






Crescimento vegetativo de mudas de *Coffea arabica* L. inoculadas com *Trichoderma harzianum* e *Beauveria bassiana*

Vegetative growth of *Coffea arabica* L. seedlings inoculated with *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana*

Ricardo Arizono dos Reis ¹; Flávio Neves Celestino ^{2*}; Jucélia Rodrigues Alves ³;
 Aline Aparecida Martins Rolim ⁴; Simone da Fonseca Pires ⁵

¹Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais, Tumiritinga, ricardo.arizono@gmail.com; ²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu, fincelestino@yahoo.com.br; ³Engenheira Agrônoma, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu, juceliarodriguesmtp@gmail.com; ⁴Engenheira Agrônoma, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu, alinemartins7991@gmail.com; ⁵Ciências Biológicas, Doutora em Bioquímica e Imunologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu, simone.pires@ifsudestemg.edu.br; *Autor correspondente.

ARTIGO

Recebido: 19-12-2023
 Aprovado: 27-02-2024

Palavras-chave:

Caféicultura
 Produção de mudas
 Fungos promotores de crescimento
 Tempo de imersão

RESUMO

Os fungos promotores de crescimento apresentam potencial para serem utilizados na produção de mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar crescimento vegetativo de mudas de café arábica inoculadas com os fungos *Trichoderma harzianum* e *Beauveria bassiana*, e determinar o tempo de imersão das sementes na suspensão dos conídios. As sementes foram imergidas na suspensão de conídios (1×10^7 conídios.mL⁻¹) por 0h, 6h, 12h, 24h, 48h e 96h, constituindo um arranjo fatorial 3 x 6 em blocos casualizados. Foram avaliados: altura da parte aérea, diâmetro do colo, número de pares de folhas, área foliar, comprimento de raiz, massa fresca e seca. O fungo *B. bassiana* promoveu maior altura de plantas nos tempos 0h, 6h e 96h e maior número de pares de folhas nos tempos de 6h e 96h. O fungo *T. harzianum* promoveu menor comprimento de raiz e ao fungo *B. bassiana* no tempo 6h, e em 96h. O fungo *T. harzianum* promoveu maior diâmetro do colo das mudas nos tempos 12h, 48h e 96h. O fungo *B. bassiana* promoveu maior massa fresca de parte aérea comparado ao fungo *T. harzianum*. Não houve diferença significativa entre os demais parâmetros. O tempo de imersão das sementes por 65h promoveu maior área foliar e não há relação com os fungos promotores de crescimento. Deve-se ampliar as pesquisas com os fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*, uma vez que, há indícios de ganhos em determinados parâmetros de crescimento vegetativo, como altura de planta e diâmetro do colo. O tempo de imersão não é um fator determinante no crescimento vegetativo das mudas de café arábica, na presença dos fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*.

ABSTRACT

Growth promoting fungi have the potential to be used in seedling production. The objective of this work was to evaluate the vegetative growth of *Coffea arabica* L. seedlings inoculated with the fungi *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana*, and to determine the immersion time of the seeds in the conidia suspension. The seeds were immersed in the conidia suspension (1×10^7 conidia.mL⁻¹) for 0h, 6h, 12h, 24h, 48h and 96h, constituting a 3 x 6 factorial arrangement in randomized blocks. The following were evaluated: aerial part height, collar diameter, number of pairs of leaves, leaf area, root length, fresh and dry mass. The fungus *B. bassiana* promoted greater plant height at times 0h, 6h and 96h and a greater number of pairs of leaves at times 6h and 96h. The fungus *T. harzianum* promoted shorter root length and the fungus *B. bassiana* at 6h and 96h. The fungus *T. harzianum* promoted greater diameter of the seedling neck at 12h, 48h and 96h. The fungus *B. bassiana* promoted greater fresh mass of aerial parts compared to the fungus *T. harzianum*. There was no significant difference between the other parameters. The 65h seed immersion time promoted greater leaf area and there is no relationship with growth promoting fungi. Research with the fungi *B. bassiana* and *T. harzianum* should be expanded, since there is evidence of gains in certain vegetative growth parameters, such as plant height and stem diameter. The immersion time is not a determining factor in the vegetative growth of Arabica coffee seedlings, in the presence of the fungi *B. bassiana* and *T. harzianum*.

Key words:

Coffee farming
 Seedling production
 Growth promoting fungi
 Immersion time

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo responsável por 27,6% das exportações mundiais de café arábica, o que o caracteriza como maior exportador do grão (OIC, 2023). A espécie *Coffea arabica* L. é a mais cultivada, sendo responsável por, aproximadamente, 70,2% da produção nacional na safra de 2023. Dentre os Estados brasileiros, Minas Gerais destaca-se como maior produtor de café (CONAB, 2023).

Nos últimos 10 anos, as áreas cultivadas com café no Brasil têm apresentado redução, porém a produção tem sido compensada pelo aumento da adoção de novas tecnologias na cafeicultura (CONAB, 2023). Os novos sistemas de cultivos têm empregado espaçamentos mais adensados, fertilizantes mais eficientes, controle biológico de pragas e doenças, estratégias diferenciadas para o manejo de plantas daninhas, novas cultivares, bem como, o uso de drones e da mecanização visando maiores produtividades (CELESTINO et al., 2020; MATIELLO et al., 2020; BARBOSA et al., 2021; RESENDE et al., 2021; FREITAS et al., 2022). Entretanto, além do potencial genético da cultivar, a sanidade e o alto vigor das mudas são importantes para o sucesso na implantação e formação da lavoura cafeeira. Esses aspectos são fundamentais para o rápido estabelecimento do cafeeiro no campo, aumentando a capacidade desta em competir com plantas daninhas, pragas e doenças (MATIELLO et al., 2020).

Além da renovação dos cafezais demandar mudas de qualidade, nos novos sistemas agrícolas há uma crescente preocupação com os aspectos de sustentabilidade. Neste contexto, de forma holística destacam-se cinco grandes desafios da agricultura do século 21: manter ou melhorar a produtividade agrícola, produzir alimentos saudáveis, reduzir os impactos negativos da agricultura no ecossistema e na saúde humana, garantir a viabilidade econômica das fazendas e adaptar a agricultura às mudanças climáticas (DEGUINE et al., 2023). Para enfrentar os desafios supracitados uma abordagem poderosa pode ser a Proteção Agroecológica de Culturas (PAC). A PAC é a aplicação dos princípios da agroecologia à proteção de cultivos, a fim de promover mudanças virtuosas e sustentáveis na agricultura e nos sistemas alimentares (DEGUINE et al., 2021). Além disso, a PAC é construída sobre dois pilares, a biodiversidade (aérea e edáfica) e a saúde do solo, a fim de tornar o agroecossistema menos suscetível a estresses bióticos e abióticos.

Nesses sistemas agrícolas torna-se cada vez mais importante a adoção de agentes de controle biológicos visando o manejo de pragas e doenças. Dentre estes agentes, os fungos do gênero *Trichoderma* e *Beauveria*, que têm a capacidade de colonizar os tecidos internos do cafeeiro estabelecendo uma relação endofítica complexa, têm sido amplamente estudados (POSADA; VEGA, 2006; PARSA et al., 2013; DUONG et al., 2020). O fungo *Trichoderma* spp. é um importante agente de controle biológico, uma vez que, reduzem a presença de fitopatógenos no agroecossistema (MELLO et al., 2020; SOOD et al., 2020). Além disso, estes fungos apresentam papel relevante na promoção de crescimento das plantas hospedeiras, não apenas pela eficiência como agente de controle biológico, mas também porque a endossimbiose pode otimizar a absorção de nutrientes, solubilizar fosfatos, produzir fitohormônios como a auxina, produzir sideróforos e promover o aumento da resistência a salinização (OLIVEIRA et al., 2012;

SARAVANAKUMAR et al., 2013; CONTRERAS-CORNEJO et al., 2014, SOOD et al., 2020).

