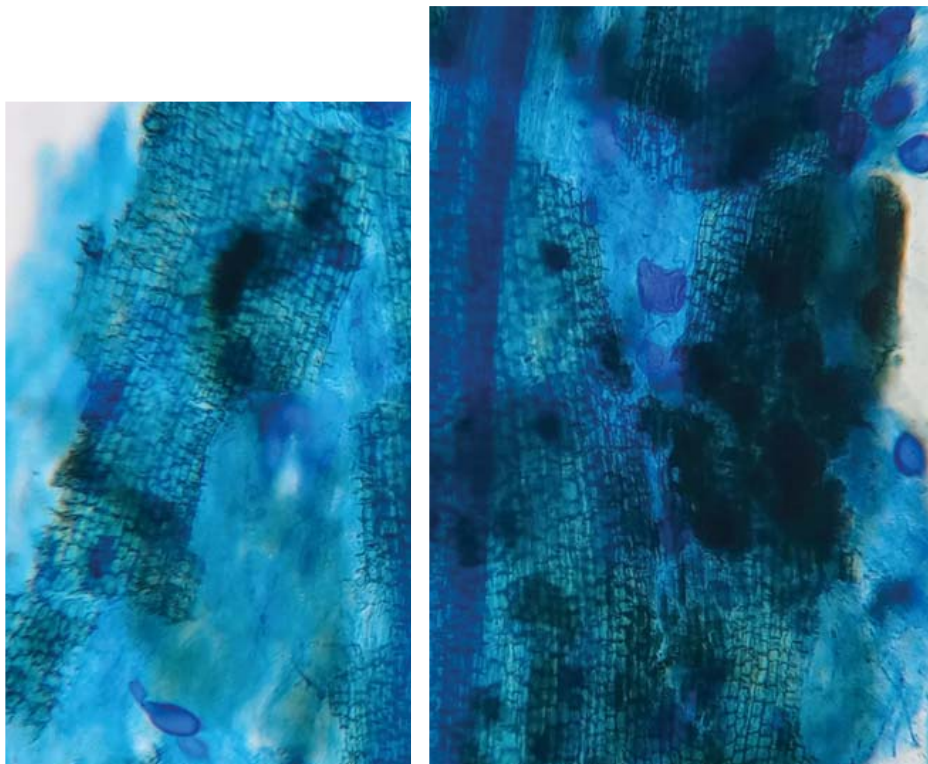


**Colonização natural de fungos micorrízicos
em três porta-enxertos de laranjeira ‘Pera’
sob diferentes doses de fósforo**



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
170**

**Colonização natural de fungos micorrízicos
em três porta-enxertos de laranjeira
‘Pera’ sob diferentes doses de fósforo**

*Antonio Alberto Rocha Oliveira
Lafayette Franco Sobral
Luciana Marques de Carvalho
Joezio Luiz dos Anjos*

***Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2022***

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Governador Paulo Barreto de Menezes, nº 3250,
CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:
Embrapa Tabuleiros Costeiros

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Viviane Talamini

Secretário-Executivo
Ubiratan Piovezan

Membros
Aldomário Santo Negrisol Júnior
Ana da Silva Lédo
Angela Puchnick Legat
Elio Cesar Guzzo
Fabio Enrique Torresan
Josué Francisco da Silva Junior
Julio Roberto Araujo de Amorim
Karina Neoob de Carvalho Castro
Renata da Silva Bomfim Gomes

Supervisão editorial
Aline Gonçalves Moura

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Beatriz Ferreira da Cruz

Foto da capa
Francisco José dos Santos

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Colonização natural de fungos micorrízicos em três porta-enxertos de laranjeira 'Pera' sob
diferentes doses de fósforo. / Antonio Alberto Rocha Oliveira [et al...]. – Aracaju :
Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2022.

25 p. : il. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961; 170)

1. Fungo Micorrízico. 2. Laranja. 3. Porta-enxerto. 4. Adubação. 5. Fósforo. I. Oliveira,
Antonio Alberto Rocha. II. Sobral, Lafayette Franco. III. Carvalho, Luciana Marques de. IV.
Anjos, Joézio Luiz dos. VI. Série.

CDD 631.4 Ed. 21

Sumário

Resumo6

Abstract8

Introdução.....9

Material e Métodos11

Resultados e Discussão13

Conclusões.....21

Agradecimentos.....21

Referências22

Colonização natural de fungos micorrízicos em três porta-enxertos de laranjeira ‘Pera’ sob diferentes doses de fósforo

Antonio Alberto Rocha Oliveira¹

Lafayette Franco Sobral²

Luciana Marques de Carvalho³

Joezio Luiz dos Anjos⁴

Resumo – Plantas de citros podem ser beneficiadas pela associação com fungos micorrízicos arbusculares em sua rizosfera, uma vez que estes fungos podem contribuir para o aumento no desenvolvimento das plantas devido à maior disponibilidade de água e nutrientes. Entretanto, essa influência depende do ambiente, do fungo e do hospedeiro. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de quatro níveis de adubação fosfatada (0, 70, 100 e 130 kg.ha⁻¹ de P₂O₅) sobre a colonização de fungos micorrízicos arbusculares em três porta-enxertos de laranjeira ‘Pera’ (limoeiro ‘Cravo’, tangerineira ‘Sunki Tropical’ e citrandarin ‘San Diego’), em condições de campo. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com cinco repetições e parcela útil composta por três plantas. Amostras de raízes foram coletadas na camada de 0 a 20 cm, na área de projeção da copa das plantas e a avaliação da colonização foi feita com base na presença de hifas, vesículas e arbúsculos nas raízes secundárias. Citrandarin ‘San Diego’ apresentou maior colonização por fungos micorrízicos autóctones que os demais porta-enxertos de laranjeira ‘Pera’. Os índices de colonização micorrízica foram altos em todos os porta-enxertos, mesmo em solos com teores altos de fósforo. A colonização micorrízica foi significativamente diminuída no

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia Pura e Aplicada, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Fertilidade de solos, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

³ Bióloga, doutora em Produção Vegetal, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fertilidade de solos, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

porta-enxerto citrandarin 'San Diego' pela adição de fosfato apenas na dose mais elevada.

