

ANDRÉ MUNDSTOCK XAVIER DE CARVALHO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO
CRESCIMENTO DE MUDAS DE PINHÃO MANSO
(*Jatropha curcas* L.)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Microbiologia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
Minas Gerais - Brasil
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331f
2008

Carvalho, André Mundstock Xavier de, 1984-
Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento
de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) / André
Mundstock Xavier de Carvalho. – Viçosa, MG, 2008.
xii, 51f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Maria Catarina Megumi Kasuya.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 41-48.

1. Micorriza arbuscular. 2. *Jatropha curcas* -
Crescimento. 3. *Jatropha curcas* - Efeito do fósforo.
4. Plantas e solo. 5. Plantas - Efeito do fósforo.
6. Solos - Absorção. 7. Solos - Teor de fósforo.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.847

ANDRÉ MUNDSTOCK XAVIER DE CARVALHO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO
CRESCIMENTO DE MUDAS DE PINHÃO MANSO
(*Jatropha curcas* L.)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Microbiologia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2008.



Prof. Luiz Antonio dos Santos Dias



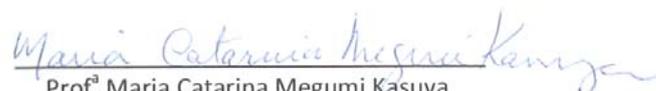
Prof. Arnaldo Chaer Borges



Prof. Maurício Dutra Costa
(Coorientador)



Prof. Marcos Rogério Tótola



Profª Maria Catarina Megumi Kasuya
(Orientadora)

Ao meu pai, **José Xavier de Carvalho**,
meu grande mestre desde os meus
tempos de pequenino

À minha mãe, **Lurdes Mundstock**,
pela vida, pelo constante apoio,
carinho e compreensão

Ao pequenino **Mateus**
À **Fabília**

Dedico

“**S**e eu acreditasse que o budismo é o melhor para todos no mundo, seria uma tolice, pois pessoas diferentes têm disposições mentais diferentes. Portanto, a variedade das pessoas exige uma variedade de religiões... Dessa forma, quer sejamos crentes, quer não sejamos, mais importante do que nossas crenças particulares estão nossas qualidades fundamentais de bondade, benevolência, compaixão e interesse pelos outros. Por mais maravilhosa que seja uma religião específica, ainda assim ela só será aceita por uma parte da humanidade. No entanto, enquanto formos seres humanos, enquanto formos membros da *família humana*, todos *nós* precisamos dessas qualidades espirituais básicas.”

Dalai Lama

“... **L**embro-me de uma influência que tive na minha época de universitário. Havia um velho professor no meu departamento que era apaixonado por uma teoria em particular há anos. Certa vez, um pesquisador americano visitou minha universidade e derrubou completamente aquela hipótese do professor. O velho professor deu um passo à frente, apertou a mão do palestrante e disse: “meu caro colega quero lhe agradecer, estive enganado nesses 15 anos...” Todos nós aplaudimos estupefatos pois aquele era o ideal científico de alguém que investiu muito, quase uma vida em uma teoria, e estava agora feliz porque haviam demonstrado seu erro, e a *verdade científica* havia avançado.”

Richard Dawkins

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Microbiologia, pela oportunidade de realização deste curso.

À professora Maria Catarina Megumi Kasuya, mais do que uma orientadora, pela orientação, oportunidade, confiança, liberdade e amizade.

Ao povo brasileiro que, por meio de impostos, permitiu o auxílio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES).

Ao professor Maurício Dutra Costa, pela co-orientação, amizade e incentivo durante a execução deste trabalho.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais, pela co-orientação, entusiasmo e pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos professores Marcos Rogério Tótola, Arnaldo Chaer Borges e Luiz Antônio dos Santos Dias, que participaram da banca de defesa desta dissertação, pelas sugestões e atenção.

À Fabrícia, pela enorme paciência, compreensão, amor, carinho e dedicação, do início ao fim.

Ao Bruno, Muriel, Marliane, Fernanda, Adalberto e Natália pelo auxílio na execução deste trabalho.

Ao meu irmão e amigo Miguel, que apesar da distância sempre esteve presente, pela amizade e pelas saudosas discussões que tanto me influenciaram.

Aos “irmãos” Vando, Gildo e Diego.

À Marliane e à Lydice, pela amizade, ensinamentos, constante apoio e paciência desde o início da nossa “simbiose”.

Aos amigos e colegas do Departamento de Microbiologia, entre os quais não posso deixar de mencionar Bruno, Raul, “Mumu”, Helson, Maíke, Fabi, Tiago “milk”, Marlon, Zé Maria, Vinícios, Fernanda, Paulo “doidão”, Andréa “Ferraz...”, Maurício Fontes, Alexander, Matheus, Rômula, Gilmara, Andrezão e João Júlio.

