

# Micorrização e desempenho agrônômico de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel

## *Mycorrhization and agronomic performance of Canavalia ensiformis in the phytoremediation of soils contaminated with diesel oil*

Gabriela Aparecida Beserra<sup>1</sup>; Laiane Barbosa de Medeiros<sup>1</sup>; Lavínia Alves de Souza<sup>1</sup>; Cleber Tavares da Rocha Filho<sup>1</sup>; Icaro Alvarenga da Trindade<sup>1</sup>; Talles Eduardo Borges dos Santos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri, Goiás, Brasil.

\*Autor correspondente. E-mail: talles.santos@ueg.br

Recebido: 05/06/2023; Aceito: 14/08/2023

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a micorrização e o desempenho agrônômico de uma espécie de leguminosa (*Canavalia ensiformis*) na fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás (UEG)- Ipameri, GO, em casa de vegetação com delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 com 6 repetições, utilizando solo contaminado e não contaminado por óleo diesel; solo esterilizado e não esterilizado; e sementes inoculadas e não inoculadas com esporos micorrízicos da espécie *Rhizophagus intraradices*. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do programa estatístico SISVAR. O desempenho agrônômico do feijão-de-porco é afetado pela contaminação de óleo diesel no solo, mesmo com a inoculação de *Rhizophagus intraradices*. A capacidade de colonização do fungo não foi suficiente para promover a fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel.

**Palavras-chave:** Contaminação; hidrocarboneto; micorriza.

### ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the mycorrhization and the agronomic performance of a species of legume (*Canavalia ensiformis*) in the phytoremediation of soils contaminated with diesel oil. The experiment was carried out at the State University of Goiás (UEG) - Ipameri, GO, in a greenhouse with a completely randomized design, in a 2 x 2 x 2 factorial scheme with 6 replications, using soil contaminated and not contaminated by diesel oil; sterilized and non-sterilized soil; and seeds inoculated and not inoculated with mycorrhizal spores of the species *Rhizophagus intraradices*. The results were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey's test at 5% probability with the aid of the SISVAR statistical program. The agronomic performance of jack bean is affected by the contamination of diesel oil in the soil, even with the inoculation of *Rhizophagus intraradices*. The fungus colonization capacity was not enough to promote the phytoremediation of soils contaminated with diesel oil.

**Keywords:** Contamination; hydrocarbon; mycorrhiza.

## INTRODUÇÃO

O óleo diesel é um componente químico altamente complexo com potencial efeito fitotóxico. Por se tratar de uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo, o óleo diesel contém alcanos voláteis de baixo peso molecular e naftalenos que podem interferir no desenvolvimento normal das plantas (ADAM & DUNCAM, 1999; BAKER, 1970; OSSAI et al., 2020). Os efeitos da contaminação por petroderivados no solo variam de acordo com o tipo e a quantidade, a época do ano, o tipo de solo, a idade e espécie vegetal (KISIC et al., 2009). Solos com hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) têm tendência a reter menor quantidade de água (LIU et al., 2020), a apresentar menor disponibilidade de oxigênio e de nutrientes. Entre os nutrientes menos disponíveis após contaminação do solo com hidrocarbonetos destaca-se o nitrogênio, um dos mais restritivos ao crescimento das plantas devido à alta imobilização pela biomassa microbiana do solo (KUCHARSKI et al., 2010).

Muitos processos físicos, químicos e biológicos são usados para remediar solos contaminados. Tais processos funcionam removendo ou estabilizando os contaminantes. No entanto, a estabilização não reduz a quantidade de poluentes, mas altera suas propriedades químicas, que facilitam o sequestro ou adsorção de poluentes, reduzindo assim os riscos ambientais (WUANA & OKIEIMEN, 2011). A escolha da estratégia de remediação depende principalmente da natureza dos contaminantes (TAVARES, 2013).

Várias técnicas têm sido propostas para a remediação de solos contaminados por metais pesados, a exemplo da biorremediação (ação de microrganismos) e a fitorremediação (abordagem baseada em plantas) (SUMAN et al., 2018; YAN et al., 2020). Além dessas, outras técnicas, como a extração de vapor do solo (SVE), dessorção térmica, aeração e lavagem do solo, também são utilizadas na remediação de solos contaminados (TAVARES, 2013). Essas técnicas são altamente variáveis e dependem do substrato contaminado, da natureza do contaminante, do grau de contaminação e da disponibilidade de recursos (GALDAMES et al., 2017).

