclos naturais de energia e matéria (THAKUR et al., 2016; YANG, 2018; ASHRAF et al., 2019). Existem diversos microrganismos que apresentam potencial metabólico, que são utilizados nos processos de biorremediação, dentre eles, gêneros de bactérias e fungos (LEONEL et al., 2018).

Cerca de 90% das plantas terrestres formam associações micorrízicas. O termo micorriza foi proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, em 1885, originado do grego em que “mico” significa fungo e “riza” raízes, estas consistem em associações simbióticas mutualísticas entre fungos do solo e a maioria das plantas (BERTOLAZI et al., 2010). Os microrganismos endofíticos, quer dizer, microrganismos que vivem no interior das plantas, têm imensa importância ecológica, em decorrência dos benefícios que regularmente oferecem às plantas. Alguns deles são capazes de produzir alcaloides tóxicos que protegem seus hospedeiros contra herbívoros, outros podem proporcionar o maior crescimento vegetal, com o aumento de massa de raízes e parte aérea, aumentarem a capacidade competitiva das plantas, resistência a pragas e doenças, tolerância a secas ou outras situações de estresses bióticos e abióticos e até o condicionamento biológico do solo (DE MELO et al., 2008; ALVES et al., 2019). Eles são conhecidos como fungos promotores do crescimento vegetal (FPCV) (ALVES et al., 2019).

Posto que concretizada a associação entre fungo e planta, diversos processos de ordem direta e indireta ocorrem e são incumbidos pela promoção de crescimento vegetal. Os processos diretos envolvem produção de vitaminas e hormônios vegetais, como giberelinas e auxinas, regulação de síntese hormonal pela planta, absorção e translocação de nutrientes. Enquanto os processos indiretos são resultados da produção de sideróforos, solubilização e mineralização de nutrientes no solo, controle de pragas e patógenos e indução do sistema de mecanismo de defesa do hospedeiro vegetal. É possível que as condições físico-químicas e biológicas do solo pelos fungos estimulem, também, o crescimento vegetal (DEZAM et al., 2017; ALVES et al., 2019). Dentre os efeitos, ao inocular fungos endofíticos promotores de crescimento vegetal é observado, geralmente,

o crescimento radicular das plantas, bem como são relatados aumento de área foliar, de taxas de clorofila e tolerância aos estresses bióticos e abióticos (VERMA et al., 2017; ALVES et al., 2019).

Uma série de estudos investigaram espécies de fungos *Trichoderma*, como promotores do crescimento da parte aérea das plantas e na produção de auxinas e metabólitos que favorecem o desenvolvimento das raízes. Como as raízes são mais desenvolvidas e profundas, proporciona-se maior tolerância a seca. São capazes, também, de propiciar a absorção e a solubilização de nutrientes, favorecendo a aderência hidrofóbica e o desenvolvimento de pelos absorventes nas raízes laterais, com conseguinte aumento da superfície de absorção. Causam redução dos níveis de etileno (ET) nas plantas, mediada pela enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminase, resultando em maior crescimento das plantas. Essa enzima degrada o ACC, que é um precursor de ET, tendo sido comprovado que se expressa durante a interação de *T. atroviride* com plantas de tomate e de *T. asperellum* com raízes de colza (ALVES et al., 2019; MONTE et al., 2019). E ainda, promovem o aumento da massa seca e fresca das mudas, bem como, o conteúdo de amido e açúcares solúveis das plantas, o verdor das folhas e a eficácia fotossintética, sendo esta última relacionada a assimilação de nitrogênio (FELIX et al., 2019; MONTE et al., 2019).