Termos para indexação: *Citrus* sp., tabuleiros costeiros, adubação fosfatada, associação micorrízica, simbiose micorrízica.

Natural mycorrhizal colonization of three 'Pera' sweet orange rootstocks at different phosphate levels

Abstract – The association with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in its rhizosphere can benefit citrus plants, since these fungi can contribute to an increase in plant development due to the greater availability of water and nutrients. However, this influence depends on the environment, the fungus and the host. The present study aimed to evaluate the influence of phosphorus fertilization (0, 70, 100 and 130 kg.ha⁻¹ of P₂O₅) on root mycorrhizal colonization in three 'Pera' sweet orange rootstocks (Rangpur lime, Tropical Sunki mandarin and San Diego citrandarin), under field conditions. The experiment was carried out in randomized block design with 5 replications and 3 useful plants per replication. Root samples were collected under the canopy projection from a depth of 0-20 cm and AMF root colonization was assessed by the presence of hyphae, vesicles and arbuscules in the fine roots. Natural mycorrhizal colonization rate was higher in San Diego citrandarin compared to other two citrus rootstocks. All citrus rootstocks presented high percentages of root colonization, even in soils with high phosphorus content. AMF colonization was significantly diminished by phosphate addition in San Diego citrandarin only under the highest dose.

Index terms: *Citrus* sp., coastal tablelands, phosphorus fertilization, mycorrhizal association, mycorrhizal symbiosis.

Introdução

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constituem uma alternativa para aumentar o crescimento, qualidade nutricional e produtividade das plantas, maximizando o uso de fertilizantes fosfatados em solos deficientes ou com alta capacidade de fixação, além de contribuir para sustentabilidade agrícola (Berbara et al., 2006; Saggin Júnior; Silva, 2005; Souza et al., 2006). Os benefícios dessa simbiose devem-se às hifas extra radiculares produzidas pelos FMA que aumentam o volume de solo explorado pelas raízes, melhorando a absorção e translocação de íons fosfatos muito além da zona de contato dos pelos radiculares (Siqueira, 1994; Martins et al., 2017). Durante a interação micorrízica, as plantas utilizam nutrientes absorvidos pelos FMA e, os fungos, por sua vez, utilizam produtos oriundos da fotossíntese realizada pelas plantas (Smith; Read, 2008; Walder et al., 2012; Romagnoli; Andreote, 2016).

Na natureza, os FMA estão associados a 80% das espécies de plantas, incluindo árvores, arbustos, ervas e plantas cultivadas (Wang; Qiu, 2006; Brundrett, 2009; Vergara et al., 2019). Embora comunidades de FMA possam estar presentes na maioria dos solos, o funcionamento da relação trófica nas micorrizas é modulado por diversos fatores, destacando-se os genótipos das plantas hospedeiras e dos FMA (Singh et al., 2012; Melo et al., 2016) e a disponibilidade de fósforo (P) no solo (Zangaro et al., 2000; Siqueira; Saggin Júnior, 2001).

Em geral, espécies com uma quantidade escassa de pelos radiculares são muito dependentes da associação com FMA (Smith; Smith, 2011). As plantas cítricas, por possuírem um sistema radicular do tipo magnoloide, com pelos absorventes pouco desenvolvidos, mostram-se altamente dependentes dos FMA para a absorção do P em solos com baixa disponibilidade desse mineral (Silveira; Gomes 2007; Back et al., 2017). Essa dependência é definida por Gerdemann (1975) como o grau pelo qual uma planta é carente da condição micorrízica para produzir seu máximo crescimento ou rendimento, e pode variar entre os genótipos de citros e em função da fertilidade do solo (Melloni; Cardoso, 1999). Dentre os citros, existe variação na dependência micorrízica, que é influenciada pela cultivar empregada e pela espécie de FMA inoculado, além de outros fatores do solo (Ortas, 2012). Tem sido demonstrado que o

limão 'Rugoso', a laranja 'Azeda' e a tangerina 'Cleópatra' estão entre as espécies cítricas mais dependentes de micorrização (Menge et al., 1978; Levy; Krikun, 1980), o que não implica falta de resposta dos demais porta-enxertos, tais como laranja-doce, limão 'Cravo', tangerina 'Sunki', citranges e citrumelos que também apresentam graus variáveis de dependência à associação (Melloni et al., 2000; Souza et al., 2003; Nunes et al., 2006; Schinor et al., 2013; Back et al., 2016, 2018; Miranda et al., 2018).

O efeito da adubação fosfatada em plantas micorrizadas varia com as espécies envolvidas na associação fungo-hospedeiro (Silveira, 1998; Ortas et al., 2002; Nogueira; Cardoso, 2006). Embora as respostas das culturas à adubação fosfatada possam ocorrer até altas doses de P, tem-se observado, principalmente em espécies arbóreas, que os efeitos positivos da colonização micorrízica no crescimento e nutrição das plantas têm ocorrido em estreitas doses de P. Flores-Aylas et al. (2003) observaram, em diferentes espécies arbóreas, com 60 e 120 dias após o semeio, que o crescimento das mudas respondeu à inoculação em nível de P disponível muito baixo (sem a aplicação de P no solo) e com a dose de 52 mg.dm^{-3} de P no solo. Em mudas de maracujazeiro amarelo, as respostas à inoculação com fungos micorrízicos só foram observadas até a dose de P de 30 mg.dm^{-3} (Cavalcante et al., 2002).