A fitorremediação, por exemplo, além de apresentar o baixo custo como vantagem, possui também a possibilidade de aplicação em áreas extensas, além de ser uma técnica de remediação *in situ*, não provocando contaminações secundárias (SÁNCHEZ et al., 2019). A remediação *in situ* costuma apresentar um menor custo de tratamento, em razão de não haver a necessidade de remoção e transporte do material contaminado. Contudo, características como longo período de tratamento e não uniformidade na eficiência de remediação representam importantes desvantagens deste tipo de alternativa. Alternativas para tratamento *in situ* são usualmente fundamentadas em processos físicos que objetivam a remoção de espécies voláteis, como extração de vapor do solo (ALBERGARIA et al., 2012) e injeção de ar (JOHNSTON et al., 2002), ou em processos biológicos fundamentados em atenuação natural (a fitorremediação ou a biorremediação) (SANTOS et al., 2017).

Uma diversidade de gramíneas, leguminosas e árvores de crescimento rápido com altas taxas de transpiração têm sido usadas na fitorremediação. Devido ao extenso sistema radicular, essas plantas proporcionam amplo contato radicular com o solo (KAMATH et al., 2004; MUKHOPADHYAY e MAITI, 2010). Vários estudos mostraram que a rizosfera tem um efeito estimulante sobre microrganismos capazes de degradar principalmente hidrocarbonetos e isso mostra que a remediação do solo contaminados com derivados de petróleo pode ser alcançada com o cultivo de plantas (ANDRADE et al., 2014; LEONEL et al., 2018).

Em relação as leguminosas com potencial efeito fitorremediador, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) têm sido relatado como sendo uma espécie promissora na fitorremediação de herbicidas (PIRES et al., 2005; PIRES et al., 2008), de metais pesados como o chumbo (ALMEIDA et al., 2008; ROMEIRO et al., 2007) e escória de siderurgia (OLIVEIRA & SOUZA, 2020). O feijão-de-porco é uma planta de cobertura de primavera-verão, uma leguminosa anual, bastante rústica, cuja principal característica é o crescimento inicial rápido e sua boa

capacidade em acumular matéria seca, por isso é considerada uma espécie potencial na fitorremediação de solos contaminados (ROMEIRO et al., 2007).

As leguminosas como o feijão de porco são conhecidas por terem vantagem sobre as plantas não leguminosas no processo de fitorremediação devido a sua capacidade de fixação de nitrogênio (UGRINOVIC et al., 2014) e, portanto, não precisam competir com microrganismos por nitrogênio, fato importante pois é sabido que áreas contaminadas com óleo diesel apresentam um déficit na relação C: N (VÁZQUEZ-LUNA, 2015).

Ainda hoje pouco se sabe sobre o potencial do feijão-de-porco na fitorremediação de solos contaminados por óleo diesel. Por outro lado, estudos envolvendo solos contaminados mostram a contribuição de micorrizas arbusculares na degradação de hidrocarbonetos derivados do petróleo, a exemplo do óleo diesel (HERNÁNDEZ-ORTEGA et al., 2011). As micorrizas são uma associação simbiótica mutualística, cuja associação se estabelece quando o fungo penetra no sistema radicular, invadindo o córtex inter e/ou intracelular, estabelecendo relações tróficas com a planta (ANTONIOLLI & KAMINSKI, 1991).

Deste modo, estudos necessitam ser realizados, associando micorrizas a plantas conhecidas como fitorremediadoras, visto que a capacidade de raízes micorrizadas em explorar maior volume de solo contaminado é proveniente das hifas dos fungos micorrízicos arbusculares (SOUZA & SILVA, 2006). A colonização micorrízica resulta na formação abundante de hifas extraradiculares e devido ao seu pequeno diâmetro, tem acesso à fina camada de poros no solo que são inacessíveis às raízes das plantas (SOUZA & SILVA, 2006).

Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a micorrização e o desempenho agrônômico de uma espécie de leguminosa (*Canavalia ensiformis*) na fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás (UEG), unidade Ipameri, GO, em casa de vegetação, com estrutura metálica coberta por filme de polietileno difusor de luz, com espessura de 150 micra. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw, localizada à latitude de 17°41' sul, longitude 48°11' oeste e altitude de 800m. A temperatura média é de 21,9°C, com umidade relativa média do ar variando de 58% a 81% e precipitação pluviométrica anual de 1.447mm.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 com 6 repetições. Os seguintes tratamentos foram utilizados: solo contaminado e não contaminado por óleo diesel; solo esterilizado e não esterilizado; e sementes inoculadas e não inoculadas com esporos micorrízicos da espécie *Rhizophagus intraradices*, perfazendo um total de 48 unidades experimentais.

Para o experimento foram utilizadas sementes de feijão-de-porco que são usadas comumente pelos produtores da região. O poluente (óleo diesel) utilizado foi adquirido por meio de compra em um posto de gasolina próximo a unidade Universitária UEG. Com relação a origem dos esporos micorrízicos, foram obtidos de um produto comercial que oferece uma concentração de 2.496.000 propágulos de FMAs.ha<sup>-1</sup> da espécie *R. Intraradices* (hifas e esporos) na dose de 120g.ha<sup>-1</sup>.

