



Extratos de fungos endofíticos como potenciais promotores de crescimento em plantulas da soja (*Glycine max* (L.) Merrill

Endophytic fungus extracts as potential growth promoters in soybean plants (*Glycine max* (L.) Merrill

Extractos de hongos endofíticos como potenciales promotores de crecimiento en plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill

Tatiani Pereira de Souza Ferreira

Mestra em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Endereço: Gurupi, Tocantins, Brasil

E-mail: nanatpsf@yahoo.com.br

Luis Oswaldo Viteri Jumbo

Doutor em Entomologia

Instituição: Universidade Federal de Tocantins (UFT)

Endereço: Gurupi, Tocantins, Brasil

E-mail: luis.viteri@mail.uft.edu.br

Talita Pereira de Souza Ferreira

Doutora em Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Endereço: Gurupi, Tocantins, Brasil

E-mail: talitapsf@mail.uft.edu.br

María José González Armijos

Mestra em Bioquímica e Imunologia

Instituição: Universidade Federal de Minas (UFMG)

Endereço: Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

E-mail: majito130692@ufmg.br

Dalmarcia de Souza Carlos Mourão

Doutora em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Endereço: Gurupi, Tocantins, Brasil

E-mail: dalmarciaadm@mail.uft.edu.br

Gil Rodrigues dos Santos

Doutor em Fitopatologia

Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Endereço: Gurupi, Tocantins, Brasil

E-mail: gilrsan@mail.uft.edu.br



RESUMO

Os microrganismos endófitos são promissores no campo agrícola como potenciais estimuladores de crescimento. Assim, foi avaliado o potencial estimulador de fungos endofíticos na soja (*Glycine max* (L.) Merrill. Inicialmente foram coletadas 12 amostras de fungos endofíticos em diversas partes de várias espécies de plantas cultivadas. Estes fungos foram isolados, identificados e cultivados e em processo de fermentação durante 72h. Após deste processo foi preparada uma concentração ao 60% para ser aplicada. Plântulas de soja previamente semeadas em potes de plástico de 500 ml contendo substrato esterilizado e sem nenhum tipo de adubação e com 7 dias de idade foram pulverizadas com 5mL da solução previamente preparada. As plântulas foram mantidas em estufa a 28°C e fotoperíodo 12 horas. Após de 8 dias desde a aplicação dos extratos foram avaliados o tamanho e o diâmetro do caule e a raiz. Posteriormente a massa fresca e seca usando uma balança de precisão foi avaliada. Os resultados evidenciaram que dos 12 fungos aplicados nas plântulas, oito incrementaram significativamente o comprimento do caule, com um maior destaque para as plantas tratadas com *Purpureocillium lilacinum* e *Penicillium citrinum*. Já o diâmetro do caule foi maior em todos os tratamentos exceto nas plantas tratadas com *Penicillium citrinum*. O comprimento da raiz também foi incrementado significativamente quando tratados com algumas espécies de fungos. Similarmente a massa aérea e radicular também foi incrementada dependendo dos tratamentos. Conclusivamente nossos resultados mostram o potencial uso destes fungos como bioestimuladores radiculares o de caule da soja.

Palavras-chave: regulador de crescimento, bioproduto, fungo endofítico, soja.

ABSTRACT

Endophytic microorganisms are promising in the agricultural field as potential growth stimulators. Thus, was evaluated the stimulating potential of endophytic fungi in soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill. Initially, 12 samples of endophytic fungi were collected from different parts of various cultivated plant species. These fungi were isolated, identified and cultivated; in a fermentation process by 72h. After this process, a concentration of 60% was prepared for application. Soybean seedlings previously sown in 500 ml plastic pots containing sterilized substrate and without any type of fertilization and at 7 days old were sprayed with 5mL of the previously prepared solution. The seedlings were kept in a greenhouse at 28°C with a 12-hour photoperiod; after 8 days from the application of the extracts, the size and diameter of the stem and root were assessed. Subsequently, the fresh and dry mass was evaluated using a precision scale. The results showed that of the 12 fungi applied to the seedlings, eight significantly increased stem length, with the plants treated with *Purpureocillium lilacinum* and *Penicillium citrinum* standing out the most. Stem diameter, on the other hand, was greater in all treatments, except for plants treated with *Penicillium citrinum*. Root length was also significantly increased when treated with some fungal species. Similarly, aerial and root mass also increased depending on the treatment. In conclusion,



our results show the potential use of these fungi as root and stem biostimulators for soybean.

Keywords: growth regulator, bioproduct, endophytic fungus, soybean.