Quando o ambiente é estressante para a planta, com baixo suprimento de P, geralmente as micorrizas garantem benefícios para a planta (Graham, 2000). Porém, em altos níveis de P, as associações micorrízicas podem não ser funcionais, ou até mesmo apresentar redução na produção de massa seca da parte aérea (Johnson, 1993; Peng et al., 1993; Bennett; Groten, 2022). Esse fenômeno, conhecido como depressão de crescimento, pode ocorrer em condições de campo (Graham; Eissenstat, 1998; Sena et al., 2004)

Assim, devido à importância da determinação de doses adequadas de P que favoreçam os efeitos da colonização micorrízica sobre o crescimento e nutrição das plantas cítricas, este trabalho teve por objetivo avaliar a presença de micorrizas arbusculares no córtex das raízes de laranjeira 'Pera' enxertada em três porta-enxertos cítricos, em função de diferentes níveis de adubação do solo com P.

Material e Métodos

O ensaio foi conduzido em pomar comercial de laranjeira ‘Pera’ CNPMF-D6 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] de 9 anos de idade, com experimento de adubação realizado nos últimos 6 anos, e conduzido sem irrigação. O plantio foi no espaçamento de 7 × 2 m (714 plantas.ha⁻¹), na Fazenda Esperança (11°33’9,9” S e 37°51’28,1” W), situada em Rio Real, município dos tabuleiros costeiros do litoral norte da Bahia. O clima é do tipo tropical com verão seco (As pela classificação de Köppen-Geiger) e com temperatura média anual de 24°C. O solo da área experimental é *classificado* como Argissolo amarelo Eutrófico típico, textura arenosa/média. Antes da implantação do tratamento de adubação, amostras de solo foram coletadas nas faixas dos dois lados da planta para caracterização inicial do solo, sendo o resultado da análise química apresentado na Tabela 1. No horizonte Ap (0-20 cm), verificou-se que a distribuição granulométrica foi a seguinte: areia, 853 g.kg⁻¹, silte 55,9 g.kg⁻¹ e argila 91,1 g.kg⁻¹.

Tabela 1. Características químicas iniciais (antes da implantação do tratamento de adubação) de um Argissolo Amarelo eutrófico cultivado com laranjeira ‘Pera’ sobre os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’, tangerineira ‘Sunki Tropical’ e citrandarin ‘San Diego’.

Porta-enxertos	MO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	P	K ⁺
	g.kg ⁻¹			mmol _c .dm ⁻³			mg.dm ⁻³	
‘Cravo’	19,4	5,4	31,9	7,1	20,9	0,44	108,9	87,5
‘Sunki Tropical’	14,8	6,4	30,2	4,4	1,4	0,2	77,0	109,3
‘San Diego’	17,9	6,8	38,6	6,4	7,1	0,2	134,	136,7

Para o ensaio, foi utilizada a laranjeira ‘Pêra’ combinada com três porta-enxertos: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] e citrandarin ‘San Diego’ (*C. sunki* × *Poncirus trifoliata* Swingle]. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com cinco repetições, cada uma representada por parcela útil composta por três plantas, onde foram avaliadas quatro doses de fosfato P₂O₅ no solo (0, 70, 100 e 130 kg.ha⁻¹), designados P0, P70, P100 e P130. O solo sem adição de P representa a fertilidade natural do solo. A fonte

de P utilizada foi o superfosfato triplo, aplicado em faixa nos dois lados das árvores. Os demais nutrientes minerais foram fornecidos às plantas de acordo com recomendação para laranjeira 'Pera' sobre limoeiro 'Cravo' (Sobral et al., 2007). Três anos após a instalação do experimento, foi realizada amostragem de solo para determinação do teor de P (Mehlich-1) na área dos diferentes tratamentos.

Para avaliar a intensidade de colonização com FMA autóctones, três anos após o início das adubações, foram coletadas, com o auxílio de pá de jardinagem, subamostras na camada de 0 a 20 cm, na região limítrofe da área de projeção da copa das três plantas úteis de cada parcela. As três subamostras foram misturadas e homogeneizadas, perfazendo uma amostra composta por parcela. As amostras, contendo aproximadamente 1 kg de solo rizosférico e raízes secundárias, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em geladeira à temperatura de aproximadamente 4°C. Transcorridos três dias, as raízes foram separadas do solo, lavadas e conservadas em álcool etílico diluído a 50% em água destilada. Desse material preservado, foram retiradas amostras de aproximadamente 2 g de raízes finas, que foram submetidas ao processo de clarificação e coloração descrito por Phillips e Hayman (1970) e modificado por Kormanick et al. (1980) e Koske e Gemma (1989). Assim, as raízes foram colocadas em solução de KOH a 2,5% em tubos falcon, e mantidos em banho-maria à temperatura de 90 °C, por 30 minutos. Uma vez clarificadas, a solução de KOH foi descartada e as raízes foram lavadas várias vezes, sendo depois embebidas em solução H_2O_2 alcalina (3 mL de NH_4OH a 20% em 30 mL de H_2O_2 a 3%) por 15 minutos, à temperatura ambiente e, em seguida, acidificadas em solução de HCl a 1%, por 2 horas. Para a coloração, as raízes foram imersas em solução de azul de metila 0,05% em glicerol acidificado (450 mL de água + 500 mL de glicerol + 50 mL de HCl 1% + 0,5 g de azul de metila) e deixadas em repouso por uma noite, em temperatura ambiente. Após a coloração, as raízes foram retiradas da solução corante, lavadas com água e preservadas em solução de ácido láctico + glicerina + água (1:1:1), permanecendo até o momento da avaliação. Para a avaliação da colonização radicular, foram preparadas 10 lâminas microscópicas para cada tratamento, cada lâmina com 10 segmentos de raízes com aproximadamente 1 cm de comprimento. Esses fragmentos