O solo utilizado para o experimento foi de uma área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (EMBRAPA, 2018), sob plantio direto, coletado na profundidade de 0-20 cm, onde foi seco ao ar, peneirado, homogeneizado e colocados em vasos com a capacidade para 8 kg. Deste solo, foi extraída uma amostra para análise química, na qual a partir dessa foi feita a correção da acidez do solo 60 dias antes da semeadura (RIBEIRO, 1999). A esterilização do solo nos tratamentos necessários ocorreu em autoclave a uma temperatura de 121 °C, a 1 atm de pressão, por duas horas. Os resultados da análise química do solo estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas e granulométrica do solo da área onde foi coletado o solo. Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Goiás – Campus Sul – Unidade Universitária Ipameri.

P <sup>(1)</sup>	MO	pH	K	Ca	Mg	H+AL	Al	CTC	V	Argila	Silte	Areia
mg.dm <sup>-3</sup>	g.dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	-----cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----						%	g.kg <sup>-1</sup>		
4,3	18,0	5,6	0,05	1,6	0,6	2,1	0,0	4,35	51,72	300,0	700,0	630,0

(1) Determinação de P pela solução extratora Mehlich.

A quantidade de óleo diesel por kg de solo foi definida pela quantidade máxima retida no solo previamente hidratado com 50% de sua capacidade de campo (CC), conforme os trabalhos de Bona et al. (2011) e Silva et al. (2006). Após a contaminação do solo, os vasos foram colocados em casa de vegetação, pesados e regados diariamente com finalidade de manter 50% da CC até o momento do plantio.

Decorridos 60 dias da contaminação as sementes foram inoculadas ou não, de acordo com seu respectivo tratamento, foram semeadas 4 sementes por vaso. Sete dias após a emergência, foi realizado o desbaste, onde foi selecionada uma plântula de cada vaso, selecionada baseada na maior altura e sanidade como critério de tomadas de decisão.

As irrigações foram realizadas no final da tarde, quando necessário, até o florescimento da cultura, quando as plantas foram retiradas dos vasos para análise. O volume de água aplicado levou em consideração a evapotranspiração da cultura, averiguada e controlada por pesagem dos vasos no local. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: tutoramento das plantas e eliminação manual das plantas daninhas.

Na avaliação da colonização micorrízica (CM), as raízes mais finas de cada planta foram separadas, lavadas em água corrente e preservadas em álcool 50%. Para a clarificação e coloração das raízes foi utilizado o método proposto por Phillipps & Hayman (1970), no qual consiste primeiramente na separação de 0,5 g de raízes e posteriormente a submissão ao aquecimento em solução de KOH a 10%, acidificação com HCl diluído e a coloração com azul de tripano a 0,05%. A quantificação foi feita pelo método da placa reticulada sob microscópio estereoscópio segundo Giovannetti e Mosse (1980), onde as raízes foram distribuídas homoganeamente sobre a placa com quadrantes de 1,1 x 1,1 cm, sendo contabilizados todos os segmentos, os que não continham e os que continham as estruturas fúngicas (arbúsculo e/ou vesículas) e que interceptavam as linhas da placa. A porcentagem de colonização foi determinada pela seguinte equação (1):

$$CM = \frac{sc}{sn+sc} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

CM = colonização micorrízica (%)

sn = quantidade de segmentos não colonizados

sc = quantidade de segmentos colonizados.

Foram realizadas análises fitotécnicas como altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) aos 79 dias após o plantio com auxílio de fita métrica e um paquímetro localizado a 10 cm do nível do solo, respectivamente. Para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca do sistema radicular (MSSR), a parte aérea foi separada das raízes e lavadas em água corrente. Em seguida, ambas foram encaminhadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até massa constante, para avaliação do rendimento da massa seca.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS

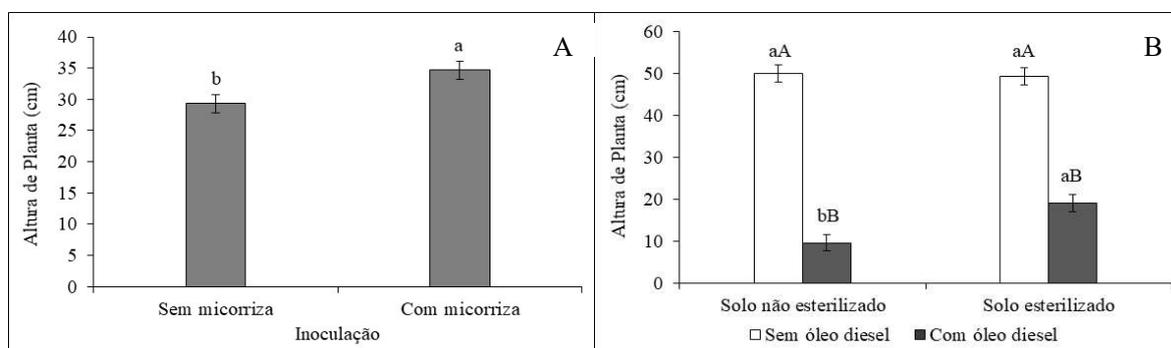
De acordo com os resultados obtidos (Tabela 2), observou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre a contaminação do solo com óleo diesel (F1) e a esterilização (F2), para todas as variáveis avaliadas, exceto para massa seca da parte aérea (MSPA). Contudo, para a mesma variável (MSPA), foi observada interação significativa ( $p > 0,01$ ) entre a contaminação do solo com óleo (F1) e inoculação (F3).

**Tabela 2.** Valores de F para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR) e colonização micorrízica (CM), na cultura do feijão-de-porco.

Fontes de Variação	AP	DC	MSPA	MSSR	CM
Efeito Simples					
Contaminação (F1)	304,61**	31,99**	405,00**	111,80**	6,98*
Esterilização (F2)	4,53*	4,73*	6,15*	1,63 <sup>ns</sup>	85,52**
Inoculação (F3)	7,04*	0,18 <sup>ns</sup>	2,94 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	43,67**
Interação					
(F1) x (F2)	6,43*	6,11*	2,20 <sup>ns</sup>	10,66**	8,84**
(F1) x (F3)	0,18 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	8,37**	0,18 <sup>ns</sup>	5,34*
(F2) x (F3)	1,33 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	3,64 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>
(F1) x (F2) x (F3)	2,15 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>ns</sup>
CV (%)	21,91	28,02	21,06	31,66	38,06

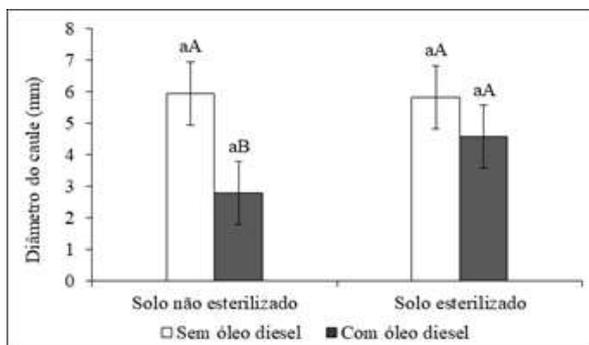
\*, \*\* e <sup>ns</sup> = significativo a 5%, 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV = coeficiente de variação.

Na Figura 1A observa-se a diferença estatística significativa para altura de plantas de feijão-de-porco onde as inoculadas com micorrizas se sobressaíram as não inoculadas, por outro lado na Figura 1B verifica-se a interação esterilização e contaminação para altura de planta, na qual as plantas de solos não contaminados apresentaram as maiores alturas, porém essas não diferiram estatisticamente quando esterilizados ou não. Por outro lado, em solos contaminados com óleo diesel as plantas de ambientes esterilizados obtiveram as maiores alturas.



**Figura 1.** (A) Altura de plantas não inoculadas e inoculadas com *Rhizophagus intraradices*. (B) Desdobramento da interação contaminação e esterilização para altura de plantas na cultura do feijão-de-porco. Mesmas letras maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

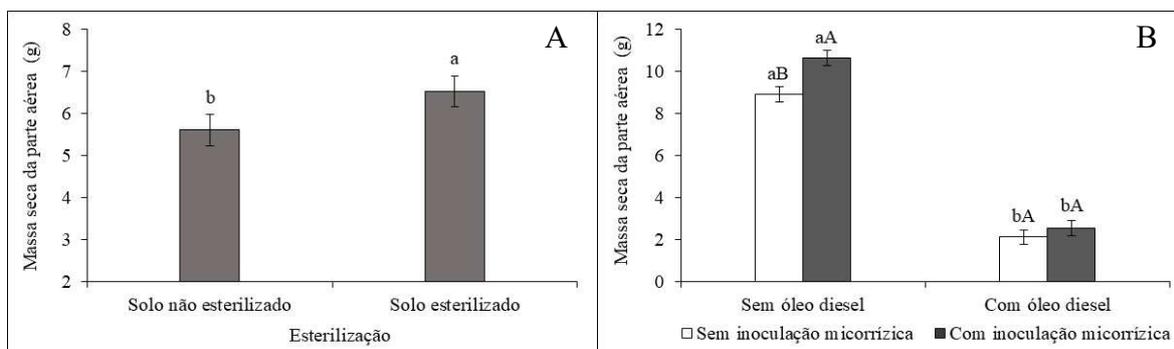
Os resultados sobre diâmetro do caule (Figura 2) mostraram que houve diferença entre os tratamentos com e sem óleo diesel em solos não esterilizados. No entanto, quando esterilizado o solo, o diâmetro não diferiu entre solo não contaminado (4,6 cm) e contaminado (5,8 cm).