Ao professor Vicente Wagner Dias Casali e à professora Maria Cristina Baracat-Pereira, pelos ensinamentos.

Aos professores Paulo Roberto Cecon e Hélio Garcia Leite pela atenção no esclarecimento de dúvidas.

Ao Sr. Nagashi Tominaga, pela atenção e ajuda, e aos agricultores que nos receberam, pelo apoio e acolhimento.

Aos funcionários do Departamento de Microbiologia, em especial ao Sebastião Soares da Silva pela ajuda e amizade.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ANDRÉ MUNDSTOCK XAVIER DE CARVALHO, filho de José Xavier de Carvalho e Lurdes Mundstock, nasceu em União da Vitória, no estado do Paraná no dia 14 de janeiro de 1984.

Iniciou seus estudos na Universidade Federal de Viçosa (Viçosa, MG) em abril de 2001, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em 2006.

Em maio de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Microbiologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. A cultura do pinhão manso.....	3
2.2. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).....	5
2.2.1. Os FMAs e a absorção de nutrientes.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1. Ocorrência e a abundância de FMAs em solos sob cultivo de pinhão manso.....	10
3.1.1. Amostragem do solo.....	10
3.1.2. Abundância de esporos e colonização micorrízica.....	12
3.2. Níveis de fósforo no solo, colonização micorrízica e o crescimento das plantas.....	13
3.2.1. Multiplicação do inóculo fúngico.....	13
3.2.1.1. Extração de esporos para inoculação.....	14
3.2.2. Obtenção das plantas de pinhão manso.....	14
3.2.3. Preparo do substrato e condução do experimento.....	15
3.2.4. Crescimento, alterações fisiológicas, colonização micorrízica e nutrientes em mudas de pinhão manso.....	17

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Ocorrência e abundância de esporos de FMAs em plantios de pinhão manso	20
4.2. Níveis de fósforo no solo, colonização micorrízica e o crescimento das plantas.....	24
5. CONCLUSÕES.....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXOS.....	49

RESUMO

CARVALHO, André Mundstock Xavier de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2008. **Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. Orientadora: Maria Catarina Megumi Kasuya. Co-orientadores: Maurício Dutra Costa e Roberto Ferreira de Novais.

O pinhão manso é uma planta arbórea de pequeno porte da família das euforbiáceas, com grande potencial de uso como matéria-prima para produção de biocombustível. Possivelmente, características como rusticidade, tolerância à seca, baixa exigência nutricional, entre outras atribuídas à cultura, possam estar relacionadas ao nível de dependência micorrízica dessa espécie. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram avaliar a ocorrência e a abundância de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em cultivos de pinhão manso e, avaliar o efeito de níveis de P no solo, na presença ou não de FMAs, sobre a nutrição e o crescimento do pinhão manso. Uma área de viveiro e sete áreas de cultivo de pinhão manso localizadas nos municípios de Viçosa e Canaã (MG) foram amostradas. As distintas características químicas dos solos sob estes cultivos, embora tenham em alguns casos apresentado correlações negativas significativas com a percentagem de colonização radicular ou com o número de esporos, não suprimiram a colonização micorrízica abaixo de 70 %. A densidade de esporos variou de 8,5 a 47,4 esporos por grama de solo seco. O efeito de níveis de P no solo, na presença ou não de FMAs, sobre a nutrição e o crescimento das plantas foi avaliado em casa de vegetação. O crescimento respondeu positivamente à adubação fosfatada e à colonização micorrízica. De um modo geral, a inoculação com FMAs favoreceu o acúmulo de nutrientes, influenciando também sobre os teores foliares de N, P, K, Zn e Fe. As plantas inoculadas

apresentaram colonização micorrízica variando de 41 a 96 % e maiores taxas fotossintéticas e de transpiração que as plantas não inoculadas, mesmo nos níveis mais elevados de P no solo. Os teores foliares de nutrientes indicam que a natureza destes benefícios deve-se, em sua maior extensão, à melhor nutrição das folhas. Os resultados indicam que a adubação fosfatada não compromete a colonização micorrízica, mesmo em níveis de 600 mg kg⁻¹, de solo, sugerindo que a planta apresenta considerável nível de dependência por essa associação.

ABSTRACT

CARVALHO, André Mundstock Xavier de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2008. **Arbuscular mycorrhizal fungi and growth of physic nut seedlings (*Jatropha curcas* L.)**. Adviser: Maria Catarina Megumi Kasuya. Co-advisers: Maurício Dutra Costa and Roberto Ferreira de Novais.