RESUMEN

Los microorganismos endofíticos son prometedores en el ámbito agrícola como potenciales estimuladores del crecimiento. Por ello, se evaluó el potencial estimulador de los hongos endófitos en la soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Inicialmente, se recogieron 12 muestras de hongos endófitos de diferentes partes de varias especies de plantas cultivadas. Estos hongos se aislaron, identificaron, cultivaron y fermentaron durante 72 horas. Tras este proceso, se preparó una concentración del 60% para su aplicación. Plántulas de soja previamente sembradas en macetas de plástico de 500 ml conteniendo sustrato esterilizado y sin ningún tipo de fertilizante y a los 7 días de edad fueron rociadas con 5mL de la solución previamente preparada. Las plántulas se mantuvieron en un invernadero a 28°C con un fotoperiodo de 12 horas. El tamaño y el diámetro del tallo y la raíz se evaluaron 8 días después de aplicar los extractos. Posteriormente, se evaluó la masa fresca y seca utilizando una balanza de precisión. Los resultados mostraron que, de los 12 hongos aplicados a las plántulas, ocho aumentaron significativamente la longitud del tallo, destacando las plantas tratadas con *Purpureocillium lilacinum* y *Penicillium citrinum*. El diámetro del tallo fue mayor en todos los tratamientos, excepto en las plantas tratadas con *Penicillium citrinum*. La longitud de la raíz también aumentó significativamente cuando se trató con algunas especies fúngicas. Conclusivamente nuestros resultados muestran el potencial uso de estos hongos como bioestimuladores radiculares o del tallo de la soja.

Palabras clave: regulador de crecimiento, bioproducto, hongo endofítico, soy.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos aumenta a cada dia devido ao crescimento da população, e a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de segurança alimentar e nutricional mais importantes para o futuro ([Johnson et al., 2023](#); [Ramlal et al., 2024](#)). Atualmente esta leguminosa é a quarta cultura mais cultivada no mundo com uma produção estimada em 371 milhões de toneladas na safra 2021, das quais 139 milhões de toneladas são produzidas no Brasil ([Faostat, 2023](#)). Devido a sua elevada quantidade proteica (40%) e de óleo vegetal (20%). A soja torna-a altamente desejável para consumo humano e



animal e como biocombustível (Herridge et al., 2008; Ibanda et al., 2018; Hu et al., 2023; Kim et al., 2023; Rani et al., 2023). Pelo seu alto teor de proteína a soja atualmente é transformada em produtos alimentares compostos como leite de soja, tofu, pasta de soja, natto e molho de soja, farinha de soja, óleo; além de substituir a fontes de proteínas animais (ovos, carne e leite) (Qin et al., 2022; Kim et al., 2023).

Justamente por sua importância no âmbito mundial, sua produção em grande escala exige uma aplicação excessiva de fertilizantes químicos sintéticos com potenciais efeitos ao meio ambiente ao médio ou longo prazo. Estes efeitos influenciam na comunidade microbiana do solo, acidificação do solo, emissões de gases com efeito estufa e a contaminação das águas subterrâneas por nitratos (Turabi et al., 2024; Zhao et al., 2024). Além, a aplicação de fertilizantes mesmo que é uma solução rápida para controlar a deficiência de micronutrientes no solo esta é apenas uma solução temporária, e o alto custo de mercado do fertilizante não é acessível aos agricultores com baixo poder aquisitivo (Johnson et al., 2023). Neste contexto, é necessário o uso de novas tecnologias para sanar essa grande problemática sem interferir na produção desta importante fonte de proteína (Milazzo et al., 2013). Mediante a toda esta conjuntura a inovação biotecnológica pode amenizar o uso destes insumos como a utilização de biomoléculas bioativas no controle de pragas e doenças, herbicidas, promotores de crescimento e controle osmótico das plantas com o déficit hídrico (Zheng et al., 2016; Melo et al., 2024).

Uma das tecnologias proeminentes para a redução e insumos sintéticos é o uso de microrganismos endófitos; estes organismos na natureza vivem nos tecidos internos das plantas sem causar (em algumas plantas) sintomas evidentes de doença (Wilson, 1995; Nisa et al., 2015). Fungos endofíticos convivem em simbioses com o hospedeiro. A planta protege e alimenta o fungo e este produz para a planta substâncias bioativas (reguladoras do crescimento da planta, antibacterianas, antifúngicas, antivirais, inseticidas, etc.) com o fim de que o hospedeiro se sobreponha a seus competidores (Carroll, 1988; Faeth, 2002; Yan et al., 2019; Chouhan et al., 2022). Esta associação bem equilibrada



entre estes organismos e suas plantas hospedeiras pode ser consequência de anos de convivência e evolução. Neste sentido estudos reportam que fungos endofíticos ajudam suas plantas hospedeiras a resistir diversos estresses bióticos e abióticos (Yao et al., 2017) pelo que tem sido foco de atenção para seu potencial aproveitamento na agricultura.