**Figura 2.** Desdobramento da interação contaminação e esterilização para diâmetro do caule na cultura do feijão-de-porco. Mesmas letras maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A Figura 3A mostra que houve diferença estatística significativa entre o solo esterilizado e o não esterilizado, onde a esterilização promoveu um acréscimo de 13% na massa seca da parte aérea com média de 6,5 g.

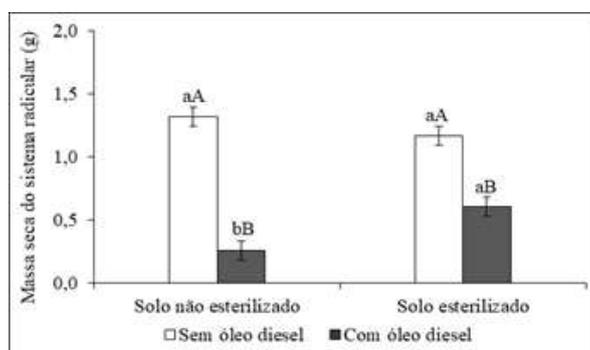
Em relação a massa seca da parte aérea (Figura 3B) verifica-se diferença estatística significativa entre plantas de sementes inoculadas e não inoculadas com micorrizas em solo sem óleo diesel, sendo a massa seca da parte aérea das plantas de semente inoculadas (10,6g) superior a de plantas de sementes não inoculadas. No entanto observa-se que na presença de óleo diesel que a inoculação micorrízica não proporcionou incremento na massa seca da parte aérea, com média muito baixa (2,3 g) comparadas as de solos não contaminados.



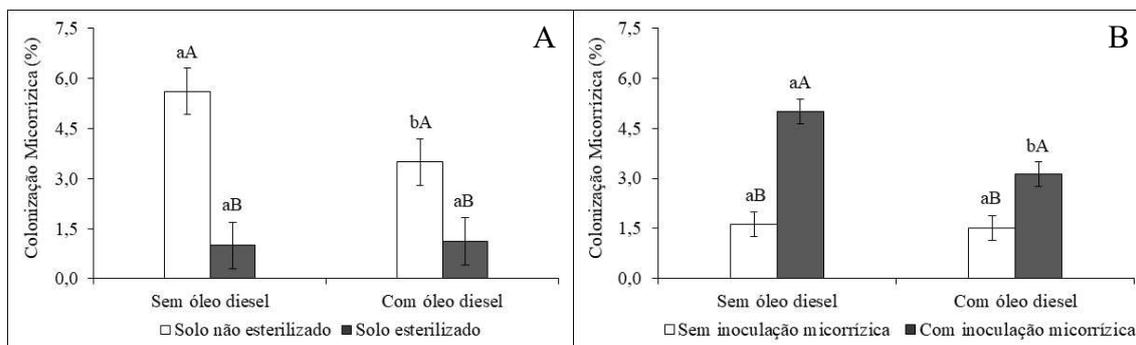
**Figura 3.** (A) Massa seca da parte aérea de plantas em solos não esterilizado e esterilizado. (B) Desdobramento da interação contaminação e inoculação para massa seca da parte aérea na cultura do feijão-de-porco. Mesmas letras maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para massa seca do sistema radicular as plantas de feijão-de-porco apresentaram valores superiores estatisticamente em solos sem contaminação independentemente da esterilização (Figura 4), porém plantas de solos contaminados com óleo diesel obtiveram maior incremento da massa seca do sistema radicular em solos esterilizados.

Independentemente da presença ou não de óleo diesel solo, plantas de solos não esterilizados mostraram maior colonização micorrízica diferindo estatisticamente de plantas de solo esterilizados e entre os solos esterilizados plantas de solos sem contaminação obtiveram melhores resultados (Figura 5A).



**Figura 4.** Desdobramento da interação contaminação e esterilização para massa seca do sistema radicular na cultura do feijão-de-porco. Mesmas letras maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.