Physic nut is a shrub of the Euphorbiaceae family that can be used as raw material for the production of biodiesel. Its rusticity, tolerance to draught, and low nutritional demand, among other traits, may be related to the mycorrhizal dependency of this plant. Thus, the objective of this work was to evaluate the occurrence and the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) in physic nut plantations and to evaluate the effect of soil P levels on the nutrition and growth of mycorrhizal physic nut seedlings. Soil and root samplings were done in a nursery and in seven plantation sites located in the municipalities of Viçosa and Canaã, Minas Gerais State, Brazil. The chemical characteristics of the soils in the plantation sites did not suppress mycorrhizal colonization, always higher than 70 %, although in some cases, significant negative correlations were observed between soil fertility and root colonization and spore numbers. Spore density varied from 8.5 to 47.4 spores per gram of dry soil. Nutrition and growth of mycorrhizal physic nut seedlings were evaluated in the greenhouse under different P levels. Seedling growth responded positively to phosphate fertilization and to mycorrhizal colonization. In general, AMF inoculation favored the total nutrient content and the leaf concentrations of N, P, K, Zn, and Fe. The inoculated plants showed mycorrhizal colonization percentages varying from 41 to 96 % and higher photosynthetic and transpiration rates than the non-inoculated control plants, even in the highest P level tested. The nutrient levels in the leaves indicated that the

nature of the benefits brought about by AMF inoculation is due to a better plant nutrition. These results indicate that phosphate fertilization does not inhibit mycorrhizal colonization, even at 600 mg kg^{-1} , suggesting that physic nut plants show a considerable level of dependency on the mycorrhizal association.

1. INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são fungos de solo formadores das micorrizas arbusculares, uma relação mutualista muito comum da natureza, formada entre estes fungos e as raízes da grande maioria das plantas. Entre seus benefícios estão o aumento na absorção de água e de nutrientes pelas plantas, a proteção contra patógenos radiculares, o aumento do vigor do sistema radicular, maior tolerância das plantas a condições de estresse e a promoção da agregação do solo. Os efeitos benéficos desta associação já foram relatados em várias culturas de interesse econômico em agroecossistemas brasileiros, sendo que as respostas da inoculação são maiores, mais consistentes e promissoras em plantas que passam por fase de formação de mudas, como ocorre com o pinhão manso.

O pinhão manso é uma planta arbórea de pequeno porte da família das euforbiáceas, com excelente potencial para produção de óleo destinado à produção de biocombustível. Como uma planta perene, a formação da área de cultivo, com qualidade, uniformidade e precocidade produtiva depende da produção de mudas de boa qualidade. Dessa forma, a inoculação com fungos micorrízicos na fase de formação de mudas, se positivamente responsiva, pode contribuir a essas características, garantindo o estabelecimento posterior da associação no campo.

Em geral, em condições de boa fertilidade do solo, especialmente em relação ao fósforo, a colonização pelos FMAs tende a ser reduzida, sendo os benefícios, subordinados, também, ao grau de dependência micorrízica da planta, da eficiência simbiótica dos fungos e de outras condições ambientais.

Conhecer as espécies de FMAs de ocorrência natural, sua abundância no solo e

as condições que permitem a colonização micorrízica em nível de campo são passos importantes na seleção de espécies e de práticas de manejo a serem utilizadas, de modo a garantir a sobrevivência destes fungos após o transplante. Além disso, devido o papel central que o fósforo exerce na formação desta associação, torna-se importante estudar a relação desse elemento com a colonização micorrízica na cultura do pinhão manso.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência e a abundância de FMAs em cultivos de pinhão manso, bem como o efeito de níveis de P no solo sobre a nutrição, colonização micorrízica e crescimento da planta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura do pinhão manso

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), também conhecido como pinhão do paraguai, pinhão-de-cerca, pinhão bravo, dentre outros, é uma planta arbórea de pequeno porte da família Euphorbiaceae, originária da América tropical mas já dispersa em áreas tropicais e subtropicais da África e da Ásia (Openshaw, 2000; Jongschaap et al., 2007). O potencial energético do pinhão manso já foi amplamente reconhecido (Banerji et al., 1985; Heller, 1996), sendo o óleo extraído de suas sementes de excelente qualidade para produção de biodiesel (Achten et al., 2008). Devido a procura por culturas alternativas para produção de óleo destinado ao biodiesel, a cultura do pinhão manso está sendo considerada como opção para agricultores em diversas regiões do país em razão, principalmente, do alto rendimento energético, relativa rusticidade e tolerância à seca, sendo adaptável a condições edafoclimáticas muito variáveis (Banerji et al., 1985), podendo ser encontrado desde o nordeste até os estados de São Paulo e Paraná (Arruda et al., 2004).