Os fungos entomopatogênicos, reconhecidos pelo grande potencial no controle biológico de pragas, tem apresentado outras funções ecossistêmicas, como antagonistas de fitopatógenos e promotores do crescimento vegetal, atuando no desenvolvimento e na absorção de nutrientes como, nitrogênio e fósforo (VEGA, 2018; QUESADA-MORAGA, 2020; BARON; RIGOBELLO, 2022). Dentre os fungos entomopatogênicos que apresentam a funções supracitas destaca-se o gênero *Beauveria*. Os estudos dos fungos deste gênero como agentes promotores de crescimento vegetal são relativamente recentes, e apresentaram resultados promissores para culturas como algodão, feijão comum, feijão-fava, mandioca, café conilon (BEHIE; BIDOCHKA, 2014; LOPEZ; SWORD, 2015; GREENFIELD et al., 2016; JABER; ENKERLI, 2016; ALVES et al., 2023). Esses microrganismos poderão contribuir para a obtenção de mudas de café arábica sadias e de qualidade, reduzindo a utilização de agrotóxicos durante o processo de produção. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo de mudas de café arábica inoculadas com os fungos *T. harzianum* e *B. bassiana*, bem como, determinar o tempo de imersão das sementes na suspensão dos conídios.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos meses de janeiro à junho de 2022, em casa de vegetação, na fazenda Santa Maria, em Matipó – MG, nas coordenadas geográficas de latitude 20°16'13.19"S e longitude 42°21'19.61"O, altitude de 666 m. As mudas foram cobertas com tela de sombreamento, cor preta (redução de 50% da luminosidade).

Para a realização do experimento foi utilizada a cultivar de café arábica, Acauã Amarelo. Foram utilizados os fungos promotores de crescimento *T. harzianum* e *B. bassiana*, obtidos das formulações comerciais, Trichodermil® SC (Isolado: Esalq 1306; Ingrediente ativo: 2 x 10⁹ conídios viáveis/mL; Koppert Brasil, Piracicaba, SP) e Boveril® WP (Isolado: CEPA ESALQ PL63; Ingrediente ativo: 1 x 10⁸ conídios viáveis/g; Koppert Brasil, Piracicaba, SP). Foi realizado a desinfestação da superfície das sementes de café por embebição em hipoclorito de sódio (NaClO) à 0,5% (v/v) durante 2 minutos, posteriormente por embebição em etanol a 70% por 2 minutos, logo em seguida, as sementes foram enxaguadas e lavadas cuidadosamente em água destilada estéril por três vezes (POSADA; VEGA, 2006). Para inoculação dos fungos foi realizado a imersão de sementes em suspensão de conídios em diferentes tempos (0h; 6h; 12h; 24h; 48h e 96h), para o tratamento de 0h as sementes foram imersas e retiradas logo em seguida. Para cada formulado comercial, foi preparado uma suspensão com concentração de 1 x 10⁷ conídios mL⁻¹ e adicionado Tween® 80 PS a 0,05% (v/v). Para a testemunha foi utilizado água com adição de Tween® 80 PS à 0,05% (v/v) nas mesmas condições dos tratamentos anteriores.

Para a produção das mudas, foi utilizado substrato padrão, constituído de terra de barranco, esterco, superfosfato simples e cloreto de potássio (RIBEIRO et al., 1999). O substrato foi desinfestado por solarização (GHINI, 2004). Foram utilizados sacos de polietileno perfurados, com dimensões de 10 x 20 cm. Foram semeadas duas sementes por saco na profundidade de 1 cm. Em seguida, as sementes foram

cobertas com uma fina camada de substrato comercial estéril. Após 60 dias da realização da sementeira, uma das plântulas foi eliminada, permanecendo apenas uma planta por saco.

Aos 180 dias após a sementeira foi medida a altura da parte aérea, com régua milimétrica, o diâmetro do colo, medido ao nível do substrato com a utilização de um paquímetro. Foram computados o número de pares de folhas verdadeiras, e determinada a área foliar a partir do somatório dos produtos das medições da largura por comprimento de uma folha de cada par multiplicado por $0,667 \times 2$ (par de folhas), proposta por Barros et al. (1973), com os resultados expressos em cm^2 . Posteriormente as plantas foram levadas para laboratório onde as raízes foram lavadas com água corrente usando uma peneira de 0,5 mm de diâmetro e, após esse procedimento, foram determinados a massa fresca (g) (raiz e parte aérea), obtido utilizando balança analítica com precisão de 0,001g, e o comprimento de raiz (cm), com auxílio de uma régua milimétrica. As determinações das massas seca (g) foram efetuadas após as amostras passarem por estufa de circulação de ar forçada à 70°C por 72 horas.

Cada parcela experimental foi constituída por 20 mudas de cafeeiro dispostas em cinco fileiras de quatro mudas, sendo que as seis mudas centrais constituíram a parcela experimental útil. Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial 3×6 (Fungo promotor de crescimento: *T. harzianum*, *B. bassiana* e Controle; Tempo de imersão: 0h; 6h; 12h; 24h; 48h e 96h) num delineamento em blocos casualizados, com 5 repetições. A partir das interações foram obtidos 18 tratamentos, totalizando 90 parcelas. Os dados de crescimento vegetativo foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para verificar a influência do tempo de imersão os dados foram submetidos à análise de regressão, ao nível de 5% significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das mudas de café arábica, apresentou interação significativa entre os fatores fungos promotores de crescimento (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) e tempo de imersão das sementes (0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h). Desta forma, foram