Atualmente existem vários reportes sobre o uso de fungos endofíticos na agricultura, com foco no uso como fungicidas, inseticida, protetor externo da planta, imunidade, resistência a fatores abióticos das plantas (Zheng et al., 2016; Yan et al., 2019; De Souza Ferreira et al., 2023). Porém existem poucos estudos sobre bioestimulantes de fungos endofíticos principalmente em culturas que possuem um grande valor econômico como a soja e cultivado em grandes áreas agrícolas. Assim nosso objetivo foi avaliar o uso de extratos brutos de 12 fungos endofíticos como promotores de crescimento das plântulas de soja.

2 MATERIAL E METÓDOS

2.1 ISOLAMENTO DOS FUNGOS ENDOFÍTICOS

Os fungos endofíticos foram repicados em meio de cultura BDA em placas de petri e incubados à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ com fotoperíodo de 12 horas, por sete dias. Este período foi determinado para os crescimentos das colônias de 12 isolados fúngicos, provenientes de plantas cultivadas (**Tabela 1**).



Tabela 1: Isolados fúngicos obtidos de diferentes partes de várias espécies de plantas

Espécie	Planta	Nome Científico	Parte da Planta
<i>Aureobasidium melanogenum</i>	Alfavacão	<i>Ocimum gratissimum</i>	Folha
<i>Penicilium</i> sp.	Nirá	<i>Allium tuberosum</i>	Bulbo
<i>Chaetonium</i> sp.	Joá bravo	<i>Solanum</i> sp.	Flôr
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Joá bravo	<i>Solanum</i> sp.	Raiz
<i>Penicilium</i> sp.	Milho	<i>Zea mays</i>	Caule
<i>Penicilium</i> sp.	Gergelim	<i>Sesamum indicum</i>	Raiz
<i>Penicilium</i> sp.	pimenta	<i>Capisicum</i> sp.	Folha
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	pimenta	<i>Capisicum</i> sp.	Semente
<i>Aspergillus</i> sp.	Mirra	<i>Tetradenia riparia</i>	Raiz
<i>Penicillium citrinum</i>	Joá bravo	<i>Solanum</i> sp.	Raiz
<i>Trichoderma</i> sp.	Aranto	<i>Kalanchoe</i> sp.	Broto
<i>Paecilomyces variotii</i>	Açafrão	<i>Curcuma longa</i> L.	Folha

Fonte: autores.

2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS

A identificação das cepas dos 12 isolados de fungos foi realizada através da observação do crescimento, formação de estruturas vegetativas e reprodutivas, com característica das hifas e dos conídios. As observações foram feitas em microscópio óptico de luz e os fungos foram identificados com base na morfologia conjunta das estruturas reprodutivas de acordo com literatura especializada (Barnett e Hunter, 1972; Watanabe, 2002).

2.3 OBTENÇÃO DO EXTRATO FÚNGICO

Os 12 isolados endofíticos foram repicados e cultivados em placas de Petri com meio BDA durante 6 dias e incubado em estufa climatizada a $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Em seguida, 2 discos do micélio de 6 mm de diâmetro foram adicionados em 3 frascos de Erlenmeyer de 500mL. Os frascos continham 300 mL do meio de cultura MBD: 200 g/L de batata e 20g/L de dextrose. Após a incubação os frascos foram fermentados em mesa agitadora com 120rpm de agitação a $\pm 28^{\circ}\text{C}$ durante 3 dias. Após de 72h foram retiradas amostras para a realização dos ensaios de pós-emergência (Talukdar et al., 2021).



2.4 BIOENSAIOS NAS PLÂNTULAS DE SOJA

As sementes de soja foram cultivadas em potes de plástico de 500 ml contendo substrato esterilizado e autoclavado e sem nenhum tipo de adubação. Em cada pote foram semeadas 3 sementes sádas de soja, e mantidas em casa de vegetação em temperatura $\pm 28^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo 24 horas, durante 7 dias sendo umedecidos quando necessário. Subsequentemente foi preparada em água destilada uma concentração fúngicas ao 60 para cada extrato bruto, no controle apenas água destilada foi aplicada. Após 7 dias de ter germinado as plantas um volume de 5 mL de cada tratamento foi aplicado via superfície foliar na parte da manhã (08:00 – 09:00). E após de 8 dias desde a aplicação dos extratos (15 dias desde a germinação das sementes e foram avaliados o tamanho e o diâmetro do caule e a raiz usando uma régua graduada e/ou paquímetro. Posteriormente tanto foi avaliada a massa fresca e seca (após de secagem em estufa durante 48 horas a 50°C) usando uma balança de precisão. O experimento foi realizado em triplicata.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada pelo programa estatístico Sisvar, para os resultados obtidos experimentalmente no ensaio de promoção de crescimento, pelo delineamento inteiramente casualizado com três repetições, aplicando a análise de variância (ANOVA) com o teste de ScottKnott a 5% de probabilidade.