As áreas rurais dos municípios abrangidos neste estudo são caracterizadas pelo relevo acidentado pertencente ao domínio morfoclimático dos Mares de Morros Florestados, solos de baixa fertilidade natural e pelo predomínio de médias e pequenas propriedades (Resende & Resende, 1996). A cultura do pinhão manso tem potencial para difundir-se entre pequenos agricultores, entre outros motivos, por se tratar de cultura perene, necessitar de colheita manual e pela rusticidade (Brasil, 2005). Além disso, a cultura pode ser utilizada, com vantagens, na conservação do

solo, reduzindo a perda de água por evaporação e a erosão, não apenas devido ao sistema radicular profundo, mas também pelo aporte de material orgânico e pela estruturação do solo promovidos pela planta (Heller, 1996; Saturnino et al., 2005).

No Brasil, pesquisas do Ministério do Desenvolvimento Agrário indicam que a cada 1 % de substituição de óleo diesel por biodiesel, desde que produzido a partir da agricultura familiar, possam ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo (Holanda, 2004). Dessa forma, e diferentemente de outras culturas como a soja, girassol e algodão, a produção de biocombustível a partir de pinhão manso pode melhor contribuir para a fixação do homem no campo, gerando renda e atenuando o problema da migração para grandes cidades.

No Brasil, a agricultura que se organiza em torno de pequenas propriedades de gestão e força de produção familiar encontra-se, freqüentemente, diante de dificuldades como descapitalização, falta de assistência técnica e de acesso ao crédito, solos de má qualidade, entre outros (FAO/INCRA, 1996). Neste sentido, o uso de tecnologias de baixo custo ou que valorizem os recursos da própria propriedade, como o manejo dos FMAs nativos, pode ser fundamental para o sucesso dos empreendimentos familiares. Além disso, a sustentabilidade da produção de pinhão manso tende, como esperado, a ser menor em sistemas com grande “input” de energia externa (Achten et al., 2007; Achten et al., 2008). Sob estes aspectos, o uso de FMAs pode se constituir num componente adicional à sustentabilidade (Berbara et al., 2006; Hamel, 2004; Johansson et al., 2004), já que pode levar ao uso mais eficiente do P e de outros nutrientes pelas plantas quando comparado à aplicação de fontes solúveis desses elementos (Hamel, 2004; Satter et al., 2006).

No entanto, relativamente pouco se conhece sobre as exigências nutricionais da cultura (Achten et al., 2008). Conhecimentos básicos sobre a relação solo-planta para o pinhão manso são necessários ao desenvolvimento de técnicas de cultivo apropriadas ou ao suprimento adequado de seus requerimentos nutricionais (Chaudhary et al., 2008; Achten et al., 2008). Além disso, faz-se necessário estabelecer níveis críticos de nutrientes para a cultura de modo a nortear as avaliações de status nutricional de cultivos em campo (Chaudhary et al., 2008).

No Brasil, Kurihara et al. (2006) verificaram que, na formação de mudas, as plantas são altamente responsivas à adubação fosfatada, principalmente em solos

mais argilosos. As respostas à calagem e ao potássio são menos pronunciadas e tendem a estar associadas ao maior incremento na produção de caule (Kurihara et al., 2006). Silva et al. (2006) observaram que, no período inicial de crescimento, o pinhão manso apresenta maiores teores e maior acúmulo de P, K, Ca e Mg no caule do que nas folhas. Dessa forma, embora o pinhão manso desenvolva-se razoavelmente bem em solos pobres, exige, como esperado, boa fertilidade do solo para a obtenção de elevada produtividade (Foidl et al., 1996; Saturnino et al., 2005; Achten et al., 2008).

A associação entre fungos micorrízicos e o pinhão manso já foi relatada (Achten et al., 2008; Openshaw, 2000), mas publicações científicas sobre esta associação na cultura são muito raras ou mesmo inexistentes até o momento. Possivelmente, características como tolerância à seca, baixas exigências nutricionais, entre outras atribuídas à cultura possam estar relacionadas ao nível de dependência micorrízica desta espécie.

2.2. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Fungos micorrízicos arbusculares são fungos de solo formadores da relação mutualista mais comum na natureza, as micorrizas arbusculares, formadas entre estes e as raízes da grande maioria das plantas (Smith & Read, 1997).