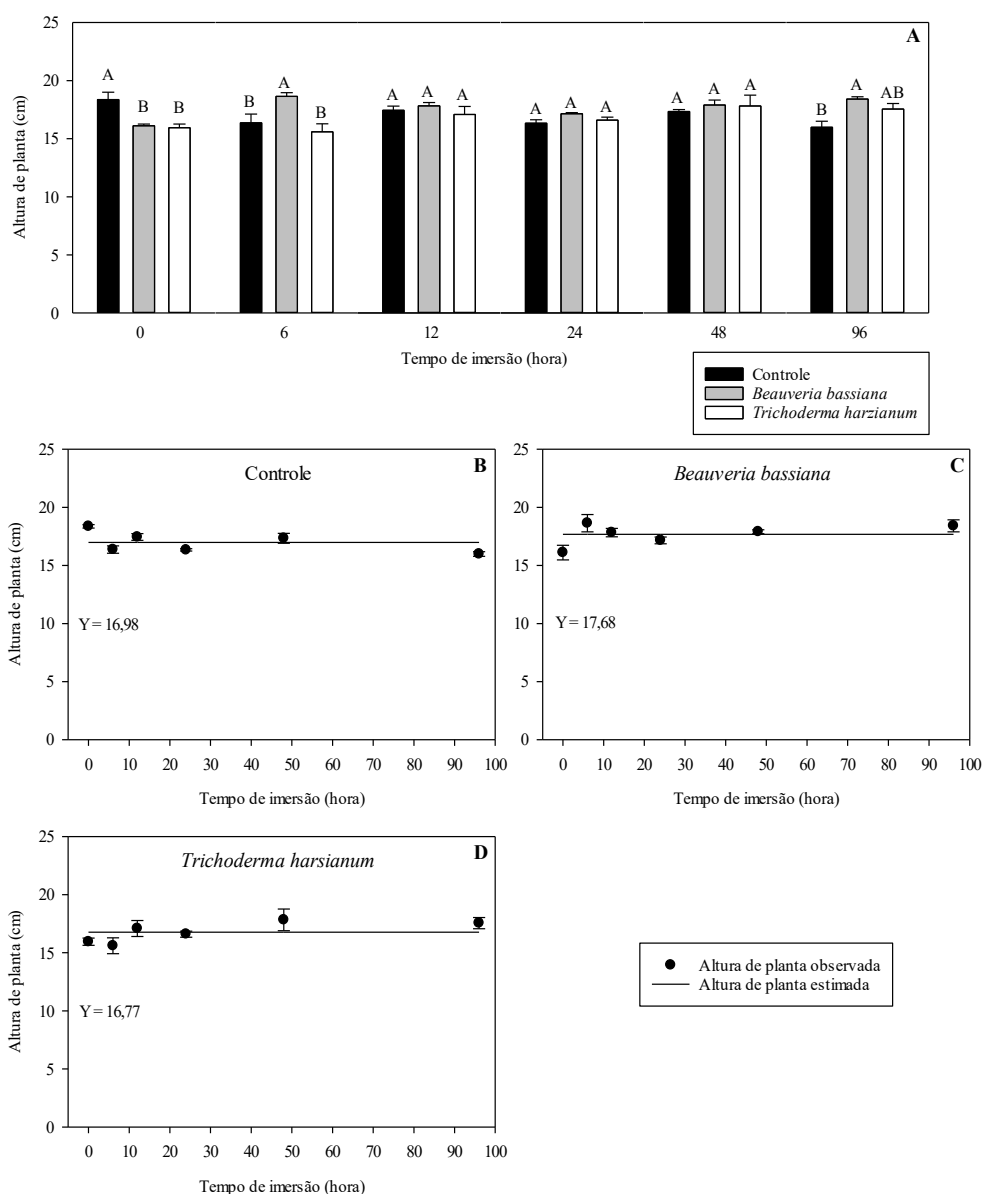


Figura 1. Altura de plantas de mudas de café arábica, produzidas a partir de sementes inoculadas com água (controle), *Beauveria bassiana* e *Trichoderma harzianum* submetidas a diferentes tempos de imersão (0, 6, 12, 24, 48 e 96h). ^ABarra (\pm EP) sob diferentes letras maiúsculas, dentro de cada tempo de imersão, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{B,C,D}Regressão não significativa.

analisados os desdobramentos do fator fungos promotores de crescimento em cada nível de tempo de imersão das sementes (Figura 1A). No tempo 0 hora, em que as sementes de café arábica foram imergidas na suspensão de conídios dos fungos promotores de crescimento e retiradas logo em seguida, o controle apresentou maior altura de planta, sendo 12,3% maior que os demais tratamentos (Figura 1A). Contudo, as mudas de café arábica, obtidas a partir de sementes imersas por 6 horas em suspensão de conídios de *B. bassiana*, apresentaram altura de planta 16,3% maior que o controle (Figura 1A). Para os tempos de imersão das sementes de café arábica na suspensão dos conídios dos fungos promotores de crescimento por 12, 24 e 48 horas, não houve diferença entre os tratamentos (Figura 1A). Já para o tempo de imersão das sementes de café arábica na suspensão de conídios por 96 horas, não houve diferença entre os fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*, porém, em relação ao controle, *B. bassiana* promoveu altura de planta 13,14% maior (Figura 1A). Quando analisados os desdobramentos do

fator tempo de imersão dentro de cada nível do fator fungos promotores de crescimento, a altura de planta das mudas de café arábica, promovida pelo controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*, não se ajustaram a um modelo, ou seja, mantiveram-se constante em função do tempo de imersão das sementes (Figura 1B, 1C e 1D).

O comprimento de raiz das mudas de café arábica também apresentou interação significativa entre fungos promotores de crescimento (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) e tempo de imersão das sementes (0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h). Desse modo, foi analisado os desdobramentos do fator fungos promotores de crescimento dentro de cada nível de tempo de imersão das sementes de café arábica (Figura 2A). No tempo 0 hora, em que as sementes de café arábica foram imersas na suspensão de conídios e retiradas logo após a imersão, não houve diferença significativa entre os tratamentos (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) (Figura 2A). Já para

imersão por 6 horas das sementes de café arábica em suspensão de conídios dos fungos promotores de crescimento observou-se que o controle e o fungo *B. bassiana* não diferiram entre si, e apresentaram maior comprimento de raiz (24,5 cm e 23,4 cm, respectivamente) em relação ao fungo *T. harzianum* (21,5 cm) (Figura 2A). Para os tempos de imersão das sementes de café arábica em suspensão de conídios de fungos promotores de crescimento por 12, 24 e 48 horas, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2A). Contudo, para imersão das sementes de café arábica, por 96 horas, em suspensão de conídios de fungos promotores de crescimento, o controle apresentou maior comprimento de raiz (24,5 cm) em relação ao fungo *T. harzianum* (22,5 cm). Adicionalmente, na imersão por 96h o fungo *B. bassiana* (23,2 cm) não diferiu do controle e do fungo *T. harzianum* (Figura 2A).

Quando analisados os desdobramentos do fator tempo de imersão das sementes de café arábica dentro de cada nível do

fator fungos promotores de crescimento, observou-se que para o controle e para o fungo *T. harzianum*, o comprimento de raiz das mudas de café arábica, não se ajustou a um modelo, mantendo-se constante em função do tempo de imersão (Figura 2B e 2D). Porém, quando as sementes de café arábica foram imersas na suspensão de conídios do fungo *B. bassiana*, o comprimento de raiz das mudas, ajustou-se a um modelo quadrático, observando-se redução em função do tempo de imersão das sementes até 57 horas de imersão aproximadamente, e posteriormente, tendência de aumento do comprimento de raiz (Figura 2C).

Para mudas de café conilon, onde os fungos *T. harzianum*, *B. bassiana* e *M. anisopliae* foram inoculados via solo e foliar, não houve aumento no comprimento de raiz (ALVES et al., 2023). Por outro lado, para a cultura do pimentão (*Capsicum annuum*) observou-se maior comprimento do sistema radicular, quando o fungo *B. bassiana* (1×10^7 conídios mL⁻¹) foi aplicado no substrato, diferentemente do observado para as mudas de café arábica (JABER; ARAJ, 2018). Do mesmo