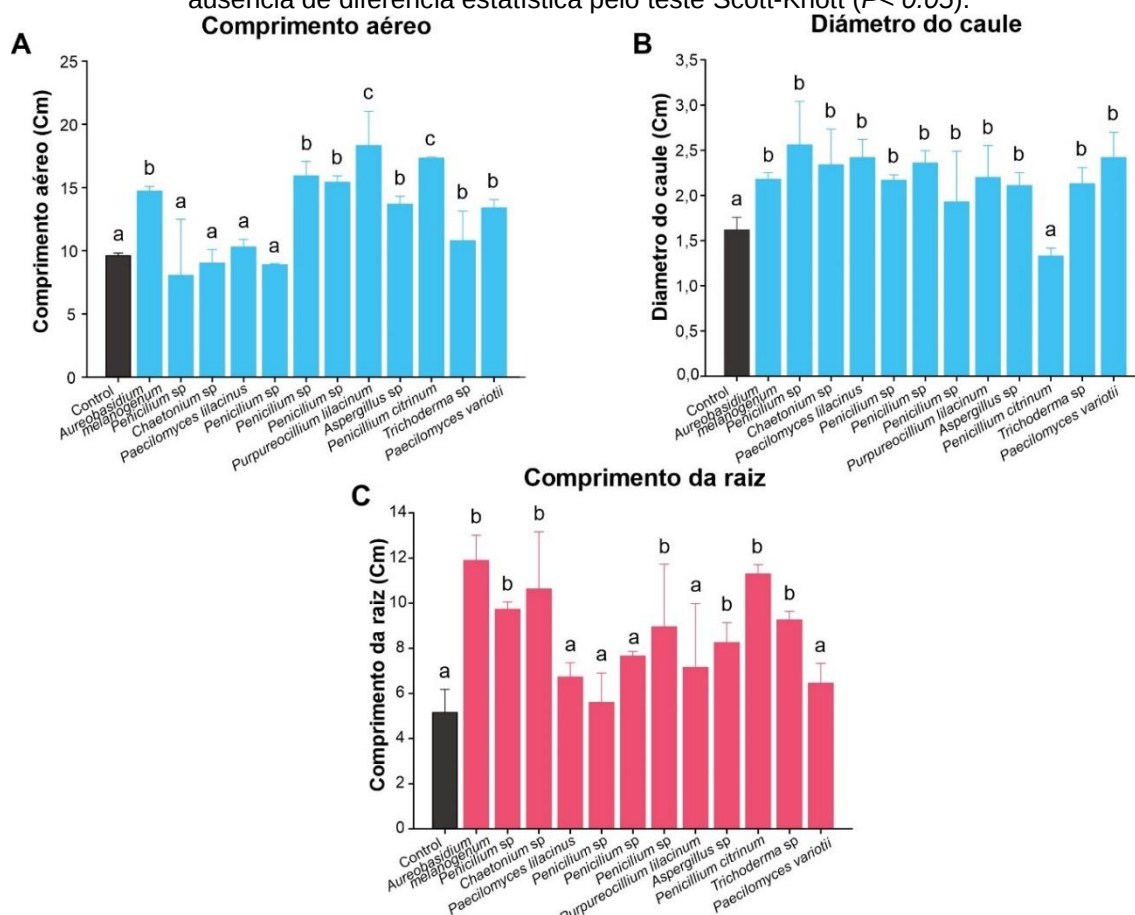
3 RESULTADOS

Aqui foi demonstrado foi demonstrado que os fungos endofíticos influenciam no desenvolvimento das plantas de soja, e esta influência foi dependente da espécie de fungo aplicada. Foram observadas diferenças no comprimento do caule e raiz, diâmetro (caule) da soja, de acordo com a espécie



de fungo tratada. Dos 12 fungos aplicados nas plântulas de soja, oito incrementaram significativamente o comprimento do caule de soja, com um maior destaque para as plantas tratadas com *Purpureocillium lilacinum* e *Penicillium citrinum* ($P < 0.001$) (**Figura 1A**) coletados em *Capisicum* sp. (semente) e *Solanum* sp. (raiz) respectivamente. Já o diâmetro do caule foi maior em todos os tratamentos ($P = 0.0003$) exceto nas plantas tratadas com *Penicillium citrinum* (**Figura 1B**) proveniente do *Solanum* sp. (raiz). O comprimento da raiz também foi incrementado significativamente ($P = 0.0003$) quando tratados com algumas espécies de fungos (**Figura 1C**).