corados foram dispostos paralelamente nas lâminas com glicerina, cobertos com lamínulas de 24 × 50 mm e observados em microscópio óptico (200×). A avaliação da colonização foi feita com base na presença de hifas, vesículas e arbúsculos, e a porcentagem de raízes colonizadas foi obtida do número de segmentos colonizados em relação ao total analisado (McGonigle et al., 1990).

A produtividade de frutos, em t.ha⁻¹, foi determinada com base na colheita realizada no mesmo ano da avaliação da colonização.

Os valores percentuais foram transformados em arco seno $\sqrt{x}/100$, visando ajustar os dados de forma a se obter uma distribuição que permitisse a aplicação de testes para comparação de médias. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey, ao nível de 0,05 de probabilidade, utilizando o software estatístico SPSS Statistics, versão 21.0 para Windows (IBM Inc., Chicago, IL, EUA). Na análise da colonização micorrízica dos três porta-enxertos foram consideradas 20 repetições para cada porta-enxerto. Na análise da colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares sobre os três porta-enxertos, em função da adubação fosfatada, foram consideradas 5 repetições para cada dose de P₂O₅, dentro de cada porta-enxerto. Para a análise da interação porta-enxerto × níveis de P, o desenho mais apropriado seria um esquema fatorial ou parcelas subdivididas. No entanto, esses desenhos não puderam ser usados, visto tratar-se de trabalho em área de terceiros onde os porta-enxertos estavam cultivados em configuração previamente estabelecida de talhões separados.

Resultados de Discussão

Independentemente da dose de P utilizada, os índices de colonização micorrízica nos porta-enxertos foram altos, com médias variando entre 70,5 e 77,5%. Citrandarin 'San Diego' apresentou percentual de colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares autóctones significativamente maior que os demais porta-enxertos de laranjeira 'Pera' (Figura 1).

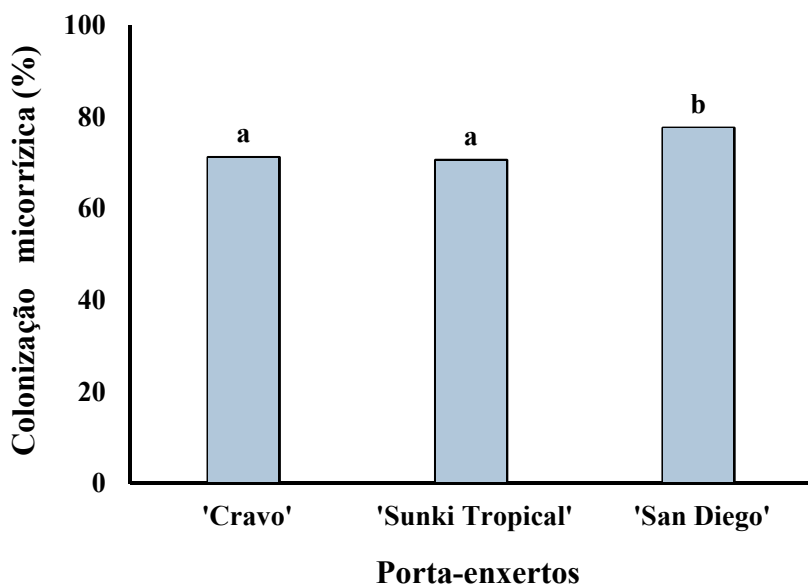


Figura 1. Colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares em laranjeira 'Pera' sobre os porta-enxertos limoeiro 'Cravo', tangerineira 'Sunki Tropical' e citrandarin 'San Diego', independente da dose de P utilizada na adubação. Os dados são médias de 20 repetições para cada porta-enxerto. Letras iguais indicam não haver diferença significativa, de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores que trabalharam com plantas cítricas em condições de campo. Schubert et al. (1993), investigando a presença de associação micorrízica em 26 pomares de citros na região de Basilicata, Itália, encontraram taxas de colonização superiores a 80%. Na Flórida, Graham e Eissenstat (1998) registraram índices de colonização radicular variando de 55% a 90%. Weber e Oliveira (1994) também observaram taxas altas de colonização micorrízica em pomares de citros nos estados da Bahia e Sergipe, variando de 60% a 80%. Souza et al. (2002), avaliando a presença de FMA em viveiros e pomares de citros no Rio Grande do Sul, destacaram que a intensidade e efetividade da associação micorrízica nestas condições naturais varia em função de fatores inerentes às espécies envolvidas na simbiose e a fatores bióticos e abióticos do sistema, especialmente o teor de P disponível no solo.