Ademais, os FPCV podem expandir os sistemas radiculares e a fitoextração de elementos traço. Sendo, provavelmente, resultado das auxinas produzidas pelos fungos ou os fungos induzem a regulação dos genes da planta envolvidos na produção de fitormônios. Além de melhorar o crescimento das plantas, alguns isolados fúngicos promovem a adsorção de metais através de grupos funcionais da parede celular ou por substâncias poliméricas extracelulares (FARIAS et al., 2018; FARIAS et al., 2020). A produção de massas frescas e secas de raízes de *J. mimosifolia* cultivadas em solos contaminados e tratados com um consórcio de isolados fúngicos foram semelhantes, estatisticamente, aos de plantas no controle não contaminado, e maior do que os cultivados em solo contaminado (FARIAS et al., 2020). Este mesmo consórcio de fungos afetou, também, o crescimento radicular em soja e milho (FARIAS et al., 2018).

Ainda que as pesquisas sejam promissoras, estudos focados na quantidade de endofíticos que colonizam o interior da célula vegetal têm evidenciado que os efeitos podem ser neutros ou positivos, assinalando para um balanço custo-benefício voltado mais para as vantagens dessa associação e decorrente promoção de crescimento (ALVES

et al., 2019). Dessa forma, é importante reconhecer potenciais sistemas para fitorremediação que envolvam a aplicação de fungos promotores de crescimento vegetal para esclarecer as implicações dessa associação.

Nesse contexto, o presente estudo avaliou o efeito da inoculação do fungo *Trichoderma atroviride* na melhora do crescimento vegetal em solos contaminados por metais pesados em cultivares de amendoim forrageiro, visando o desenvolvimento de estratégias de descontaminações mais eficientes.

3 METODOLOGIA

3.1 ENSAIO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO

O solo utilizado no experimento foi coletado em uma área de latossolo vermelho distrófico típico argiloso (Areia – 150 g · Kg⁻¹, Silte – 130 g · Kg⁻¹, Argila – 720 g · Kg⁻¹), sob pastagem de *Urochloa*, localizado dentro do bioma Cerrado, no município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, Brasil (18° 56' 45.13" S; 48° 12' 35.20" O).

O solo foi peneirado, manualmente, em malhas de 2 e 4mm, homogeneizado, retirado três amostras para análise química e parâmetros de fertilidade em laboratório (Tabela 1) e dispostos em vasos de forma que ocuparam 14 dm³ do seu volume total. Para o ensaio o solo foi corrigido de acordo com sua necessidade (Tabela 2).

Tabela 1 – Resultado da análise do solo coletado, prévio ao início do experimento, das correções de acidez, adubação e inoculação de isolado fúngico

Latossolo Vermelho Distrófico Típico Argiloso												
Química												
pH	pH	C _{org}	P _{meh}	Ca	Mg	K	Al	H+Al	t	T	V	m
H ₂ O	CaCl ₂	dag · Kg ⁻¹	mg · dm ⁻³									%
5,1	5,1	1,17	1,2	1,03	0,22	0,09	0,27	2,37	1,61	3,71	36,33	16,33

Análise realizada após padronização em peneiras com malha de 2 e 4mm. pH em H₂O, pH em CaCl₂, carbono orgânico (C_{org}); Magnésio (Mg); Potássio (K); Cálcio (Ca); Alumínio (Al); Fósforo Mehlich (P_{meh}); Acidez potencial (H+Al); Capacidade de troca catiônica efetiva (t); Capacidade de troca catiônica (T); Saturação por bases (V%) e Saturação por alumínio (m%).

Tabela 2 – Correção aplicada no solo coletado

Solo	CaCO ₃	MgCO ₃	K ₂ SO ₄	Fosfato Natural	Ureia Cobertura
	mg · dm ⁻³				
Arg	381,4872	161,0562	95,48554	667	1380
Fase	1°	4 semanas após CaCO ₃ e MgCO ₃		20 dias após transplante das plântulas	

A correção do pH foi realizada pela aplicação de CaCO₃ P.A. (0,3815g/dm³) e MgCO₃ P.A. (0,1610g/dm³), onde foram irrigados até atingir o ponto de saturação por água. Após quatro semanas da aplicação dos carbonatos, foi misturado aos solos a solução de K₂SO₄ P.A. (0,0954 g/dm³) e feito a correção de fósforo de acordo com Novais (1999), com 0,667 g/dm³ de fosfato natural reativo OCP (FNR). A aplicação de ureia foi realizada 20 dias após o transplante das mudas de amendoim para os vasos, com 1,38 g/dm³ dissolvida em água.