Figure 1. Efeito no comprimento aéreo (A), diâmetro do caule (B) e comprimento da raiz (C) da soja quando exposta a extratos de diferentes fungos endofíticos. As barras representam as medias de três réplicas e as linhas verticais o desvio padrão, letras iguais nas barras significa ausência de diferencia estatística pelo teste Scott-Knott ($P < 0.05$).

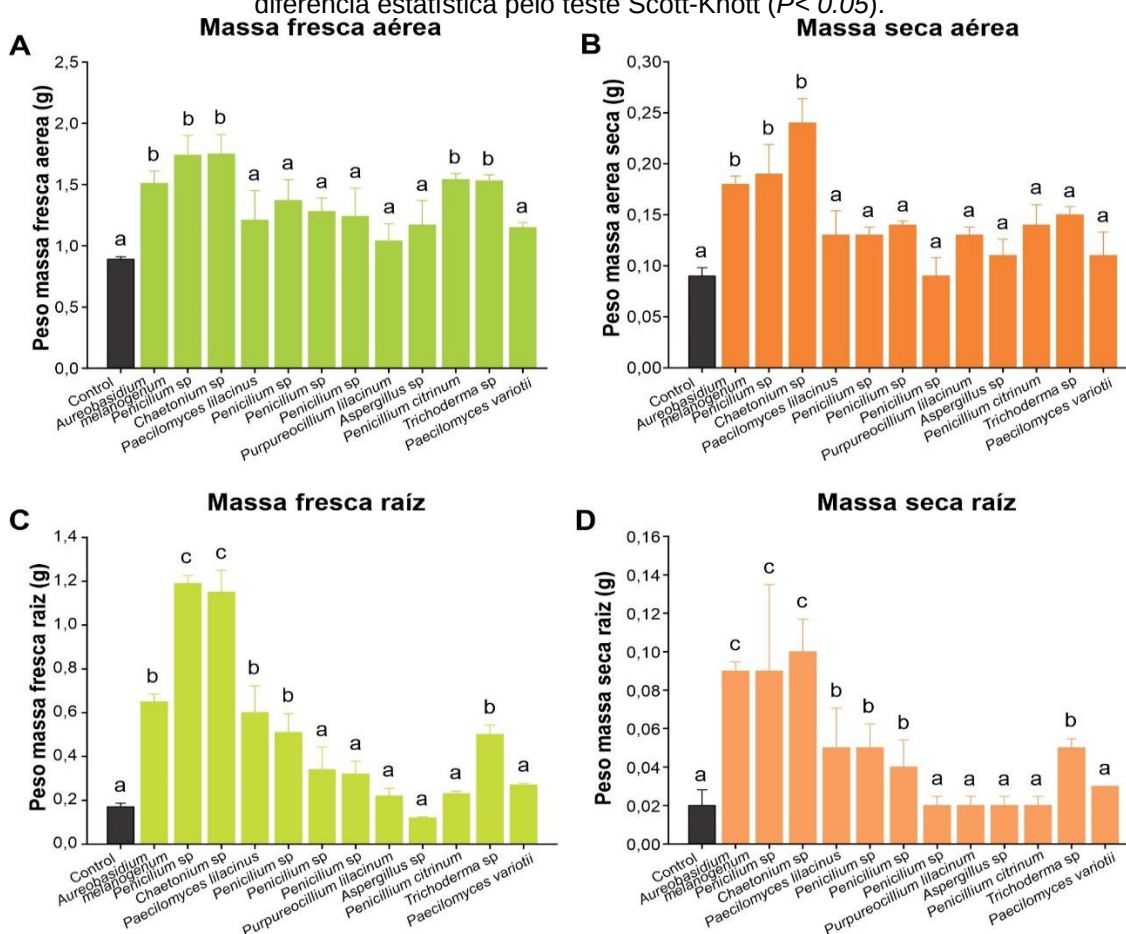


Fonte: autores.



Similarmente os fungos *Aureobasidium melanogenum*, *Penicilium* sp., *Chaetonium* sp., *Penicillium citrinum* e *Trichoderma* sp. provenientes de *Allium tuberosum* (bulbo), *Solanum* sp. (flor), *Solanum* sp. (raiz), *Solanum* sp. (raiz) e *Kalanchoe* sp. (broto) respectivamente incrementarem o peso ($P = 0.036$) da massa aérea fresca (**Figura 2A**); o mesmo resultado foi observado no peso da massa aérea seca ($P = 0.001$) exceto para o fungo *P. citrinum* e *Trichoderma* sp. (**Figura 2B**), já na massa radicular os tratamentos com os fungos *Penicilium* sp. de *Allium tuberosum* (bulbo) e *Chaetonium* sp. de *Solanum* sp. (flor) apresentaram um maior incremento de peso tanto em fresco ($P < 0.001$) (**Figura 2C**) como em seco ($P < 0.001$) (**Figura 2D**).