Em relação à colonização micorrízica significativamente maior apresentada pela combinação laranjeira 'Pera'/citrandarin 'San Diego', quando comparada com os demais porta-enxertos, essa diferença pode ser explicada pelas características intrínsecas dos porta-enxertos, que podem ter influenciado a dependência micorrízica do hospedeiro. Sabe-se que as plantas apresentam respostas diferenciadas à associação micorrízica, havendo evidências de que espécies que pertencem à mesma família podem variar na afinidade aos fungos micorrízicos nativos e que cultivares da mesma espécie também podem apresentar diferentes respostas à colonização com determinadas espécies ou isolados fúngicos (Moreira; Siqueira, 2006; Singh et al., 2012). Essa variação no grau de dependência micorrízica entre as espécies de plantas é particularmente relacionada com a morfologia da raiz e com as condições de solo e clima. Plantas com raízes grossas e com poucos pelos radiculares são mais dependentes da micorrização (Smith; Smith, 2011). Citrandarin 'San Diego', híbrido proveniente do cruzamento entre a microtangerina 'Sunki' e *Poncirus trifoliata* Swingle, possivelmente herdou a característica de menor vigor do parental trifoliata, com menor acúmulo de matéria seca de raiz (Schinor et al., 2015).

Com referência às doses de P_2O_5 , não se detectou efeito significativo sobre a infecção micorrízica na combinação de laranjeira 'Pera' com os porta-enxertos limoeiro 'Cravo' e tangerineira 'Sunki Tropical' (Figura 2). Todavia, a percentagem de colonização radicular foi significativamente afetada pela maior dose de P_2O_5 aplicada no solo das plantas enxertadas no citrandarin 'San Diego', que registrou a menor média de infecção micorrízica.

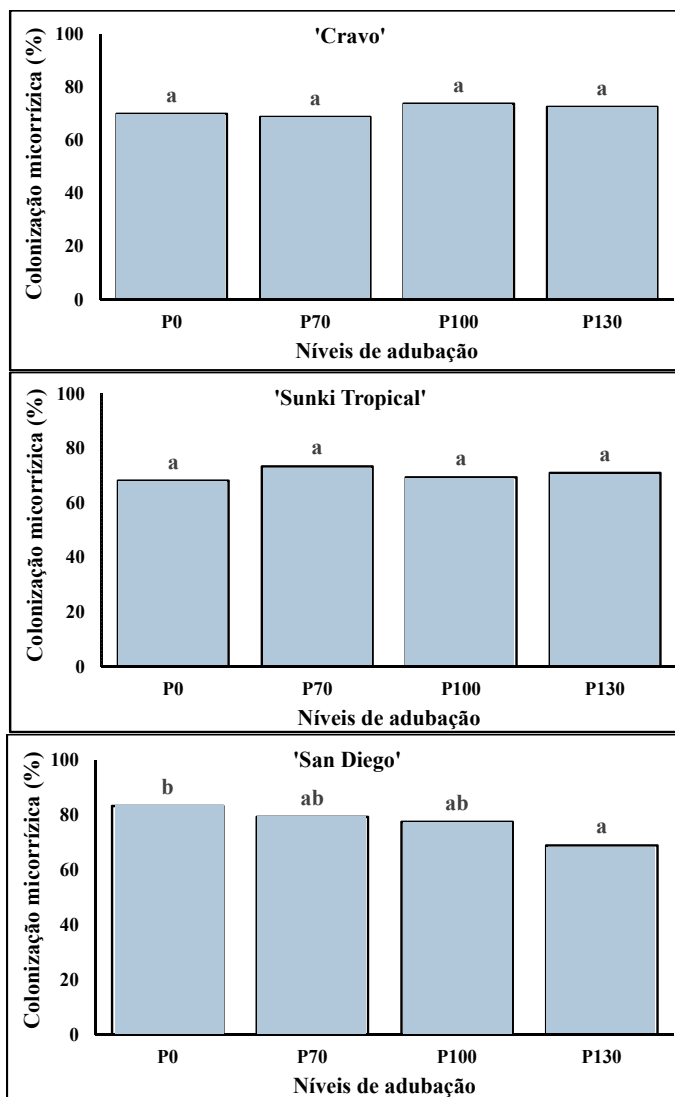


Figura 2. Colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares em laranja 'Pera' sobre os porta-enxertos limoeiro 'Cravo', tangerineira 'Sunki Tropical' e citrandarin 'San Diego', em função da dose de P_2O_5 . P0 = 0 kg.ha⁻¹; P70 = 70 kg.ha⁻¹; P100 = 100 kg.ha⁻¹; P130 = 130 kg.ha⁻¹. Os dados são médias de 5 repetições para cada dose de P_2O_5 , dentro de cada porta-enxerto. Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as doses de P_2O_5 , dentro de cada porta-enxerto, de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Ausência de diferença na colonização micorrízica entre porta-enxertos de citros, em condições de campo, foram reportadas por Nunes et al. (2006), que encontraram percentuais médios variando de 56 a 69%, mesmo em solos com teores altos de P (100 mg.dm^{-3}). A colonização radicular, frequentemente, é inversamente relacionada ao suprimento de P, embora pequenas adições de P a solos deficientes possam elevar a colonização (Silveira, 1998; Chandrasekaran, 2020). De acordo com Nunes (2004), quando aplicado em doses elevadas, o P pode inibir a colonização, crescimento de hifas externas e esporulação por mecanismos genéticos, bioquímicos e fisiológicos, o que não é uma regra. Dependendo da espécie vegetal, sua capacidade de absorção, translocação e exigência interna, pode resultar em efeito contrário.

No presente estudo, constataram-se altos teores de P no solo (Tabela 2), em decorrência tanto da adição de P realizada neste experimento quanto das adubações fosfatadas realizadas na área antes do estabelecimento dos tratamentos e no pomar que antecedeu a este. Observou-se que, mesmo nos tratamentos sem adição de P_2O_5 , os teores desse nutriente no solo ficaram muito acima dos teores adequados para as plantas cítricas, que estão entre 13 e 30 mg.dm^{-3} de P (Mattos Júnior et al., 2009). Sobral et al. (2007) foram mais específicos a respeito desse padrão, indicando o nível crítico de 20 mg.dm^{-3} para solos como o do presente estudo, ou seja, com teor de argila inferior a 150 g.kg^{-1} .