Cada ensaio recebeu 3 tratamentos: (1) solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi*; (2) solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro; e (3) solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*. O delineamento para cada um dos ensaios foi inteiramente casualizado com 6 repetições. A fonte de esporos foi fornecida pela empresa Biosag®, em frascos contendo meio de cultura com isolados crescidos do fungo ATROV-14 (*Trichoderma atroviride*).

3.2 TESTE DE GERMINAÇÃO

A fim de se determinar o potencial de germinação dos amendoins para otimizar o tempo do experimento, foi realizado no Laboratório de Produção e Tecnologia de Sementes na Universidade Federal de Uberlândia – Campus Umuarama (MG) o teste de germinação das sementes.

Para isso foram separadas as quantidades necessárias de folhas filtro próprias para germinação e pesadas no estado seco. Assim, foi multiplicado o peso seco das folhas por 2,5 para obter a quantidade em mL de água necessário para umedecê-las. Foram realizadas 4 repetições com 50 sementes dispostas por tabuleiro de forma que ficassem equidistantes. Feito isso, com outro papel filtro úmido cobriram as sementes dispostas anteriormente e fechou em forma de rolo, repetindo-se o mesmo processo para as outras repetições e finalizando fechando os 4 rolos em apenas um.

Por fim, o rolo contendo as quatro repetições foi armazenado em câmara de germinação a 25°C com oscilação para $\pm 0,7$ (de acordo com o livro Regras para Análise de Sementes – Embrapa, que propõe também temperaturas de 20 – 30° C para o amendoim). Ao nono dia de germinação, temperatura 25,7°C, foram separadas as plântulas normais das anormais para o cálculo da taxa de germinação, que neste caso foi muito baixo, cerca de 20%, devido aos estrangulamentos, queima e má formação do aparelho morfológico.

3.3 METAIS PESADOS - Cr, Cu, Mn, Zn

Com base nos valores de contaminação do solo no Brasil (CONAMA, 2009) foi definido para a contaminação do solo do ensaio, respectivamente, as concentrações de 150, 200, 300 e 450 mg · dm⁻³ de Cr, Cu, Mn e Zn.

Para as contaminações foram utilizados os seguintes sais: cloreto de zinco (ZnCl₂), dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), sulfato de cobre (CuSO₄) e sulfato de manganês (MnSO₄H₂O). A partir dos cálculos para se determinar a solubilidade dos sais, foi definido, a fim de se ter uma padronização dos volumes produzidos a aplicação de 100 mL de cada uma das soluções de metais para todos os vasos contendo 14 dm³ de solo.

3.4 PREPARO DO INÓCULO DE FUNGO – *Trichoderma atroviride* (ATROV-14)

Em um liquidificador, foram homogeneizados por um período de 5 segundos os esporos do isolado de fungo (ATROV – 14 - *Trichoderma atroviride*), com 500 mL de água destilada e para ajudar na suspensão foi utilizado o tween 20, um polisorbato, como tensoativo/surfactante, na concentração final de 1 mL/1000mL (ou 0,1%).

Após a homogeneização, as suspensões foram alocadas em béqueres no qual foi coletada 0,1 mm³ para a contagem de esporos em câmara de Neubauer. Diluições foram feitas para se atingir suspensões com concentrações de 10⁶ mL⁻¹ esporos para o isolado fúngico. A suspensão para o tratamento controle foi preparada com a utilização de água destilada.

3.5 PREPARO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES

Foram separadas para os ensaios 550 sementes, sendo 325 sementes para o tratamento não inoculado e 225 sementes para o tratamento inoculado. Primeiramente, foi realizada uma esterilização das sementes com solução de NaClO a 1% (1:1), deixando-as imersas por 3 minutos, posteriormente, foi feita a limpeza da solução de NaClO em

triplicata com água destilada e colocadas para secar ao ar livre por 30 minutos sob papel filtro.