Figure 2. Efeito na massa aérea fresca e seca (A,B) e massa radicular (C,D) da soja quando exposta a extratos de diferentes fungos endofíticos; As barras representam as medias de três réplicas e as linhas verticais o desvio padrão, letras iguais nas barras significa ausência de diferencia estatística pelo teste Scott-Knott ($P < 0.05$).



Fonte: autores.



4 DISCUSSÃO

Nossos resultados evidenciaram o potencial dos fungos endofíticos como bioagentes a serem usados na cultura de soja. Porém este potencial é dependente da espécie e da origem da planta destes, percebe-se que estes fungos influenciaram positivamente no crescimento tanto da parte aérea como da parte radicular de plantas de soja o que os faz proeminentes no seu uso como bioestimuladores de crescimento.

O comprimento aéreo foi estimulado nas plantas de soja quando tratadas com várias espécies de fungos endofíticos, porém esta estimulação foi, mas notória nas plantas tratadas com *Purpureocillium lilacinum* e *Penicillium citrillum* provenientes da semente de *Capsicum* sp. e da raiz de *Solanum* sp. respectivamente. Os resultados concordam com outros estudos que -mostraram que o fungo *P. lilacinum* que promoveu o crescimento de plantas de milho, feijão, soja e pimenta in vitro e em condições de semi-campo (Baron et al., 2020; Moreno-Salazar et al., 2020; Khan e Tanaka, 2023). Estes mesmos estudos observaram que as plantas tratadas com *P. lilacinum* apresentaram melhores pigmentos fotossintéticos (clorofila, caroteoides) das plantas. Outros autores sugerem que o crescimento das plantas quando tratadas com *P. lilacinum* e devido a habilidade deste fungo de solubilizar fosfato de cálcio do solo como fonte de fósforo para a planta além de incrementar a aquisição de nutrientes do solo (Hernández-Leal et al., 2011; Nieto-Jacobo et al., 2017); além de produzir o ácido indol acético (auxina) que é uma fito-hormona, responsável por vários efeitos no desenvolvimento de rebentos e raízes e outros processos fisiológicos das plantas (Jaroszuk-Ścisel et al., 2014; Kunkel e Harper, 2017; Baron et al., 2020).

Conforme aqui encontrado, outros estudos reportaram que plantas tratadas com o fungo *Penicillium citrillum* desenvolveram um melhor comprimento do caule e a raiz; atividade que foi atribuída à alta presença de giberlinas (Khan et al., 2008; Waqas et al., 2015). As Giberlinas são uma família de fitohormônios vegetais diterpenoides provenientes de processos



metabolitos das plantas, e sua produção pode ser estimulada em presença de microrganismos. Estes fitohormônios são bem conhecidas por serem estimuladoras de crescimento em algumas espécies de plantas e principalmente do caule (Nishijima et al., 1994; Khan et al., 2008). Além, tem sido reportado que os *P. citrinum* tem a capacidade de solubilizar fosforo inorgânico do solo fazendo-o mais disponíveis para a planta (Mittal et al., 2008; Chouhan et al., 2022). Mais recentemente reportou que o *P. citrillum* além de produzir fitohormônios ácido índol acético (auxina) e outras citocininas estimula a produção do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico e desaminasse (solubiliza fosfato) e sideróforos (solubizador de ferro) (Gu et al., 2023; Jaiswal et al., 2023).

Porém o *Purpureocillium lilacinum* e *Penicillium citrillum* foram os que mais contribuíram no crescimento do caule, o diâmetro deste foi maior em todos os outros tratamentos, exceto quando tratado com *P. citrillum*. Este crescimento do diâmetro pode estar relacionado com a produção de fitohormônios destes fungos (Khan et al., 2008; Khan e Tanaka, 2023); sem deixar de destacar a especificidade destes fungos a determinadas espécies de plantas. Já o comprimento da raiz foi incrementado quando a soja foi tratada com *Aureobasidium melanogenum*, *Penicillium* sp, *Chaetonium* sp, *Aspergillus* sp, *Penicillium citrinum* e *Trichoderma* sp. Resultados que concordam com outros estudos (Wakelin et al., 2004; Khan et al., 2008; Doni et al., 2014; Islam et al., 2014; Pandya et al., 2018; Tian et al., 2022; Gu et al., 2023) e atribuem estas propriedades a sua capacidade de estimular e regular a produção de mediante uma complexa biossíntese do metabolismo de fitohormônios vegetais. Estes incrementos no crescimento da raiz das plantas são de extrema importância nas culturas de climas cálidos devido à possibilidade de tolerar mais stress abióticos principalmente o hídrico.