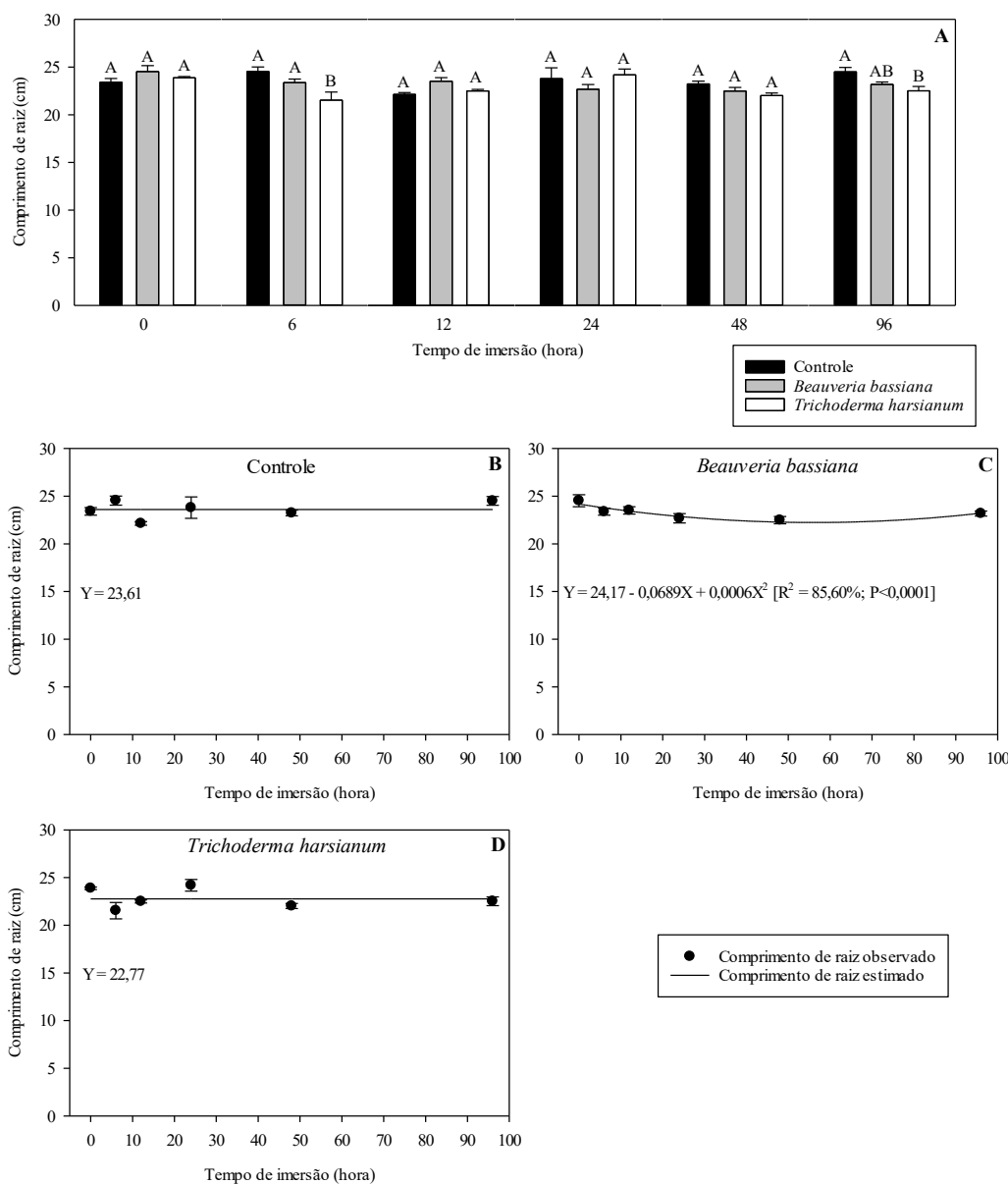


Figura 2. Comprimento de raiz de mudas de café arábica, produzidas a partir de sementes inoculadas com água (controle), *Beauveria bassiana* e *Trichoderma harzianum* submetidas a diferentes tempos de imersão (0, 6, 12, 24, 48 e 96h). ^ABarra (± EP) sob diferentes letras maiúsculas, dentro de cada tempo de imersão, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{B,D}Regressão não significativa ($p \leq 0,05$). ^CRegressão significativa.

modo também se observou maior comprimento do sistema radicular de plântulas de soja (*Glycine max* L.) inoculadas com *Trichoderma* spp. (1×10^8 conídios. mL⁻¹) quando incorporado ao substrato esterilizado (MILANESI et al., 2013). Entretanto, para feijão fava, mesmo este sendo inoculado via semente como o fungo *B. bassiana* (1×10^7 conídios mL⁻¹), observou-se aumentos significativos no comprimento da raiz primária. Assim sendo, observa-se que o método de inoculação é fator importante, devendo ser melhor estudado no caso da produção de mudas de café arábica.

O diâmetro do colo das mudas de café arábica, apresentou interação significativa entre os fatores fungos promotores de crescimento (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) e tempo de imersão das sementes de café arábica. Desse modo, foram analisados os desdobramentos do fator fungos promotores de crescimento em cada nível do fator tempo de imersão das sementes (Figura 3A). Na imersão das sementes de café arábica por 0, 6 e 24 horas não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3A). Contudo, as mudas de café arábica obtidas a partir de sementes imersas em suspensão de conídios de *T. harzianum* por 12, 48 e 96 horas apresentaram diâmetro do caule 10,3%, 11,1% e 14,2% maior que o controle, respectivamente, (Figura 3A). Entretanto, os tratamentos anteriormente citados, não diferiram do fungo, *B. bassiana* (Figura 3A). Quando analisados os desdobramentos do fator tempo de imersão das sementes de café arábica dentro de cada nível do fator de fungos promotores de crescimento, para o controle o diâmetro do colo das mudas de café arábica se ajustou ao modelo linear, observando-se redução em função do tempo de imersão das sementes (Figura 3B). Entretanto, para os fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*, o diâmetro do caule das mudas de café arábica não se ajustou, mantendo-se constante em função do tempo de imersão (Figura 3C e 3D).

Para mudas de café conilon, onde os fungos *T. harzianum*, *B. bassiana* e *M. anisopliae* foram inoculados via solo e foliar, não houve aumento no diâmetro do colo das mudas (ALVES et al., 2023). Entretanto, para mudas de açaí inoculadas com *Trichoderma* spp., independente dos métodos