Após secagem das sementes, foi aplicado 1mL da suspensão de esporos a cada 100 sementes do tratamento inoculado, e no tratamento controle foi aplicado 1mL de água destilada a cada 100 sementes. Feita a aplicação das soluções, com a ajuda de um bastão de vidro as sementes foram misturadas e colocadas para refrigeração a 6°C por 17 horas até o momento da sementeira.

3.6 INOCULAÇÃO NO SUBSTRATO DO SOLO E TRANSPLANTES

Devido à baixa taxa de germinação dos amendoins, foi decidido como melhor opção semeá-los em placas de germinação contendo substrato (Tabela 3). Dessa forma, as placas foram preenchidas com o substrato e umedecidos, em seguida foram feitas covas de 1 cm de profundidade em cada orifício da placa para a quantidade determinada de sementes anteriormente. Para ambos os ensaios, uma semente foi colocada em cada orifício, juntamente com 1 mL das soluções preparadas (tratamento com inóculo de fungo e tratamento controle com água destilada), sendo colocado mais substrato a fim de fechar as covas.

Após quatro semanas, as mudas bem desenvolvidas foram transplantadas para os vasos, sendo frequentemente irrigadas e monitoradas até o momento da coleta.

Tabela 3 – Propriedades do substrato utilizado na sementeira

classe interna	I
pH ¹	6,5
cond. Elétrica (mS/cm ⁴)	0,8
U _{MÁX} (%/m/m)	55
Densidade seca (Kg/m ³)	160
CRA (%/m/m)	100
Composição (vide quadro matérias-primas) **	A+B+C+D+E+F+G

** Matérias-primas: A – mm 11-52-00, B – mm 14-16-18, C – vermiculita, D – calcário, E – turfa de sphagnum, F – fibra de coco, G – casca de arroz, H – casca de pinus, I – mm 03-17-00, J – mm 00-20-00.

3.7 CONDUÇÃO DO ENSAIO

A temperatura na casa de vegetação foi monitorada durante todo o ensaio, no período de 06/09/2021 a 06/02/2022, apresentando média de 29,4°C (Figura 2).

A cada 14 dias foram aplicados 20 mL de solução nos tratamentos controle (água destilada) e com inoculação de fungo, através de pulverizadores manuais, com a concentração de 10^6 mL^{-1} de esporos. A coleta foi realizada aos 117 dias após a semeadura, sendo as partes aéreas coletadas através de corte rente a base das plantas e as raízes separadas do solo, seguido de limpeza em água corrente para retirar o excesso de solo e secagem ao ar livre.