Os FMAs são simbioses obrigatórios, pois completam seu ciclo de vida apenas se estiverem associados a uma planta hospedeira (Smith & Read, 1997). Pertencem à ordem Glomerales dos Glomeromicetos, onde agrupam-se em sete gêneros: *Acaullospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Paraglomus* e *Scutellospora*, com aproximadamente 160 espécies descritas (INVAM, 2007).

Observações de fósseis de plantas da era Devoniana revelaram que as micorrizas arbusculares existem há, aproximadamente, 400 milhões de anos, indicando que a transferência de nutrientes entre os simbioses deve ter existido durante a colonização da terra pelas plantas e demonstrando a importância das micorrizas na absorção e mineralização de nutrientes, na sobrevivência e na evolução das plantas (Simon et al., 1993; Brundrett, 2002).

Os FMAs têm sido considerados como uma das alternativas para maximizar a utilização de fertilizantes fosfatados, principalmente em regiões tropicais (Siqueira & Klauberg Filho, 1999), onde os solos apresentam disponibilidade de P normalmente baixa e alta capacidade de adsorção deste elemento (Novais & Smyth, 1999). Os benefícios da associação são subordinados ao grau de dependência micorrízica da planta, da eficiência simbiótica dos fungos e de condições ambientais (solo e clima), razão pelas quais as respostas são muito variáveis (Siqueira & Klauberg Filho, 1999). Sabe-se que o histórico da área pode afetar fortemente a colonização micorrízica e a população de FMAs no solo (Abbot & Robson, 1991; Douds Jr. et al., 1993; Eriksson, 2001). A presença deles, sabidamente, adquire maior essencialidade em áreas sob baixo aporte de fertilizantes (Douds Jr. et al., 1993), condição freqüente nas pequenas propriedades sob agricultura familiar na região da Zona da Mata mineira.

As espécies florestais nativas do Brasil são, de um modo geral, bastante responsivas à presença de micorrizas, principalmente na fase de obtenção de mudas (Carneiro et al., 1998). Dessa forma, a inoculação com fungos micorrízicos na fase de viveiro pode contribuir para uma boa formação das mesmas, garantindo o posterior estabelecimento da associação em campo.

As respostas da inoculação são maiores, mais consistentes e promissoras, em plantas que passam pela fase de formação de mudas. Quando a resposta das plantas não é percebida, isso freqüentemente pode indicar que fungos micorrízicos indígenas já tenham contribuído positivamente para promover o crescimento, sendo a inoculação desnecessária (Hamel, 2004).

A exploração de fungos micorrízicos arbusculares na agricultura é viabilizada pelo aumento da micorrização das plantas, que pode ser conseguido pela inoculação com isolados selecionados, por práticas de manejo seletivo da população indígena dos solos agrícolas ou ainda pela aplicação de compostos estimulantes da micorrização (Smith & Read, 1997). No entanto, a aplicação desses fungos em larga escala é ainda muito limitada, principalmente pela falta de inoculante aceito comercialmente (Caldeira et al., 1997). Por esse motivo, maior atenção tem sido dada ao manejo dos FMAs nativos dos solos, dada a sua adaptação às condições ambientais locais e a eliminação da necessidade de inoculação.

Atualmente, o cultivo do pinhão manso está em expansão, sendo a maioria dos

plantios ainda jovens e que ainda não atingiram o estado produtivo. A formação do plantel, com qualidade, uniformidade e precocidade produtiva depende da produção de mudas de qualidade. Dessa forma e, ainda, por se tratar de uma espécie arbórea, a inoculação com FMAs, na fase de formação de mudas, pode assegurar boa formação das mesmas, garantindo o estabelecimento posterior da associação micorrízica no campo e, conseqüentemente, os benefícios inerentes desta associação.

Conhecer as espécies de ocorrência natural, sua abundância no solo e as condições que permitem a colonização micorrízica em campo são passos importantes não só na seleção de espécies, mas também de práticas de manejo a serem utilizadas de modo a garantir a sobrevivência dos FMAs após o transplante (Siqueira & Klauberg Filho, 1999) e, com isso, levar os benefícios da associação para além da fase de formação de mudas.

2.2.1. Os FMAs e a absorção de nutrientes

Os FMAs são reconhecidos pelo importante papel no aumento da absorção de nutrientes pelas plantas, em especial daqueles em que o mecanismo de difusão é o principal responsável pela chegada até a raiz, como o P, o Cu, o Zn (Rhodes & Gerdemann, 1975; Smith & Read, 1997), e o K (Liu et al., 2002), além de Ca e Mg quando a disponibilidade destes estiverem baixas (Liu et al., 2002) e ainda, de N, S, Fe e Mn (Garg et al., 2006). No entanto, outros benefícios à planta, como aumento na fotossíntese, tolerância a patógenos e a estresses bióticos e abióticos (Smith & Read, 1997) são também reportados, estando possivelmente relacionados com a melhor nutrição das plantas.