**Figura 5.** (A) Desdobramento da interação contaminação e esterilização para colonização micorrízica na cultura feijão-de-porco. (B) Desdobramento da interação contaminação e inoculação para colonização micorrízica na cultura feijão-de-porco. Mesmas letras maiúsculas na vertical e minúsculas na horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Figura 5B é mostrado a interação contaminação e inoculação para colonização micorrízica, onde observa-se que plantas de sementes inoculadas com *Rizophagus intraradices* obtiveram resultados superiores estatisticamente as não inoculadas em solos com e sem óleo diesel.

## DISCUSSÃO

O resultado encontrado por Wang et al. (2016) trabalhando com mudas de laranjeira (*Poncirus trifoliata*) corrobora com o presente trabalho (Figura 1A), onde também observaram um crescimento superior de plantas micorrizadas com *Rhizophagus intraradices*. Em relação a (Figura 1B) Ferreira et al. (2020) também observaram que a contaminação do solo por óleo diesel inibiu o desenvolvimento de plantas de amendoim resultando em uma redução na altura final de planta após 120 dias de contaminação.

Segundo Miller (2010), a aplicação de nutrientes na forma de fertilizantes orgânicos e/ou inorgânicos em áreas contaminadas com óleo diesel contribuem para o crescimento de microrganismos capazes de degradar os poluentes existentes uma vez que se utilizam do nutriente para degradar as cadeias carbônicas policíclicas dos

hidrocarbonetos, tal afirmativa pode explicar em parte o fato dos solos não esterilizados apresentarem alturas de plantas significativamente menores na presença de óleo diesel (Figura 1 B), provavelmente porque a microbiota do solo tenha imobilizado alguns nutrientes para degradar o contaminante, deixando os indisponíveis para planta.

Em um estudo realizado por Balliana (2015) foi relatado que os valores de crescimento do caule do feijão de porco diferiram estatisticamente entre os tratamentos em substrato contaminado com diferentes níveis de contaminação com óleo diesel enquanto o comprimento do caule aos 60 e 90 dias após a semeadura apresentaram menores médias quando comparados às plantas do tratamento em substrato não contaminado, traçando semelhança com os resultados obtidos no estudo em questão (Figura 2).

Segundo Silva Júnior et al. (2012), corrobora em parte com presente estudo onde relatam que a biomassa seca e fresca, a altura da parte aérea e o diâmetro da haste do meloeiro (*Cucumis melo* L.) tiveram incrementos quando cultivado em solo estéril incorporado com material orgânica, no entanto, a inoculação de outros fungos foi necessária para obter o resultado (figura 3A).

No trabalho realizado por Spagnoletti & Lavado, (2015) evidenciou-se que a inoculação micorrízica com *Rhizophagus intraradices* mostrou incremento significativo da biomassa da parte aérea e altura das plantas na cultura da soja em solo contaminados com arsênio quando comparadas aos não contaminados. No entanto em relação ao presente trabalho, o fungo não demonstrou potencial efeito remediador de solo contaminados com óleo diesel (figura 3B).

Em relação a massa seca do sistema radicular (figura 4) o trabalho realizado por Balliana (2015), avaliando o nível de toxicidade do óleo diesel em *Canavalia ensiformis*, mostrou que a contaminação por óleo diesel afeta o crescimento sistema radicular, desencadeando uma formação rápida de novas raízes modificadas anatomicamente e novos órgãos com ausência de danos celulares, ou seja, aumentado massa seca de raiz resultados esse que contradiz em parte o presente estudo.

Para colonização micorrízica os resultados encontrados (Figura 5A) diferem dos observados por Lacerda et al. (2011) e Sugai et al. (2011) onde as maiores taxas de colonização micorrízica foram observadas nos tratamentos com solo esterilizados e inoculados, porém no presente trabalho a baixa colonização em solo esterilizado pode ser atribuído a falta de interação com outros microrganismos, uma vez que a associação entre os fungos micorrízicos arbusculares e as bactérias fixadoras de nitrogênio com as raízes das plantas aumenta a atividade de diversos outros microrganismos rizosféricos benéficos proporcionando melhores condições entre si (CHANG et al. 2017), principalmente por alterações na fisiologia e exsudação radicular das plantas (MIKOLA & KYTÖVITTA, 2002), o que na maioria das vezes, proporciona aumento dos benefícios.