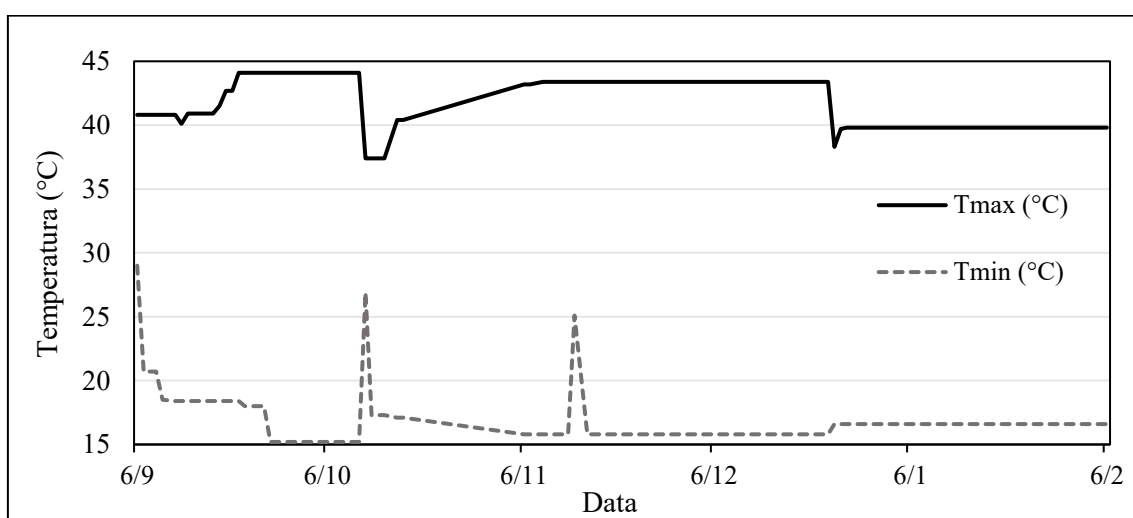


Figura 2 – Monitoramento da temperatura na casa de vegetação durante todo ensaio

3.8 MASSA SECA

A massa seca das partes aéreas e das raízes foram determinadas após secagem em estufa à 60°C por 72 horas, período suficiente para a massa estabilizar.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os outliers foram identificados por análise gráfica e por meio do desvio padrão, sendo positivo caso o valor fosse a média + ou – o dobro do desvio padrão. Para normalização, os dados de massa seca da parte aérea foram transformados como $\log X$. Foi realizada a análise de variância e teste de Scott-Knott com 5% ($p < 0,05$) e 10% ($p < 0,10$) de significância no programa Sisvar®. Os resultados gerais das análises de cada tratamento foram apresentados em forma de média e desvio padrão.

4 RESULTADOS

4.1 MASSAS SECAS

Houve diferença estatística ($p < 0,10$; teste Scott-Knott) no que se refere a massa seca das partes aéreas do tratamento (2) solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro, que obteve uma menor produção em relação aos tratamentos (1) solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi* e (3) solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*, que não se diferiram estatisticamente (Figura 3).

Quanto as massas secas das raízes não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$ e $p < 0,10$; teste de Scott-Knott) (Figura 3).

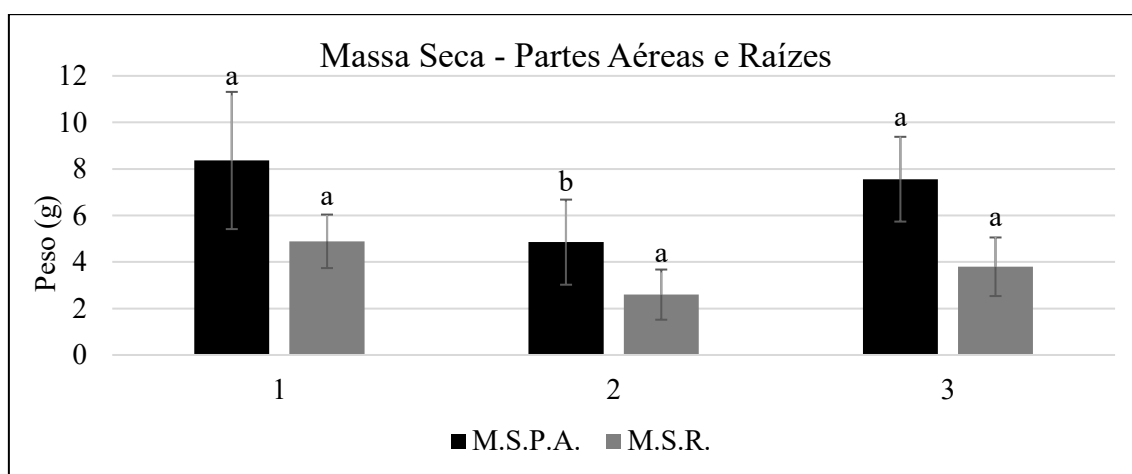


Figura 3- Representação gráfica do resultado encontrado da análise estatística das massas secas das partes aéreas e raízes dos tratamentos 1, 2 e 3

1- Tratamento solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi*; 2 – Tratamento solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro; 3 - Tratamento solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*.