A massa das partes aéreas da soja e a massa radicular também foram incrementados quando tratados com determinados fungos endofíticos. Porém este incremento nem sempre esteve associado ao incremento do comprimento aéreo ou radicular ou do diâmetro do caule. Similares resultados foram reportados em plantas de beringela *Solanum melongena* quando tratada com o



fungo Purpureocillium lilacinum (Khan e Tanaka, 2023) ou nabo *Brassica rapa* quando tratado com *Penicillium citrinum* (Gu et al., 2023). Assim nossos resultados revelam o potencial dos fungos endofíticos como promotores de crescimento, o que pode ser de interesse na procura na biotecnologia agrícola para reduzir o efeito nas plantas de estresse abiótico.



REFERENCIAS

BARNETT, H.; HUNTER, B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. Minneapolis, Burgess Publishing Company., v+241 pp, 1972.

BARON, N. C.; DE SOUZA POLLO, A.; RIGOBELLO, E. C. *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. **PeerJ**, v. 8, p. e9005, ISSN 2167-8359. 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.9005>

CARROLL, G. Fungal endophytes in stems and leaves: From latent pathogen to mutualistic symbiont. **Ecology**, v. 69, n. 1, p. 2-9, ISSN 0012-9658. 1988. <https://doi.org/10.2307/1943154>

CHOUHAN, S.; AGRAWAL, L.; PRAKASH, A. Amelioration in traditional farming system by exploring the different plant growth-promoting attributes of endophytes for sustainable agriculture. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 2, p. 151, ISSN 1432-072X. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02637-4>

DE SOUZA FERREIRA, T. P. et al. Prospecção de fungos Endofíticos isolados de plantas cultiváveis e não cultiváveis e seus efeitos na quebra de dormência de sementes de capim *Andropogon* L. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 43, p. 716-733, ISSN 1988-5245. 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n43-015>

DONI, F. et al. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. **AMB Express**, v. 4, n. 1, p. 45, ISSN 2191-0855. 2014. <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0045-8>

FAETH, S. H. Are endophytic fungi defensive plant mutualists? **Oikos**, v. 98, n. 1, p. 25-36, ISSN 0030-1299. 2002. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980103.x>

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. Retrieved January 28, 2023, from 2023.

GU, K. et al. *Penicillium citrinum* provides transkingdom growth benefits in choy sum (*Brassica rapa* var. parachinensis). **Journal of Fungi**, v. 9, n. 4, p. 420, ISSN 2309-608X. 2023. <https://doi.org/10.3390/jof9040420>

HERNÁNDEZ-LEAL, T. I.; CARRIÓN, G.; HEREDIA, G. Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. **Agrociencia**, v. 45, n. 8, p. 881-892, ISSN 1405-3195. 2011.

HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1, p. 1-18, ISSN 1573-5036. 2008. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>



HU, S.; LIU, C.; LIU, X. The beneficial effects of soybean proteins and peptides on chronic diseases. **Nutrients**, v. 15, n. 8, p. 1811, ISSN 2072-6643. 2023. <https://doi.org/10.3390/nu15081811>

IBANDA, A. P. et al. Combining ability and heritability of soybean resistance to groundnut leaf miner. **Euphytica**, v. 214, n. 10, p. 192, ISSN 1573-5060. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2271-7>

ISLAM, S. et al. Chilli rhizosphere fungus *Aspergillus* spp. PPA1 promotes vegetative growth of cucumber (*Cucumis sativus*) plants upon root colonisation. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 10, p. 1231-1238, ISSN 0323-5408. 2014. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.837633>

JAISWAL, S.; OJHA, A.; MISHRA, S. K. Assessment of plant growth-promoting parameters of endophytes isolated from *Calotropis procera* and their performance under irrigated and non-irrigated conditions. **Current Microbiology**, v. 81, n. 1, p. 49, ISSN 1432-0991. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03570-z>

JAROSZUK-ŚCISEŁ, J.; KUREK, E.; TRYTEK, M. Efficiency of indoleacetic acid, gibberellic acid and ethylene synthesized in vitro by *Fusarium culmorum* strains with different effects on cereal growth. **Biologia**, v. 69, n. 3, p. 281-292, ISSN 1336-9563. 2014. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0328-6>

JOHNSON, K. V. H. et al. Food and nutritional security: Innovative approaches for improving micronutrient use efficiency in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) under hostile soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 56-70, ISSN 0718-9516. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01025-1>

KHAN, M.; TANAKA, K. *Purpureocillium lilacinum* for plant growth promotion and biocontrol against root-knot nematodes infecting eggplant. **PLoS One**, v. 18, n. 3, p. e0283550. 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283550>