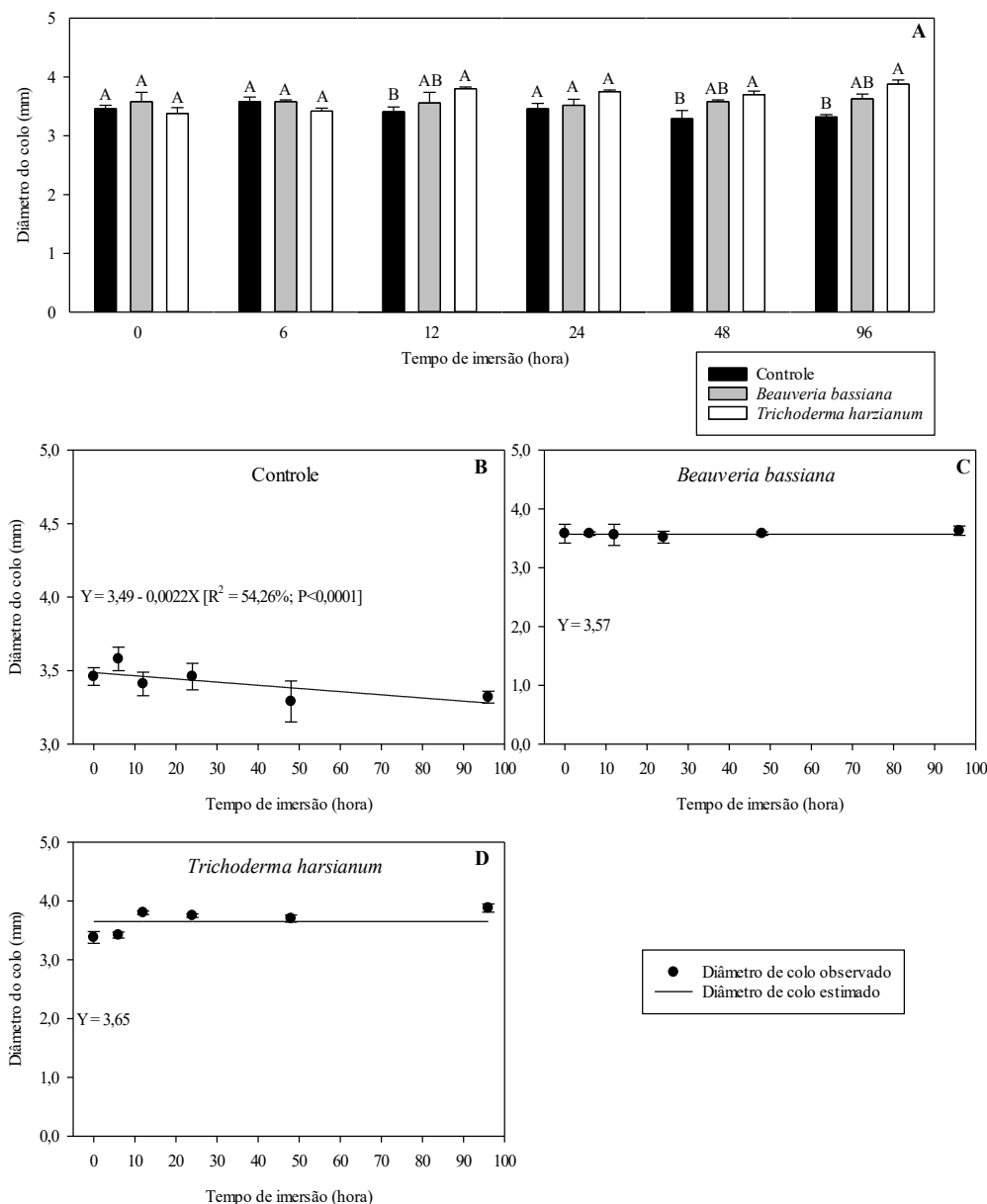


Figura 3. Diâmetro do colo de mudas de café arábica, produzidas a partir de sementes inoculadas com água (controle), *Beauveria bassiana* e *Trichoderma harzianum* submetidas a diferentes tempos de imersão (0, 6, 12, 24, 48 e 96h). ^ABarra (\pm EP) sob diferentes letras maiúsculas, dentro de cada tempo de imersão, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^BRegressão significativa ($p \leq 0,05$). ^{C,D}Regressão não significativa.

de inoculação via semente ou substrato, houve aumento do diâmetro do colo (CAMPOS et al., 2020). Resultado semelhante foi obtido para eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) inoculado com *T. virens* e *T. harzianum* (1×10^8 conídios mL⁻¹) via substrato e foliar, onde observou-se aumento do diâmetro do colo das plantas (AZEVEDO et al., 2017).

O número de pares de folhas das mudas de café arábica não apresentou interação significativa entre os fatores fungos promotores de crescimento (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) e tempo de imersão das sementes, por essa razão os fatores foram analisados isoladamente (Figura 4A e 4B). Quando se analisou isoladamente o fator fungos promotores de crescimento, as mudas obtidas a partir de sementes imersas em suspensão de conídios de *B. bassiana* apresentaram maior número de pares de folhas (4,8 pares) em relação aos demais tratamentos (Figura 4A). Por outro lado, o número de pares de

folhas das mudas de café arábica obtida a partir de sementes imersas em suspensão de conídios de *T. harzianum* (4,62 pares) não diferiu do controle (4,65 pares) (Figura 4A). Entretanto, quando se analisou isoladamente o fator tempo de imersão das sementes de café arábica, observou-se que o número de pares de folhas não se ajustou a um modelo, mantendo-se constante em função do tempo de imersão (Figura 4B).

A área foliar das mudas de café arábica, não apresentou interação significativa entre os fatores fungo promotor de crescimento (controle, *B. bassiana* e *T. harzianum*) e tempo de imersão das sementes (0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h), desta forma, estes foram analisados isoladamente (Figura 4C e 4D). Assim sendo, quando se analisou isoladamente o fator fungo promotor de crescimento, a área foliar das mudas de café arábica obtida a partir das sementes imersas na suspensão de conídios dos fungos promotores de crescimento (*B. bassiana* e *T. harzianum*) não diferiram do controle (Figura 4C). Contudo, ao se analisar o tempo de imersão isoladamente, a área foliar das mudas de café arábica se ajustou ao modelo quadrático, sendo o melhor o tempo de imersão estimado em,

aproximadamente, 65 horas ($R^2 = 82,90\%$; $P < 0,0001$) (Figura 4D). O que indica que a imersão das sementes de café arábica em água pode melhorar a qualidade das mudas em relação a este parâmetro.

Para mudas de café conilon, onde os fungos *T. harzianum* e *B. bassiana* foram inoculados via solo e foliar, também, houve aumento do número de pares de folhas, contudo, a área foliar não foi alterada, semelhante ao observado para as mudas de café arábica (ALVES et al., 2023). Para o feijão fava, inoculado com *B. bassiana*, via sementes e foliar, também se observou maior número de pares de folhas (JABER; ENKERLI, 2016; JABER; ENKERLI, 2017). Do mesmo modo, mudas de pimentão inoculado com o *B. bassiana* via substrato apresentaram maior número de pares de folhas (JABER; ARAJ, 2018). Desta forma, é importante que as pesquisas considerem as espécies e isolados dos fungos, a concentração de conídios e os métodos de inoculação visando determinar a melhor forma de aplicação dos fungos promotores do crescimento.