Com relação às massas secas total houve diferença estatística ($p < 0,10$; teste de Scott-Knott) no tratamento (2) solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro, que atingiu uma menor produção em relação aos tratamentos (1) solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi* e (3) solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*, que não se diferiram estatisticamente (Figura 4).

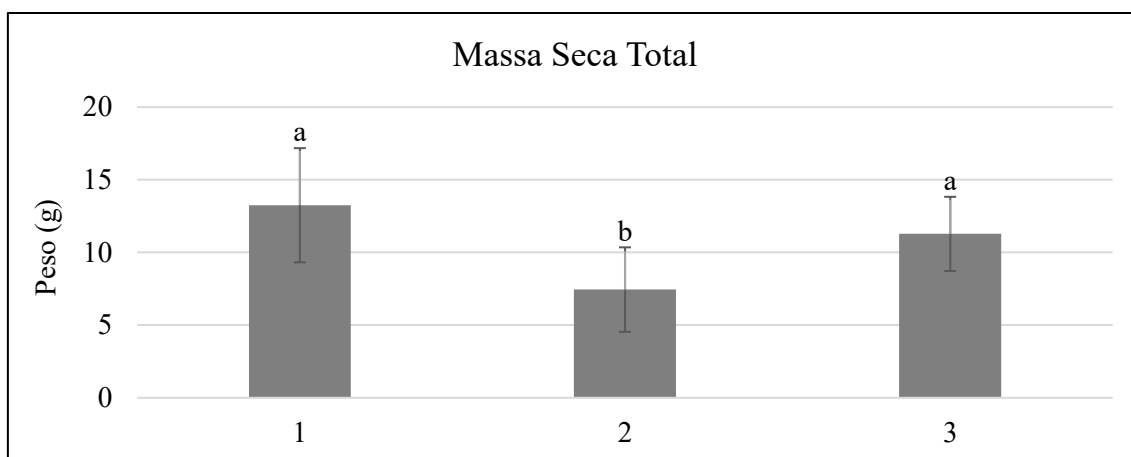


Figura 4 - Representação gráfica do resultado encontrado da análise estatística das massas secas totais dos tratamentos 1, 2 e 3

1- Tratamento solo não contaminado com crescimento de *A. pintoi*; 2 – Tratamento solo contaminado com crescimento de amendoim forrageiro; 3 - Tratamento solo contaminado com crescimento de *A. pintoi* e aplicação de *T. atroviride*.

5 DISCUSSÃO

A aplicação do isolado fúngico *T. atroviride* contornou a situação de contaminação do solo por Cr, Cu, Mn e Zn e promoveu o crescimento vegetal ao ponto de ser similar às plantas em solo não contaminado. A capacidade de promover o crescimento das plantas é uma característica comum de fungos endofíticos do gênero *Trichoderma*. Estudos constataram que *Trichoderma* acelerou a germinação de sementes de pimentão, pepino e tomate com aplicação em concentração superior a 10^5 conídios/g de solo, bem como, que o peso seco de folhas de rábano era maior na presença do fungo (MONTE et al., 2019).

Ademais, o crescimento da parte aérea das plantas pode ser promovido pela produção de fitormônios, como as auxinas e metabólitos que favorecem o desenvolvimento das raízes. A aplicação dos fungos pode provocar, também, uma diminuição dos níveis de etileno (ET) nas plantas, mediada pela enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminase, resultando em maior crescimento das plantas (MONTE et al., 2019). Esta enzima degrada o ACC, que é um precursor de ET, tendo sido comprovado que se expressa durante a interação de *T. atroviride* com plantas de tomate e de *T. asperellum* com raízes de colza. O fungo *Trichoderma* aumenta a massa seca e o conteúdo de amido e açúcares solúveis das plantas, o verdor das folhas

e a eficácia fotossintética, estando esta última diretamente relacionada com a assimilação de nitrogênio (FELIX et al., 2019; MONTE et al., 2019).