O principal mecanismo responsável pelo aumento na absorção de íons por MAs tem sido relacionado ao aumento do volume de exploração do sistema radicular pelo micélio externo (Marschner & Dell, 1994). No entanto, mudanças fisiológicas também estão envolvidas entre os mecanismos responsáveis pelo aumento desta absorção (Garg et al., 2006; Berbara et al., 2006). Tomando-se o P como exemplo, foi relatado que raízes micorrizadas permanecem ativas por mais tempo e possuem maior

disponibilidade de energia metabólica para absorver P contra o gradiente de concentração existente entre as raízes e o solo, uma vez que a concentração de P na hifa é intermediária entre o solo e a planta. Sanders & Tinker (1973) demonstraram também que a velocidade de absorção do P por raízes de plantas micorrizadas foi maior que nas não micorrizadas, passando de $1,7 \times 10^{-14} \text{ mol cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para $3,6 \times 10^{-14} \text{ mol cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Incrementos na absorção de P pelas micorrizas podem ser explicados ainda pelo aumento na exploração física do solo, em decorrência do pequeno diâmetro da hifa, que permite explorar espaços do volume do solo inatingíveis pelas raízes (Bolan 1991; Berbara et al., 2006); pela transferência eficiente do P para as raízes da planta, ou pelo armazenamento do P absorvido nas hifas na forma de polifosfatos (Bolan, 1991; Berbara et al., 2006). A formação de polifosfatos pelo FMA leva à diminuição da concentração de Pi no interior das hifas, o que propicia o acúmulo de P em condições de alta disponibilidade deste elemento no solo e sua remobilização quando em condições de baixo P, melhorando, desse modo, a continuidade do fluxo de P para o hospedeiro (Berbara et al., 2006).

A eficiência da associação depende da complexa interação entre a planta, o fungo, o solo e as demais condições do ambiente. Isso significa que, para maior sucesso na utilização destes fungos, estudos destes fatores devem ser realizados especificamente, principalmente no que se referem à espécie vegetal (Garg et al., 2006), seguidos, em ordem de importância, às características químicas do solo e à espécie fúngica (Clark et al., 1999; Marschner & Dell, 1994).

Solos com altos níveis de adubação, em especial com fontes solúveis de fósforo, tendem a inibir o estabelecimento da associação, sendo o nível de P no solo o principal fator edáfico determinante da magnitude do efeito dos FMAs sobre o crescimento das plantas (Smith & Read, 1997; Garg et al., 2006). Aumentos na colonização micorrízica mais freqüentemente ocorrem quando P não é adicionado ao solo, não havendo, portanto, incrementos na produção de massa seca das plantas, devido à associação, em qualquer nível de P no solo (Mohammad et al., 2005).

Além disso, a resposta no crescimento da planta e na micorrização, em diferentes níveis de fertilidade do solo, é dependente da espécie vegetal. Essas diferenças podem ser expressas em termos de: i- dependência micorrízica, definida

geneticamente pela planta (Janos, 2007), sendo muito variáveis (Habte & Manjunath, 1991; Jaizme-Veja, 1995) ou, ii) em termos de responsividade (ou nível de resposta à micorrização ou eficiência micorrízica), dependente da interação entre os genomas do fungo e da planta e de condições edáficas (Janos, 2007). Conhecer a dependência e a eficiência micorrízica da planta hospedeira é importante para saber até que ponto a planta hospedeira irá responder à colonização com FMAs e assim predizer a resposta à inoculação micorrízica (Habte & Manjunath, 1991).

Sabendo-se que o nível de resposta à inoculação das plantas é variável e sendo a colonização suprimida em níveis distintos de P no solo, é importante conhecer a relação entre os níveis de P no solo e a colonização micorrízica para a cultura do pinhão manso, de modo a não impor condições demasiadamente restritivas ao estabelecimento e manutenção da associação, seja na fase de formação de mudas ou em condições de campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Associações Biológicas Micorrízicas, do Departamento de Microbiologia/Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

3.1. Ocorrência e abundância de FMAs em solos sob cultivo de pinhão manso

3.1.1. Amostragem do solo

Uma área de viveiro e sete áreas de cultivo de diferentes propriedades foram amostradas, sendo quatro no município de Viçosa e três no município de Canaã, ambos localizados na Zona da Mata do estado de Minas Gerais, durante o mês de abril. Um questionário foi aplicado aos produtores para a caracterização e construção de um breve histórico das áreas amostradas, onde foram coletadas informações sobre a área plantada, como o espaçamento, a altura média das plantas, as culturas anteriores e as formas de adubação e manejo (**Tabela 1**). A distribuição das áreas encontra-se na **Figura 1**.