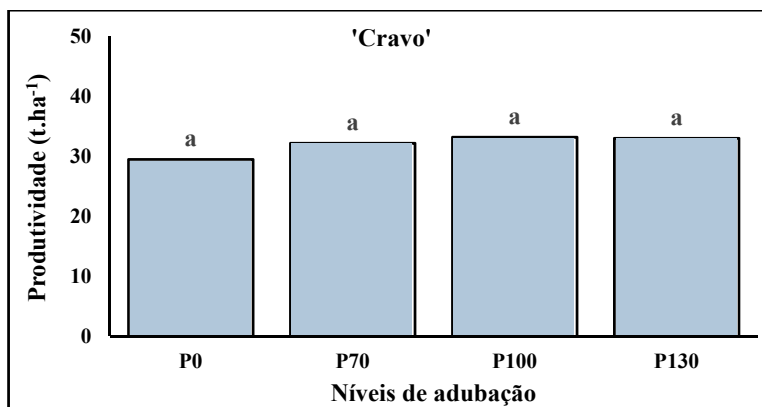
Tabela 2. Teores de P no solo extraído com o Mehlich-1 em amostras coletadas na camada 0-0,2 m nos porta-enxertos limoeiro 'Cravo', tangerineira 'Sunki Tropical' e citrandarin 'San Diego'.

Níveis de adubação	'Cravo'	'Sunki Tropical'	'San Diego'
	P (mg.dm^{-3})		
P0	89,34	48,61	137,30
P70	87,86	67,18	127,09
P100	109,70	109,74	179,61
P130	152,99	158,18	205,42

P0 = 0 kg.ha^{-1} ; P70 = 70 kg.ha^{-1} ; P100 = 100 kg.ha^{-1} ; P130 = 130 kg.ha^{-1}

Diversos autores afirmam que, quando a disponibilidade de P no solo é gradativamente aumentada, a simbiose ganha natureza mutualista, pois o dreno de fotossintatos que os fungos provocam é grandemente compensado pela economia de energia que a planta tem durante o processo de crescimento radicular e absorção ativa e pelo aumento da fotossíntese (Siqueira, 1994; Silveira, 1998; Smith; Read, 2008). Porém, se a disponibilidade de P no solo atinge valores altos, a simbiose deixa de ser mutualística e, nessa situação, o fungo gera um custo energético superior ao benefício fornecido à planta. A interação torna-se, então, parasítica, em razão do elevado custo de carbono (C) para a manutenção do fungo na raiz e o baixo benefício para a planta, em termos de absorção de nutrientes, com consequências negativas ao vegetal (Peng et al., 1993; Saggin Júnior; Siqueira, 1996; Graham; Eissenstat, 1998; Graham, 2000).

Com respeito à resposta da produtividade da laranjeira 'Pera' às doses de P_2O_5 no solo, não foi observado efeito significativo na colheita de frutos, com qualquer um dos três porta-enxertos estudados (Figura 3).