KHAN, S. A. et al. Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. **BMC Microbiology**, v. 8, n. 1, p. 231, ISSN 1471-2180. 2008. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-8-231>

KIM, W. J. et al. Quantitative trait loci (QTL) analysis of seed protein and oil content in wild soybean (*Glycine soja*). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 4, p. 4077, ISSN 1422-0067. 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms24044077>

KUNKEL, B. N.; HARPER, C. P. The roles of auxin during interactions between bacterial plant pathogens and their hosts. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 245-254, ISSN 0022-0957. 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx447>



MELO, G. B. et al. Foliar application of biostimulant mitigates water stress effects on soybean. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 414, ISSN 2073-4395. 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030414>

MILAZZO, M. F. et al. Sustainable soy biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 806-852, ISSN 1364-0321. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.031>

MITTAL, V. et al. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 3, p. 718-727, ISSN 0038-0717. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.10.008>

MORENO-SALAZAR, R. et al. Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108950, ISSN 0304-4238. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>

NIETO-JACOBO, M. F. et al. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, ISSN 1664-462X. 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>

NISA, H. et al. Fungal endophytes as prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products: A review. **Microbial Pathogenesis**, v. 82, p. 50-59, ISSN 0882-4010. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2015.04.001>

NISHIJIMA, T. et al. Endogenous gibberellins and bolting in cultivars of Japanese radish. **Plant Bioregulators in Horticulture** 394, p. 199-206, ISSN 9066054867. 1994. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.394.20>

PANDYA, N. D. et al. Plant growth promoting potential of *Aspergillus* sp. NPF7, isolated from wheat rhizosphere in South Gujarat, India. **Environmental Sustainability**, v. 1, n. 3, p. 245-252, ISSN 2523-8922. 2018. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0025-z>

QIN, P.; WANG, T.; LUO, Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100265, ISSN 2666-1543. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>

RAMLAL, A. et al. Androgenesis in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): a critical revisit. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 60, n. 1, p. 1-15, ISSN 1475-2689. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10402-z>



RANI, R. et al. Genetic diversity and population structure analysis in cultivated soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using SSR and EST-SSR markers. **PLOS ONE**, v. 18, n. 5, p. e0286099. 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286099>

TALUKDAR, R. et al. Isolation and characterization of an endophytic fungus *Colletotrichum coccodes* producing tyrosol from *Houttuynia cordata* Thunb. Using ITS2 RNA Secondary Structure and Molecular Docking Study. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, ISSN 2296-4185. 2021. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.650247>

TIAN, Y. et al. Mechanisms in growth-promoting of Cucumber by the endophytic fungus *Chaetomium globosum* strain ND35. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 2, p. 180, ISSN 2309-608X. 2022. <https://doi.org/10.3390/jof8020180>

TURABI, A. B. et al. Optimizing soybean crop performance through the Integrated application of organic and chemical fertilizers: A study on alkaline soil in Afghanistan. **Crops**, v. 4, n. 1, p. 82-94, ISSN 2673-7655. 2024. <https://doi.org/10.3390/crops4010007>

WAKELIN, S. A. et al. Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, n. 1, p. 36-43, ISSN 1432-0789. 2004. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0750-6>

WAQAS, M. et al. Endophytic fungi promote plant growth and mitigate the adverse effects of stem rot: an example of *Penicillium citrinum* and *Aspergillus terreus*. **Journal of Plant Interactions**, v. 10, n. 1, p. 280-287, ISSN 1742-9145. 2015. <https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1079743>

WATANABE, T. Morphologies of cultured fungi and key to species. **Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi**, v. 362, 2002. <https://doi.org/10.1201/9781420040821>

WILSON, D. Endophyte: The evolution of a term, and clarification of its use and definition. **Oikos**, v. 73, n. 2, p. 274-276, ISSN 00301299, 16000706. 1995. <https://doi.org/10.2307/3545919>

YAN, L. et al. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 8, p. 3327-3340, ISSN 1432-0614. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09713-2>

YAO, Y. Q. et al. Endophytic fungi harbored in the root of *Sophora tonkinensis* Gapnep: Diversity and biocontrol potential against phytopathogens. **MicrobiologyOpen**, v. 6, n. 3, p. e00437, ISSN 2045-8827. 2017. <https://doi.org/10.1002/mbo3.437>

ZHAO, T. et al. Coupling of reduced inorganic fertilizer with plant-based organic fertilizer as a promising fertilizer management strategy for colored rice in tropical



regions. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 93-107, ISSN 2095-3119. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.04.035>

ZHENG, Y.-K. et al. Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. **Annals of Microbiology**, v. 66, n. 2, p. 529-542, ISSN 1869-2044. 2016. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1153-7>