Os FPCV podem, também, expandir os sistemas radiculares e a fitoextração de elementos traço em decorrência das auxinas produzidas pelos fungos ou pelo estímulo dos fungos na regulação dos genes da planta envolvidos na produção de fitormônios. Além de melhorarem o crescimento das plantas, alguns isolados fúngicos provocam a adsorção de metais através de grupos funcionais da parede celular ou por substâncias poliméricas extracelulares (FARIAS et al., 2018; FARIAS et al., 2020). A produção de massas frescas e secas de raízes de *J. mimosifolia* cultivadas em solos contaminados e tratados com um consórcio de isolados fúngicos, são eles, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum*, e *Trichoderma asperella*, foram semelhantes estatisticamente aos de plantas no controle não contaminado, e maior do que os cultivados em solo contaminado (FARIAS et al., 2020). Este mesmo consórcio de fungos afetou, também, o crescimento radicular em soja e milho (FARIAS et al., 2018).

6 CONCLUSÃO

A aplicação de *T. atroviride* contornou a situação de contaminação do solo por Cr, Cu, Mn e Zn e promoveu o crescimento vegetal ao ponto de ser similar às plantas em solo não contaminado. Por outro lado, a massa seca das raízes não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Sendo assim, houve um efeito promissor quanto à sua utilização para promover o crescimento do amendoim forrageiro em solos contaminados por metais pesados.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.

ALVES, G. S. et al. Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. **Rhizosphere**, p. 100330, 2021.

ALVES, G. S. et al. Fungos promotores do crescimento do feijoeiro, micorriza arbuscular e atributos bioquímicos do solo. 2019.

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on line**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. et al. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 345-353, 1998.

ANDRADE, L. E. et al. Brazilian Flora 2020: innovation and collaboration to meet target 1 of the global strategy for plant conservation (GSPC). 2018.

ASHRAF, S. et al. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 174, p. 714-727, 2019.

BERTOLAZI, A. A. et al. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. **Natureza on line, Santa Teresa**, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.

BRAGA, L. C. Fitorremediação para emissões de lixiviado em aterros fechados. 2020.

BOMFIM, N. C. P. Crescimento, tolerância e potencial fitorremediador de leucaena leucocephala em solo contaminado por cobre e ferro. 2020.

CARDOSO, L. F. **Remediação de solos contaminados com metais pesados-combinação de nanotecnologias e aditivos naturais**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1443-1452, 2001.

CATROGA, A. M. D. **Contributo para o estudo das potencialidades do Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) na fitorremediação de solos contaminados com metais pesados**. 2009. Tese de Doutorado. FCT-UNL.

CAVALI, J.; VALENTIM, J. F. Produção de matéria seca de amendoim forrageiro sob diferentes alturas e intervalos de corte. In: **Embrapa Acre-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. IN: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2002, Rio Branco, AC. Anais... Rio Branco: CNPq; PIBIC; Ufac, 2002., 2002.

CHAVES, E. V. et al. Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e Pólo Industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata*. 2008.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

DA SILVA SANTOS, A. et al. Estudo do processo de biorremediação em solos impactados por derramamento de petróleo. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 823-835, 2021.

DE MELO, et al. Microbiologia ambiental. **Embrapa Meio Ambiente-Livro científico (ALICE)**, 2008.

DE OLIVEIRA, T. S. et al. Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem. **Ceres**, v. 45, n. 260, 2015.

DEZAM, A. P. G. et al. Microbial production of organic acids by endophytic fungi. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 11, p. 282-287, 2017.

DOS SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018

European Environment Agency [EEA]. SOLO. 2019

FARIAS, C. P. et al. A consortium of fungal isolates and biochar improved the phytoremediation potential of *Jacaranda mimosifolia* D. Don and reduced copper, manganese, and zinc leaching. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 1, p. 260-271, 2020.