Em um estudo com *Mimosa caesalpinifolia* Benth. associada a fungo micorrízico arbuscular em solo contaminado com óleo diesel, Alves Pinto (2016) observou resultados semelhantes ao do presente estudo (Figura 5B) os autores relataram que em solos contaminados a porcentagem de colonização micorrízica em plantas de Sabiá inoculadas com *Claroideoglossum etunicatum* foi significativamente menor com o aumento da concentração de óleo diesel, a partir da primeira concentração aplicada

## CONCLUSÃO

O feijão-de-porco foi afetado em solos não esterilizados com a presença de óleo diesel. O desempenho agrônomo do feijão-de-porco é afetado pela contaminação de óleo diesel no solo, mesmo com a inoculação de *Rhizophagus intraradices*. A capacidade de colonização do fungo não foi suficiente para promover a fitorremediação de solos contaminados com óleo diesel.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, G.; DUNCAN, H. J. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. **Environmental Geochemistry and Health**. v. 21, p. 353-357, 1999.
- ALBERGARIA, J. T.; ALVIM-FERRAZ, M. C.; DELERUE-MATO, C.; J. Remediation of sandy soils contaminated with hydrocarbons and halogenated hydrocarbons by soil vapour extraction. **Journal of Environmental Management**, v. 104, p. 195-201, 2012.
- ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M. F. Crescimento de feijão-de-porco na presença de chumbo. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 569-576, 2008.
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. (Eds.). **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2014.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**, v. 21, n. 3, p. 441-455, 1991.
- BAKER, J. M. The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, v. 1, n. 1, p. 27-44, 1970.
- BALLIANA, A. G. **Avaliação morfofisiológica de *Canavalia ensiformis* (L.) DC. (Fabaceae) em substrato contaminado com óleo diesel**. Dissertação (Mestrado em Botânica). Programa de Pós-Graduação em Botânica. Universidade Federal do Paraná, 87 e 106 p. 2015. Disponível em: <[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPR\\_3257d2d4477febcbf72e56d0529a163a](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPR_3257d2d4477febcbf72e56d0529a163a)>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- BONA, C.; SILVA, M. Y. B.; REZENDE, I. M.; SANTOS, G. O.; SOUZA, L. A.; INCKOT, R. C. Efeito do solo contaminado com óleo diesel na estrutura da raiz e da folha de plântulas de *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) e *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 277-285, 2011.
- CHANG, C.; NASIR, F.; MA, L.; TIAN, C. Molecular Communication and Nutrient Transfer of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Symbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria, and Host Plant in Tripartite Symbiosis. In: SULIEMAN, S.; TRAN, L.-S. P. (Eds.). **Legume Nitrogen Fixation in Soils with Low Phosphorus Availability**. Cham: **Springer International Publishing**, 2017. p. 169–183.
- PINTO, H. C. A. **Potencial fitorremediador de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) associada a fungo micorrízico arbuscular em solo contaminado com óleo diesel**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Estadual do Norte Fluminense darcy ribeiro pág. 32. Campos do Goytacazes, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Revista e Ampliada. - Brasília, DF. 2018. 356 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, J. P. D. S.; CUNHA, M. L. O.; LISBOA, L. A. M. Desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 2020. e945997983-e945997983, 2020.

GALDAMES, A.; MENDOZA, A.; ORUETA, M.; SOTO GARCÍA, I. S.; SÁNCHEZ, M.; VIRTO, I.; VILAS, J. L. Development of new remediation technologies for contaminated soils based on the application of zero-valent iron nanoparticles and bioremediation with compost. **Resource-Efficient Technologies**, v. 3, n. 2, p. 166-176, 2017.

GIOVANNETTI, J. W.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **The New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

HERNÁNDEZ-ORTEGA, H. A.; ALARCÓN, A.; FERRERA-CERRATO, R.; ZAVALITA-MANCERA, H. A.; ARACELI, H.; LOPEZ-DELGADO, H. A. Arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient status, and total antioxidant activity of *Melilotus albus* during phytoremediation of a diesel-contaminated substrate. **Journal Environmental Management**, v. 95, p. 319-324, 2011.

JOHNSTON, C. D.; RAYNER, J. L.; BRIEGEL, D.; J. CONTAM. Effectiveness of in situ air sparging for removing NAPL gasoline from a sandy aquifer near Perth, Western Australia. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 59, p. 87-111, 2002.

KAMATH, R.; RENTZ, J. A.; SCHNOOR, J. L.; ALVAREZ, R. J. J. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 151, p. 447-478, 2004.

KISIC, I.; MESIC, S.; BASIC, F.; BRKIC, V.; MESIC, M.; DURN, G.; ZGORELEC, Z. E BERTOVIĆ, L. The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. **Geoderma**, v.149, n.4, p.209-216, 2009.

KUCHARSKI, J.; TOMKIEL, M.; BOROS, E.; WYSZKOWSKA, J. The effect of soil contamination with diesel oil and petrol on the nitrification process. **Journal of Elementology**, v.15, n.1, p.111-118, 2010.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. D. S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F. D.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Revista Cerne**, v. 17, p. 377-386, 2011.

LEONEL, L. V.; NASCIMENTO, E. G.; BERTOZZI, J.; BÔAS, L. A. V.; BÔAS, G. T. V. Biorremediação do solo. **Terra & Cultura**, v. 26, n. 51, p. 37-52, 2018.