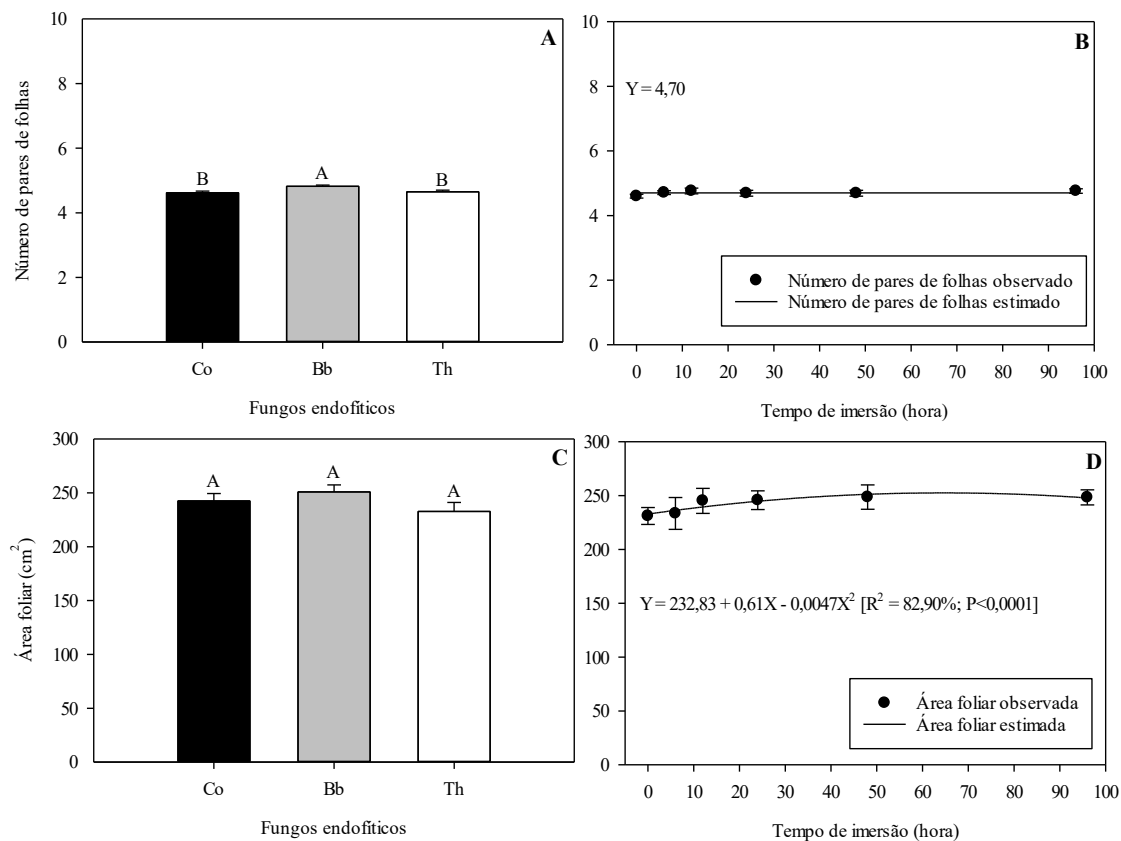


Figura 4. Número de pares de folha e área foliar de mudas de café arábica, produzidas a partir de sementes inoculadas com água (controle) (Co), *Beauveria bassiana* (Bb) e *Trichoderma harzianum* (Th) submetidas a diferentes tempos de imersão (0, 6, 12, 24, 48 e 96h). ^{A,C}Barra (\pm EP) sob diferentes letras maiúsculas, dentro de cada tempo de imersão, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^BRegressão não significativa. ^DRegressão significativa ($p \leq 0,05$).

A massa fresca e seca de raiz e parte aérea das mudas de café arábica não apresentou interação significativa entre os fatores, desse modo, cada fator foi analisado isoladamente (Figura 5). Assim sendo, quando se analisou isoladamente o fator fungo promotor de crescimento, a massa fresca e seca de raiz e a massa seca de parte aérea das mudas de café arábica obtida a partir das sementes imersas na suspensão de conídios dos fungos promotores de crescimento (*B. bassiana* e *T. harzianum*) não diferiram do controle (Figura 5A, 5E e 5G). Porém, para massa fresca de parte aérea das mudas de café

arábica, foi observado maior valor quando as sementes foram inoculadas com *B. bassiana* em relação à *T. harzianum*, entretanto, estes não diferiram do controle (Figura 5C). Contudo, ao se analisar o tempo de imersão isoladamente, a massa fresca e seca de raiz e a massa seca de parte aérea das mudas de café arábica não se ajustaram a um modelo, mantendo-se constante em função do tempo de imersão das sementes (Figura 5B, 5F e 5H). Diferentemente dos parâmetros anteriores, a massa fresca de parte aérea das mudas de café arábica se ajustou ao modelo linear, com aumento desse

parâmetro em função do tempo de imersão das sementes ($R^2 = 57,48\%$; $P < 0,0001$) (Figura 5D).

Diferentemente do resultado encontrado para mudas de café arábica, em mudas de café conilon, os fungos *T. harzianum* e *B. bassiana* inoculados via solo e foliar, promoveram maior massa fresca e seca de parte aérea (ALVES et al., 2023). Para a cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*), também foi observado maior massa seca de raiz e de parte aérea, quando as sementes foram inoculadas com *B. bassiana* (1×10^6 e 1×10^7 conídios. mL^{-1}) por imersão por 24 h (LOPEZ; SWORD, 2015). Isolados de *Trichoderma*, inoculados via solo, também aumentaram a matéria seca em feijão-caupi (SILVA et al., 2022).

Os mecanismos de ação dos fungos promotores de crescimento são específicos e complexos, desse modo, estes mecanismos podem variar conforme diversos fatores como: substrato, disponibilidade de nutrientes, presença de outros microrganismos, isolados dos fungos e método de inoculação, o que pode justificar a variação nos resultados obtidos nos diversos trabalhos realizados (JABER; ENKERLI, 2016; AFANDHI et al., 2019; BARON; RIGOBELLO, 2022). Dentro deste contexto, o método de inoculação via imersão das sementes de café arábica, apesar de operacionalmente viável, pode não ser o mais eficiente para esta cultura, visto o longo período para ocorrer a germinação das plântulas de café, o que pode comprometer a relação simbiótica entre os fungos promotores de crescimento e as mudas de café arábica pelo comprometimento da permanência dos microrganismos no agroeossistema. Desse modo, outras formas de inoculação como a incorporação no substrato em pré-plantio no caso do *Trichoderma* spp. combinada com aplicações periódicas no solo, como o realizado por Campos et al. (2020), ou ainda pulverizações foliares como o realizado por Jaber e Enkerli (2017), devem ser estudadas. Diante da complexidade da interação destes microrganismos na relação mutualística, estudos considerando condições de estresse biótico ou abiótico, podem ser importantes, por conferirem maior proteção às plantas nestas