Amostras de solo, de 0 a 20 cm de profundidade, foram coletadas com anel cilíndrico de 50 mm de diâmetro em três pontos igualmente distantes, na projeção da copa das plantas de pinhão manso, formando-se uma amostra composta por planta. No viveiro as amostras de solo consistiram em mudas individualizadas por sacos plásticos pretos (6 x 15 cm). Foram amostradas cinco plantas por área, totalizando 40

Tabela 1. Localização, descrição e características físico-químicas dos solos em sete áreas de cultivo e em viveiro sob cultivo de pinhão manso.

	ÁREAS							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Município	Viçosa	Viçosa	Viçosa	Viçosa	Viçosa	Canaã	Canaã	Canaã
Área/ Posição	(Viveiro)	0.2 ha baixada	6.0 ha encosta	0.3 ha baixada	3.0 ha encosta	2.4 ha encosta	1.0 ha encosta inf.	1.0 ha encosta inf.
Altitude/ Localização	Δ650m 20°44'13,0" S 42°50'47,9" W	Δ670m 20°41'42,6" S 42°49'06,6" W	Δ665m 20°48'32,1" S 42°52'51,2" W	Δ669m 20°49'31,1" S 42°50'56,3" W	Δ670m 20°44'59,5" S 42°50'29,8" W	Δ604m 20°39'50,1" S 42°33'53,5" W	Δ695m 20°39'45,5" S 42°37'47,8" W	Δ778m 20°41'33,4" S 42°35'42,7" W
Espaçamento (m)	0,06 x 0,06	3,5 x 3,0	3,5 x 3,0	3,0 x 3,0	3,0 x 4,0	3,0 x 4,0	3,0 x 4,0	3,0 x 4,0
Idade (meses)	3	12	13	12	13	12	12	12
Cult. anterior/ consórcio	pousio/pousio	capoeira/ci- tros	mata, capoeira	café/café- pinus	capoeira	capoeira	pasto	pousio/milho - feijão
Implantação e manejo[†]	bov, min, aus	bov, aus	cal, min, cob	min, fra, aus	min, glif, aus	cal, fra, min, glif	fra, aus	-
Altura das plantas (m)	0,62	0,79	2,12	1,88	0,80	1,79	1,91	1,33
pH_{H2O}^{††}	5,3	4,9	5,8	5,9	4,4	5,2	5,1	4,9
P (mg dm⁻³)	119,5	1,0	15,5	7,8	6,1	2,2	3,8	1,4
K (mg dm⁻³)	149	31	200	113	41	60	100	43
Ca²⁺ (cmol_c dm⁻³)	5,7	1,2	5,0	2,7	0,3	2,2	1,1	0,8
Mg²⁺ (cmol_c dm⁻³)	0,8	0,6	1,2	1,4	0,2	0,5	0,6	0,3
Al³⁺ (cmol_c dm⁻³)	0,1	0,3	0,0	0,0	1,7	0,1	0,4	0,5
H+Al (cmol_c dm⁻³)	3,80	5,12	3,14	3,96	6,93	3,80	5,28	4,79
SB (cmol_c dm⁻³)	6,88	1,88	6,71	4,39	0,60	2,85	1,96	1,21
CTC_t (cmol_c dm⁻³)	6,98	2,18	6,71	4,39	2,30	2,95	2,36	1,71
CTC_r (cmol_c dm⁻³)	10,68	7,00	9,85	8,35	7,53	6,65	7,24	6,00
V (%)	64	27	68	53	8	43	27	20
m (%)	1	14	0	0	74	3	17	29
MO (dag kg⁻¹)	1,90	1,90	2,40	2,70	1,90	1,50	1,70	1,60
P-rem (mg L⁻¹)	42,10	15,10	32,60	32,60	19,40	28,80	17,30	22,80
Umidade (%)	28,33	19,34	19,01	18,21	21,91	19,15	18,22	20,31

[†] calagem (cal), adubação orgânica com cama de frango (fra), adubação orgânica com esterco bovino (bov), adubação mineral (min), uso de glifosato para controle de plantas daninhas (glif), adubação de cobertura (cob), ausência de controle químico para pragas e doenças (aus).

^{††} pH em água, KCl e CaCl₂ – relação 1;2,5. P e K: extrator Mehlich 1. H+Al: extrator acetato de Cálcio 0,5M, pH 7,0. SB: soma de bases. CTC_t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. CTC_r: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0. V: índice de saturação de bases. m: índice de saturação de Al. MO: Mat. Org. = C.org x 1,724 – Walkley – Black. P-rem = Fósforo remanescente. % de umidade: base seca.