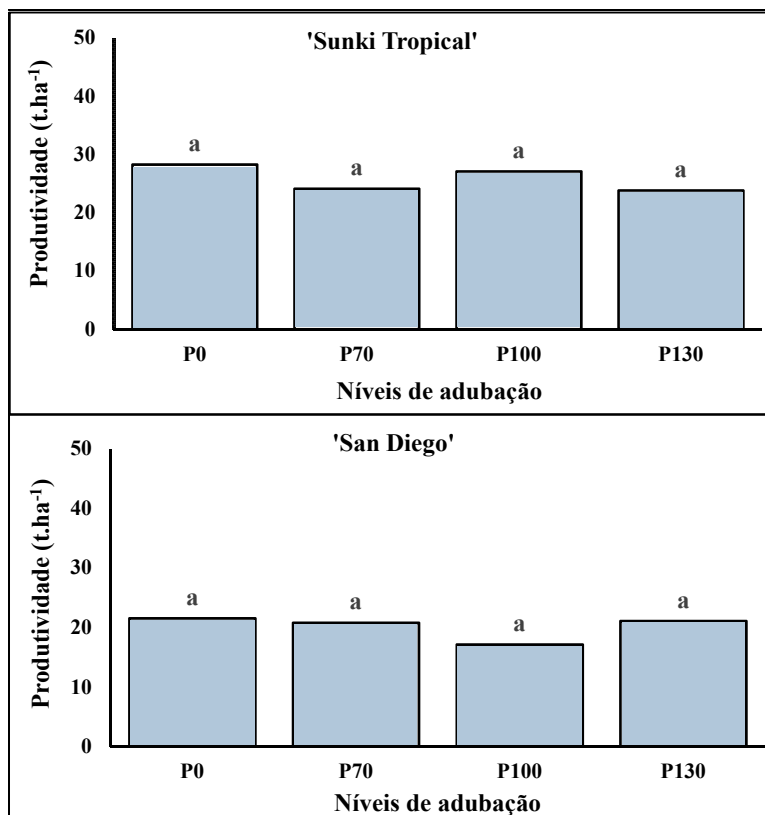


Figura 3. Produtividade de frutos, em 2022, da laranjeira 'Pera' sobre os porta-enxertos limoeiro 'Cravo', tangerineira 'Sunki Tropical' e citrandarin 'San Diego' em função da dose de P_2O_5 aplicado na forma de superfosfato triplo no solo: P0 = 0 kg.ha⁻¹; P70 = 70 kg.ha⁻¹; P100 = 100 kg.ha⁻¹; P130 = 130 kg.ha⁻¹. Os dados são médias de 5 repetições para cada dose de P_2O_5 , dentro de cada porta-enxerto. Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as doses de P_2O_5 , dentro de cada porta-enxerto, de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Na literatura, existem diversas pesquisas a respeito da influência da variação de níveis de P no solo sobre a simbiose micorrízica e desenvolvimento de plantas cítricas. Peng et al. (1993), trabalhando com fracionamento de C em limoeiro 'Volkameriano' colonizado com fungo micorrízico, em condições de alto fornecimento de P, constataram que a associação micorrízica pode diminuir o crescimento da planta, devido ao maior dreno de C pelas raízes colonizadas. Graham; Eissenstat (1998) avaliaram, em condições de campo, o custo de C da associação micorrízica em laranjeira 'Valencia' em combinação com os porta-enxertos *Poncirus trifoliata*, citrumelo 'Swingle' e laranja 'Azeda'. Os autores observaram taxas elevadas de colonização, mesmo em solos com níveis altos de P, e decréscimo no desenvolvimento das plantas, mostrando que, nessas condições de elevada fertilidade, a associação micorrízica pode se tornar parasítica. Nogueira; Cardoso (2006), avaliando a resposta do limão 'Cravo' à micorriza arbuscular, com variações de níveis de P de baixo a excessivo, observaram que na dose de 1.000 mg.kg⁻¹ de P, houve depressão transiente de crescimento nas plantas micorrizadas e não houve efeito micorrízico sobre a absorção de P em qualquer época de colheita. Sena et al. (2004) realizaram a caracterização fisiológica da redução de crescimento de mudas micorrizadas de tangerineira 'Cleópatra', adubadas com cinco doses de P (0, 50, 100, 150, 200 e 250 mg.kg⁻¹ de substrato na forma de superfosfato triplo). Relataram que nas doses mais altas de P as plantas micorrizadas apresentaram redução na altura, na matéria seca da parte aérea e na área foliar, menor taxa de transpiração e maior resistência estomática, quando comparadas com o controle não micorrizado. Considerando estes resultados, os autores concluíram que a redução no crescimento de mudas micorrizadas em alta dose de P pode estar relacionada, em parte, com a existência de forte dreno de carboidratos na raiz.

Conclusões

Nas condições estudadas, citrandarin 'San Diego' apresentou maior colonização por fungos micorrízicos autóctones que os demais porta-enxertos de laranjeira 'Pera', independente da dose de P utilizada.

A colonização micorrízica natural dos porta-enxertos de citros em campo mostrou-se elevada, mesmo em solos com níveis altos de P.

A adubação fosfatada, aplicada na forma de superfosfato triplo no solo, não influenciou significativamente a colonização micorrízica da laranjeira 'Pera' enxertada em combinação com os porta-enxertos limoeiro 'Cravo' e tangerineira 'Sunki Tropical'.

A aplicação da maior dose de P_2O_5 ($130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) promoveu os teores mais elevados de P no solo e reduziu significativamente a colonização micorrízica da laranjeira 'Pera' enxertada em citrandarin 'San Diego'.

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos ao Assistente de Pesquisa Tiago Araújo Muniz, pelo apoio na amostragem de solo e raízes, e ao analista Francisco José dos Santos e ao bolsista Flávio Severo da Silva Filho, pela colaboração nos trabalhos de laboratório.

Referências

- BACK, M. M.; ALTMANN, T.; SOUZA, P. V. D. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the vegetative development of citrus rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 4, p. 407-412, 2016.
- BACK, M. M.; REITH, S.; GIULIANI, J. C.; SOUZA, P. V. D. Interação entre porta-enxertos de citros e fungos micorrízicos arbusculares. **Iheringia**, v. 72, p. 277-282, 2017. Série Botânica.
- BENNETT, A. E.; GROTEN, K. The Costs and Benefits of Plant–Arbuscular Mycorrhizal Fungal Interactions. **Annual Review of Plant Biology**, v. 73, p. 649-672, 2022.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant and Soil**, v. 320, p. 37-77, 2009.
- CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; COSTA, C. M. C.; CAVALCANTE, A. T.; SANTOS, U. F. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1099-1106, 2002.
- CHANDRASEKARAN, M. A meta-analytical approach on arbuscular mycorrhizal fungi inoculation efficiency on plant growth and nutrient uptake. **Agriculture**, v. 10, 370, 2020.
- FLORES AYLAS, W. W.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 257-266, 2003.
- GERDEMANN, J. W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: TORREY, J. G.; CLARKSON, D. T. (ed.). **The development and function of roots**. London: Academic Press, 1975. p. 575-591.
- GRAHAM, J. H. Assessing costs of arbuscular mycorrhizal symbiosis in agroecosystems. In: PODILA, G. K.; DOUDS, D. D. (ed.) **Current advances in mycorrhizae research**. St. Paul: APS Press, 2000. p. 127-140.
- GRAHAM, J. H.; EISSENSTAT, D. M. Field evidence for carbon cost of citrus mycorrhizas. **New Phytologist**, v. 140, p. 103-110, 1998.
- JOHNSON, N. C. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? **Ecological Application**, v. 3, p. 749-757, 1993.
- KORMANICK, P. P.; BRYAN, W. C.; SCHULTZ, R. C. Procedures and equipment for staining large numbers of plant root samples for endomycorrhizal assay. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 26, p. 536-538, 1980.
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A Modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 92, p. 486-488, 1989.
- LEVY, Y.; KRIKUN, J. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on *Citrus jambhiri* water relations recovery from water stress. **New Phytologist**, v. 85, p. 25-31, 1980.
- MARTINS, R. M. S.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Crescimento micelial de fungos micorrízicos arbusculares e formação de micorriza em solo contaminado por cádmio. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, p. 48-60, 2017.