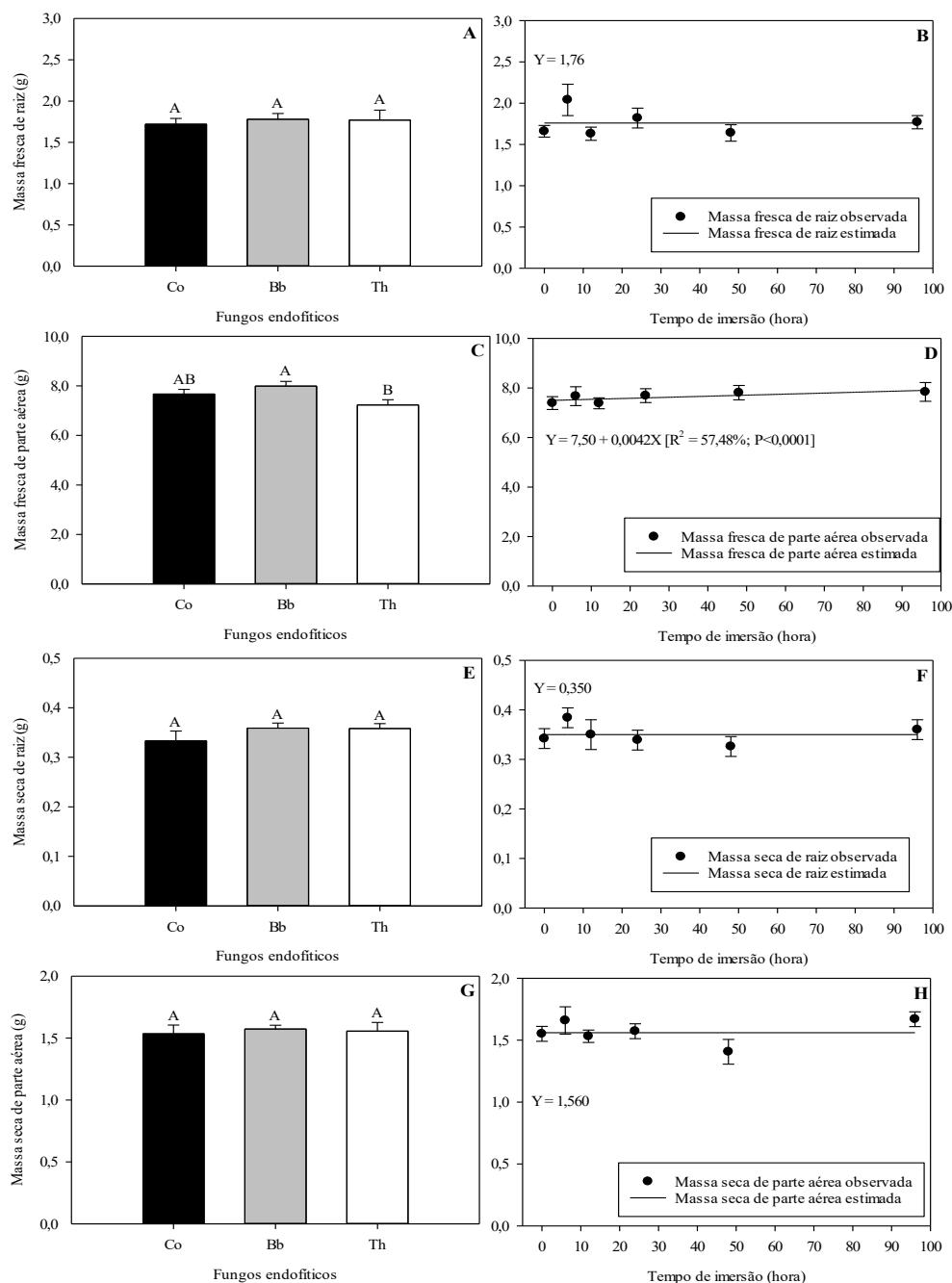


Figura 5. Massa seca e fresca de raiz e massa fresca e seca de parte aérea de mudas de café arábica, produzidas a partir de sementes inoculadas com água (controle), *Beauveria bassiana* e *Trichoderma harzianum* submetidas a diferentes tempos de imersão (0, 6, 12, 24, 48 e 96h). ^{A,C,E,G}Barra (\pm EP) sob diferentes letras maiúsculas, dentro de cada tempo de imersão, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{B,F,H}Regressão não significativa. ^DRegressão significativa ($p \leq 0,05$).

condições (CONTRERAS-CORNEJO et al., 2014; ZITLALPOPOCA-HERNANDEZ et al., 2017; GANA et al., 2022).

CONCLUSÕES

Deve-se ampliar as pesquisas com os fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*, uma vez que, há indícios de ganhos em determinados parâmetros de crescimento vegetativo, como altura de planta e diâmetro do colo. O tempo de imersão não é um fator determinante no crescimento vegetativo das mudas de café arábica, na presença dos fungos *B. bassiana* e *T. harzianum*.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG) pelo apoio financeiro para esta pesquisa e à Koppert Biological Systems Brasil pela parceria.

REFERÊNCIAS

- AFANDHI, A.; WIDJAYANTI, T.; EMI, A. A. L.; TARNO, H.; AFIYANTI, M.; HANDOKO, R. N. S. Endophytic fungi *Beauveria bassiana* Balsamo accelerates growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 6, n. 11, p. 1-6, 2019. [10.1186/s40538-019-0148-1](https://doi.org/10.1186/s40538-019-0148-1).
- ALVES, J. R.; CELESTINO, F. N.; MORAES, A. G. DE; REIS, R. A. DOS; GRECCO, E. D. Growth promoting fungi increase the quality of *Coffea canephora* seedlings Pierre ex a. Froehner. *Coffee Science*, v. 18, p. e182089, 2023. [10.25186/v18i.2089](https://doi.org/10.25186/v18i.2089).
- AZEVEDO, G. B. DE; NOVAES, Q. S. DE; AZEVEDO, G. T. DE O. S.; SILVA, H. F.; SOBRINHO, G. G. R.; NOVAES, A. B. DE. Efeito de *Trichoderma* spp. no crescimento de mudas clonais de *Eucalyptus camaldulensis*. *Scientia Forestalis*, v. 45, n. 114, p. 343-352, 2017. [10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n1.chagasjunior](https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n1.chagasjunior).
- BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. E S.; DOS SANTOS, L. M.; SANTANA, L. S.; MARIN, D. B.; ROSSI, G.; CONTI, L. Application of RGB Images Obtained by UAV in Coffee Farming. *Remote Sens*, v. 13, n. 2397, p. 1-19, 2021. [10.3390/rs13122397](https://doi.org/10.3390/rs13122397).
- BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology*, v. 13, n. 1, p. 39-55, 2022. [10.1080/21501203.2021.1945699](https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699).
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; BRAGA FILHO, L. J. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arabica* L., cv. Bourbon amarelo). *Revista Ceres*, v. 20, n. 107, p. 44-53, 1973.
- BEHIE, S. W.; BIDOCHKA, M. J. Ubiquity of Insect-Derived Nitrogen Transfer to Plants by Endophytic Insect-Pathogenic Fungi: An Additional Branch of the Soil Nitrogen Cycle. *Applied and Environmental Microbiology Ontario*, v. 80, n. 5, p. 1553-1560, 2014. [10.1128/AEM.03338-13](https://doi.org/10.1128/AEM.03338-13).
- CAMPOS, B. F.; ARAÚJO A. J. C.; FELSEMBURGH, C. A.; VIEIRA, T. A.; LUSTOSA, D. C. *Trichoderma* Contributes to the Germination and Seedling Development of Açaí Palm. *Agriculture*, v. 10, n. 456, p. 1-16, 2020. [10.3390/agriculture10100456](https://doi.org/10.3390/agriculture10100456).
- CELESTINO, F. N.; PRATISSOLI, D.; SANTOS JUNIOR, H. J. G. DOS; MACHADO, L. C. *In vivo* compatibility between *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin and castor oil on *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Coffee Science*, v. 15, n. e151771, p. 1-9, 2020. [10.25186/v15i.1771](https://doi.org/10.25186/v15i.1771).
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Séries históricas das safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acessado em: 19 dez. 2023.
- CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; ALFARO-CUEVAS, R.; LOPEZ-BUCIO, J. *Trichoderma* spp. Improve growth of *Arabidopsis* seedlings under salt stress through enhanced root development, osmolite production, and Na⁺ elimination through root exudates. *Molecular Plant-Microbe Interactions Journal*, v. 27, n. 6, p. 503-514, 2014. [10.1094/MPMI-09-13-0265-R](https://doi.org/10.1094/MPMI-09-13-0265-R).
- DEGUINE, J. P.; AUBERTOT, J-N; BELLON, S; CÔTE, F.; LAURI, P.-E.; LESOURRET, F.; RATNADASS, A.; SCOPEL, E.; ANDRIEU, N.; BÀRBERI, P.; BECKER, N.; BOUYER, J.; BRÉVAULT, T.; CERDAN, C.; CORTESERO, A-M.; DANGLES, O.; DELATTE, H.; DINH, P. T. Y.; DREYER, H.; DURU, M.; FLOR, R. J.; GARDARIN, A.; HUSSON, O.; JACQUOT, M.; JAVELLE, A.; JUSTES, E.; LAM, M. T. X.; LAUNAY, M.; LE, V. V.; LONGIS, S.; MARTIN, J.; MUNIER-JOLAINA, N.; NGUYEN, N. T. T.; NGUYEN, T. T. N.; PENVERN, S.; PETITA, S.; POISOTA, A.-S.; ROBINA, M.-H.; ROLLANDA, B.; RUSCHA, A.; SABOURINA, E.; SANGUINA, H.; SARTHOUA, J.-P.; SESTER, M.; SIMONA, S.; SOURISSEAU, J.-M.; STEINBERGA, C.; TCHAMITCHIANA, M.; THOUMAZEAU, A.; TIBIAR, A.; TIVET, F.; TIXIERA, P.; TRINHA, X. T.; VIALATTEA, A.; WYCKHUYS, K.; LAMICHHANE, J. R. Agroecological crop protection for sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, v. 178, p. 1–59, 2023. [10.1016/bs.agron.2022.11.002](https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.11.002).
- DEGUINE, J.-P.; AUBERTOT, J.-N.; FLOR, R. J.; LESOURRET, F.; WYCKHUYS, K. A. G.; RATNADASS, A. Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 41, n. 38, p. 1-35, 2021. [10.1007/s13593-021-00689-w](https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w).
- DUONG, B.; MARRACCINI, P.; MAEGHT J.; VAAST P.; LEBRUN, M.; DUPONNOIS R. Coffee Microbiota and Its Potential Use in Sustainable Crop Management. A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, p. 1-31, 2020. [10.3389/fsufs.2020.607935](https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607935).
- FREITAS, T.; BARTELEGA, L.; SANTOS, C.; DUTRA, M. P.; SARKIS, L. F.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. W.; ZITO, P. C.; FERNANDES, T. J.; GUELFI, D. Technologies for Fertilizers and Management Strategies of N-Fertilization in Coffee Cropping Systems to Reduce Ammonia Losses by Volatilization. *Plants*, v. 11, n. 23, p. 3323(1-18), 2022. [10.3390/plants11233323](https://doi.org/10.3390/plants11233323).
- GANNA, L. P.; ETSASSALA, N. G. E. R.; NCHU, F. Interactive Effects of Water Deficiency and Endophytic *Beauveria bassiana* on Plant Growth, Nutrient Uptake, Secondary Metabolite Contents, and Antioxidant Activity of *Allium cepa* L. *Journal of Fungi*, v. 8, n. 874, p. 1-13, 2022. [10.3390/jof8080874](https://doi.org/10.3390/jof8080874).
- GHINI, R. Coletor solar para desinfestação de substratos para produção de mudas sadias. Jaguariúna-SP, Embrapa Meio