LIU, H.; GAO, H.; MANLI, W.; CHUANG, M.; JIALOU, W. XIQIONG, Y. Distribution Characteristics of Bacterial Communities and Hydrocarbon Degradation Dynamics During the Remediation of Petroleum-Contaminated Soil by Enhancing Moisture Content. **Soil Microbiology**, v.80, p.202–21, 2020.

MIKOLA, J. Minna-Maarit Kytöviita. Defoliation and the availability of currently assimilated carbon in the *Phleum pratense* rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 12, p. 1869– 1874, dez. 2002.

MILLER, H. Bioestimulation as a form of bioremediation of soil pollutants. **Basic Biotechnology Journal, LOCAL**, v. 6, n. 1, p. 7-12, 2010.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Phytoremediation of metal mine waste. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 8, n. 3, p. 207-222, 2010.

OLIVEIRA, F. K. D.; SOUZA, A. A. L. Potencial fitorremediador do “feijão-de-porco” submetido a diferentes concentrações de escória de siderurgia. **Holos**, v. 2, e6609, 2020.

OSSAI, I. C.; AHMED, A.; HASSAN, A.; HAMID, F. S. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 17, p. 1-42, 2020.

PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SOUZA, C. M. DIAS, R. R. Avaliação da fitorremediação de tebuthiuron utilizando *Crotalaria juncea* como planta indicadora. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 245-250, 2008.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R.; SANTOS, J. B.; TÓTOLA, M. R.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SILVA, C. S. W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 627-634, 2005.

RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.

SÁNCHEZ, V.; LOPEZ-BELLIDOB, F. J.; RODIGRO, M. A.; RODRIGUEZ L. Electrokinetic-assisted phytoremediation of atrazine: Differences between electrode and interelectrode soil sections. **Separation and Purification Technology**, v.211, 19–27, 2019.

SANTOS, A.; COSTA, G. S.; PERALTA-ZAMORA, P. Remediação de solos contaminados por processos fenton: uma revisão crítica. **Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 327-333, 2017.

SILVA JÚNIOR, J. M. T.; MENDES FILHO, P. F.; GOMES, V. F. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; SANTOS, E. M. Efeito da esterilização do substrato sobre o crescimento de mudas de meloeiro em presença de fungos micorrízicos arbusculares e compostos orgânico. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 98-103, 2012.

SILVA, M. Y. B. **Influência do solo contaminado com óleo diesel na germinação, crescimento e morfoanatomia de *Sebastiania commersoniana* (Baill) L. B. Sm. & Downs (Euphorbiaceae)**. Dissertação (Mestrado em Botânica). Programa de Pós-Graduação em Botânica. Universidade Federal do Paraná, 106 p. 2006.

Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/17498?show=full>>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SPAGNOLETTI, F.; LAVADO, R. S. The arbuscular mycorrhiza *Rhizophagus intraradices* reduces the negative effects of arsenic on soybean plants. **Agronomy**, v. 5, n. 2, p. 188-199, 2015.

SUGAI, M. A. A.; COLLIER, L. S.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v. 70, p. 416-423, 2011.

SUMAN, J.; UHLIK, O.; VIKTOROVA, J.; MACEK, T. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool for Clean-Up of Polluted Environment? **Plant Science**, v. 9, n. 1476, p. 1-15, 2018.

TAVARES, S. R. L. Técnicas de remediação. In.: TAVARES, S. R. L. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais: conceitos básicos & fundamentos**. 1ª ed., 2013. Cap. 2, p. 61-89.

UGRINOVIC, M.; MIJATOVIC, M.; ZDRAVKOVIC, J.; GIREK, Z.; KUZMANOVIC, D.; RASULIC, N.; JOSIC, D. Intercropped red beet and radish with green bean affected microbial communities and nodulation by indigenous rhizobia. **Agricultural and Food Science**, v. 23, n. 3, p. 173-185, 2014.

VÁZQUEZ-LUNA, D. Biological indices of toxicity in tropical legumes grown in oil contaminated soil. **Ecology Indicators**. v.53, p.43-48, 2015.

WANG, P.; WU, S. H.; WEN, M. X.; WANG, Y.; WU, Q. S. Effects of combined inoculation with *Rhizophagus intraradices* and *Paenibacillus mucilaginosus* on plant growth, root morphology, and physiological status of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings under different levels of phosphorus. **Scientia Horticulturae**, v. 205, p. 97-105, 2016.

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 Network**, p. 1-20, 2011.

YAN, A.; WANG, Y.; TAN, S. N.; YUSOF, M. L. M.; GHOSH, S.; CHEN, Z. Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. **Plant Science**, v. 11, n. 359, p. 1-15, 2020.