FARIAS, C. P. et al. Consortium of five fungal isolates conditioning root growth and arbuscular mycorrhiza in soybean, corn, and sugarcane. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3649-3660, 2018.

FAVAS, P. J. C. et al. Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. **Environmental risk assessment of soil contamination**, v. 17, p. 485-517, 2014.

FELIX, T. et al. Fungos endofíticos em espécies agrícolas de importância econômica. 2019.

KHALID, S. et al. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 182, p. 247-268, 2017.

LEONEL, L. V. et al. Biorremediação do solo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 26, n. 51, p. 37-52, 2018.

LUDWIG, R. L. et al. Produção e qualidade do *Arachis pintoi*. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

MADIGAN, M. T. et al. **Microbiologia de Brock-14ª Edição**. Artmed Editora, 2016.

MAO, X. et al. Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: a review. **Journal of hazardous materials**, v. 285, p. 419-435, 2015.

MEJÍA, P. V. L. et al. Metodologia para seleção de técnica de fitorremediação em áreas contaminadas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 31, p. 97-104, 2014.

MENEGAES, J. F. et al. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS FLORÍFERAS EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE. 2015.

MONTE, E. et al. Trichoderma e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. **Trichoderma**, p. 188, 2019.

MOTA, F. A. C.; SANTANA, G. P. Plantas e metais potencialmente tóxicos—estudos de fitorremediação no Brasil. **Manaus: UFAM**, 2016.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M. da. Metais pesados em solos de uma topolitossequência do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 785-796, 2004.

RIBEIRO, M. A. do C. et al. **Contaminação do solo por metais pesados**. 2013. Dissertação de Mestrado.

ROCHA, R.; VALLS, J. F. M. O gênero *Arachis* L. (Fabaceae) no Rio Grande do Sul. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, M. P. Amendoim forrageiro – *Arachis pintoi*. Fauna e Flora do Cerrado, Campo Grande, Novembro 2004. Disponível em: <<http://cloud.cnpgc.embrapa.br/faunaeflora/plantas-forrageiras/amendoim-forrageiro-arachis-pintoi-krapov-w-c-gregory>>. Acesso em: 24 de março de 2021

SILVA, T. J. et al. Fitorremediação de solos contaminados com metais: panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, 2019.

SOUZA, L. A. et al. Potencial fitorremediador de leguminosas herbáceas associadas a fungos micorrizicos arbusculares em solo contaminado com chumbo. 2010.

SOUZA, L. A. et al. Use of non-hyperaccumulator plant species for the phytoextraction of heavy metals using chelating agents. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 290-295, 2013.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. Oxford university press, 2008.

SU, C. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. **Environmental Skeptics and Critics**, v. 3, n. 2, p. 24, 2014.

SUN, X. et al. Impacts of arsenic and antimony co-contamination on sedimentary microbial communities in rivers with different pollution gradients. **Microbial ecology**, v. 78, n. 3, p. 589-602, 2019.

TAVARES, S.R. de L. et al. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, p. 80-97, 2013.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo, 3ª ed. Embrapa, Brasília, 2017.

THAKUR, S. et al. Plant-driven removal of heavy metals from soil: uptake, translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, n. 4, p. 206, 2016.

VALENTIM, J. F. et al. Amendoim forrageiro cv. Belmonte: leguminosa para a diversificação das pastagens e conservação do solo no Acre. **Embrapa Acre-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2001.

VERMA, P. et al. Beneficial plant-microbes interactions: biodiversity of microbes from diverse extreme environments and its impact for crop improvement. In: **Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives**. Springer, Singapore, 2017. p. 543-580.

WIEDMANN, T. O. et al. The footprint of using metals: new metrics of consumption and productivity. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 17, n. 3, p. 369-388, 2015.

WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. **International Scholarly Research Notices**, v. 2011, 2011.

YANG, X. Principles and technologies of phytoremediation for metal-contaminated soils: a review. **Twenty years of research and development on soil pollution and remediation in China**, p. 279-331, 2018.