- MATTOS JÚNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; BOARETTO, R. M. Citros: manejo da fertilidade do solo para alta produtividade. **Informações Agrônômicas**, v. 128, p. 5-12, 2009.
- MCGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FAIRCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.
- MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares de plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 59-67, 1999.
- MELLONI, R.; NOGUEIRA, M. A.; FREIRE, V. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Fósforo adicionado e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição mineral de limoeiro-cravo [*Citrus limonia* (L.) Osbeck]. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 767-775, 2000.
- MELO, K. G. P.; SILVA, A. R. da S.; YANO MELO, A. M. Variedades de citrus podem afetar a comunidade de fungos do solo? **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 167-174, 2016.
- MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; PLATT, R. G. Mycorrhizal dependence of several citrus cultivars under three nutrient regimes. **New Phytologist**, v. 81, p. 553-559, 1978.
- MIRANDA, P. B.; MELLO, A. H.; KUPPER, K. C. Mycorrhizal dependence of citrus rootstock. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, e-762, 2018.
- MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. N. Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpur lime seedlings under different levels of phosphorus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41 p. 93-99, 2006.
- NUNES, M. S. **Fungos micorrízicos arbusculares em porta-enxertos de citros**. 79 f. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas. 2004.
- NUNES, M. S.; SOARES, A. C. F.; SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S. Colonização micorrízica natural de porta-enxertos de citros em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 525-528, 2006.
- ORTAS, I. Mycorrhiza in citrus: growth and nutrition. In: SRIVASTAVA, A. K. **Advances in citrus nutrition**. Amsterdam: Springer, 2012. p. 333-351.
- ORTAS, I.; ORTAKCI, D.; KAYA, Z.; CINAR, A.; ONELGE, N. Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 1263-1279, 2002.
- PENG, S.; EISSENSTAT, D. M.; GRAHAM, J. H.; WILLIAMS, K.; HODGE, N. C. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply (analysis of carbon costs). **Plant Physiology**, v. 101, p. 1063-1071, 1993.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, p. 158-162, 1970.
- ROMAGNOLI, E. M.; ANDREOTE, F. D. Rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.
- SAGGIN JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. **Micorriza arbuscular**: papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. cap. 5. p. 101-149.

SAGGIN JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. (ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA/DCS e DCF. p.203-254, 1996.

SCHINOR, E. H.; CRISTOFANI-YALY, M.; BASTIANEL, M.; MACHADO, M. A. Sunki Mandarin vs *Poncirus trifoliata* Hybrids as Rootstocks for Pera Sweet Orange. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, p. 190-200, 2013.

SCHINOR, E. H.; NASCIMENTO, A. L.; BARROS, V. L. N. P.; BASTIANEL, M.; AZEVEDO, F.; CRISTOFANI-YALY, M. Atributos de frutos e crescimento vegetativo de porta-enxertos de citrandarins em viveiro. **Citrus Research & Technology**, v. 36, p. 27-35, 2015.

SCHUBERT, A.; AIASSA, A.; PALAZZO, D.; VANADIA, S. Occurrence of mycorrhiza in citrus orchards in the metaponto area of Basilicata (Italy). **Acta Horticulturae**, v. 324, p. 61-66, 1993.

SENA, J. O. A.; LABATE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Caracterização fisiológica da redução de crescimento de mudas de citros micorrizadas em altas doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 827-832, 2004.

SILVEIRA, A. P. D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, p. 61-83, 1998.

SILVEIRA, A. P. D.; GOMES, V. F. F. Micorrizas em plantas frutíferas tropicais. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**, Campinas: Instituto agrônômico, 2007. p. 57-77.

SINGH, A. K.; HAMEL, C.; DEPAUW, R. M.; KNOX, R. E. Genetic variability in arbuscular mycorrhizal fungi compatibility supports the selection of durum wheat genotypes for enhancing soil ecological services and cropping systems in Canada. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 58, p. 293-302, 2012.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of Brazilian native wood species. **Mycorrhiza**, v.11, p. 245-255, 2001.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPAP, p. 151-194, 1994.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008. 803 p.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.

SOBRAL, L. F.; VIÉGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. v. 1. 251 p.

SOUZA, P. V. D.; CARNIEL, E.; SCHMITZ, J. A. K.; SILVEIRA, S. V. Substratos e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento vegetativo de Citrange Troyer. **Agropecuária Catarinense**, v. 16, p. 84-88, 2003.

SOUZA, P. V. D.; SCHMITZ, J. A. K.; FREITAS, R. S.; CARNIEL, E.; CARRENHO, R. Identificação e quantificação de fungos micorrízicos arbusculares autóctones em municípios produtores de citros no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 553-558, 2002.

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

VERGARA, C.; ARAUJO, K. E. C.; SOUZA, S. R.; SCHULTZ, N.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; SPERANDIO, M. V. L.; ZILLI, J. E. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with diferente growth-promoting fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e25140, 2019.

WALDER, F.; NIEMANN, H.; MATHIMARAN, N.; LEHMANN, M. F.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Mycorrhizal networks: common goods of plants shared under unequal terms of trade. **Plant Physiology**, v. 159, p. 789-797, 2012.

WANG, B.; QIU, Y.-L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 299-363, 2006.

WEBER, O. B.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em citros nos Estados da Bahia e Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1905-1914, 1994.

ZANGARO, W.; BONONI, V. L. R.; TRUFEN, S. B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, p. 603-622, 2000.



Tabuleiros Costeiros