- Ambiente, 2004. 5p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 4).
- GREENFIELD, M.; GÓMEZ-JIMÉNEZ, M. I.; ORTIZ, V.; VEGA, F. E.; MATTHEW, K.; PARSA, S. *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control*, v. 95, p. 40–48, 2016. [10.1016/j.biocontrol.2016.01.002](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.002).
- JABER, L. R.; ARAJ, S. E. Interactions among endophytic fungal entomopathogens (Ascomycota: Hypocreales), the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae), and the aphid endoparasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, v. 116, p. 53–61, 2018. [10.1016/j.biocontrol.2017.04.005](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.005).
- JABER, L. R.; ENKERLI, J. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. *Biological Control*, v. 103, p. 187–195, 2016. [10.1016/j.biocontrol.2016.09.008](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.09.008).
- JABER, L. R.; ENKERLI, J. Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology*, v. 27, n. 1, p. 28–41, 2017. [10.1080/09583157.2016.1243227](https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227).
- LOPEZ, D. C.; SWORD, G. A. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*, v. 89, p. 53–60, 2015. [10.1016/j.biocontrol.2015.03.010](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010).
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. *Cultura de café no Brasil: manual de recomendações*. 2020 ed. Fundação Procafé, 2020. 716p.
- MELLO, S. C. M. DE; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília: Embrapa, 2020. p.291-325.
- MILANESI, P. M.; BLUME, E.; ANTONIOLI, Z. I.; MUNIZ, M. F. B.; SANTOS, R. F. DOS; FINGER, G.; DURIGON, M. R. Biocontrole de *Fusarium* spp. com *Trichoderma* spp. e promoção de crescimento em plântulas de soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 347–356, 2013. [10.19084/rca.16319](https://doi.org/10.19084/rca.16319).
- OIC - Organização Internacional do Café. Coffee report and outlook. Disponível em: https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf. Acesso em: 19 dez. 2023.
- OLIVEIRA, A. G. DE; CHAGAS JUNIOR, A. F.; SANTOS, G. R. DOS; MILLER, L. O.; CHAGAS, L. F. B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 3, p. 149–155, 2012. [10.18378/rvads.v7i3.1338](https://doi.org/10.18378/rvads.v7i3.1338)
- PARSA, S.; ORTIZ, V.; VEGA, F. E. Establishing Fungal Entomopathogens as Endophytes: Towards Endophytic Biological Control. *Journal of Visualized Experiments*, v. 74, p. e50360(1-5), 2013. [10.3791/50360](https://doi.org/10.3791/50360).
- POSADA, F.; VEGA F. E. Inoculation and Colonization of Coffee Seedlings (*Coffea arabica* L.) with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycoscience*, v. 47, n. 5, p. 284–289, 2006. [10.1007/S10267-006-0308-6](https://doi.org/10.1007/S10267-006-0308-6).
- QUESADA MORAGA, E. Entomopathogenic fungi as endophytes: their broader contribution to IPM and crop production. *Biocontrol Science and Technology*, v. 30, n. 9, p. 864–877, 2020. [10.1080/09583157.2020.1771279](https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1771279).
- RESENDE, M. L. V. DE; POZZA, E.A.; REICHEL, T.; BOTELHO, D. M. S. Strategies for Coffee Leaf Rust Management in Organic Crop Systems. *Agronomy*, v. 11, n. 1865 (1-14), 2021. [10.3390/agronomy11091865](https://doi.org/10.3390/agronomy11091865).
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999, 359p.
- SARAVANAKUMAR, K.; ARASU, V. S.; KATHIRESAN, K. Effect of *Trichoderma* on soil phosphate solubilization and growth improvement of *Avicennia marina*. *Aquatic Botany*, v. 104, p.101-105, 2013. [10.1016/j.aquabot.2012.09.001](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.09.001).
- SILVA, R. A. R. DA; OLIVEIRA, L. G. DE; LIMA, M. L. DE S.; KETTNER, M. G.; MENDONÇA, A. P. M. DOS S. R.; COSTA, A. F. DA. Influência de *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento de *Vigna unguiculata*. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 17, n. 4, p. 242–246, 2022. [10.18378/rvads.v17i4.9578](https://doi.org/10.18378/rvads.v17i4.9578)
- SOOD, M.; KAPOOR, D.; KUMAR, V.; SHETEIWY, M. S.; RAMAKRISHNAN, M.; LANDI, M.; ARANITI, F.; SHARMA, A. *Trichoderma*: The "Secrets" of a Multitalented Biocontrol Agent. *Plants*, v. 18, n. 9, p. 762 (1-25), 2020. [10.3390/plants9060762](https://doi.org/10.3390/plants9060762).
- VEGA, F. E. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. *Mycologia*, v. 110, n. 1, p. 4–30, 2018. [10.1080/00275514.2017.1418578](https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578)
- ZITLALPOPOCA-HERNANDEZ, G.; NAJERA-RINCON, M. B.; DEL-VAL, E.; ALARCON, A.; JACKSON, T.; LARSEN, J. Multitrophic interactions between maize mycorrhizas, the root feeding insect *Phyllophaga vetula* and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Applied Soil Ecology*, v. 115, p. 38–43, 2017. [10.1016/j.apsoil.2017.03.014](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.014).