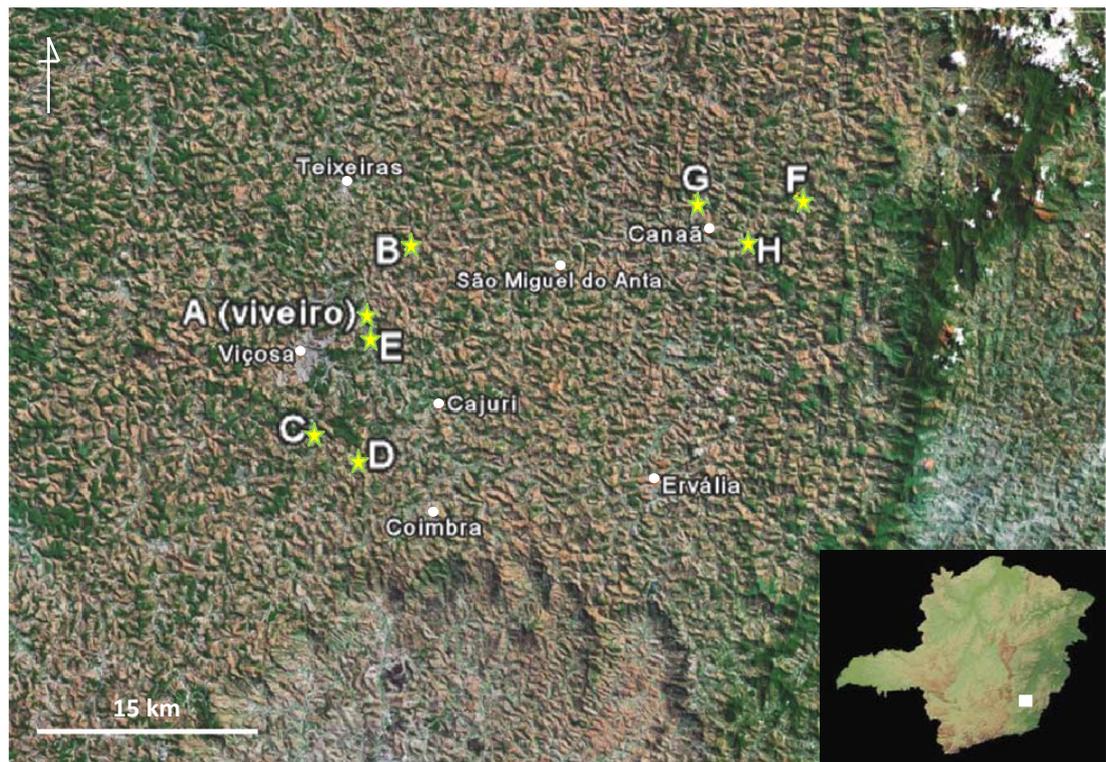


Figura 1. Áreas sob cultivo de pinhão manso nos municípios de Viçosa, MG (A a E) e Canaã, MG (F a H) onde foram realizadas as coletas de amostras de solo e sistema radicular. Detalhes sobre as áreas de coleta encontram-se na **Tabela 1**). Adaptado do Google Earth.

amostras. Amostras do sistema radicular foram coletadas nas mesmas plantas, porém em apenas um ponto por planta, de modo a causar o mínimo de dano. As amostras de solo e raízes foram acondicionadas em sacos plásticos separadamente e armazenadas em geladeira a 4 °C. Posteriormente foi preparada uma amostra composta do solo de cada área para análises químicas (**Tabela 1**) e para multiplicação do inóculo fúngico.

3.1.2. Abundância de esporos e colonização micorrízica

A abundância de esporos de FMAs foi avaliada pela extração e contagem de esporos obtidos de 100 g de solo, utilizando-se a técnica do peneiramento úmido, seguido por centrifugação com solução de sacarose 60 % (Gerdeman & Nicolson,

1963). Os esporos extraídos foram contados sob lupa binocular estereoscópica. Foi observado a presença de esporos de algumas famílias, embora nem todos os esporos puderam ser classificados. A colonização radicular por FMAs foi estimada pelo método da contagem em placa reticulada (Koske & Gemma, 1989), descoradas em solução KOH 10 % e coradas com azul de tripano 0,05 % em lactoglicerol (Giovannetti & Mosse, 1980). Os valores médios de colonização e a abundância de esporos de FMAs de cada área foram correlacionados com características químicas do solo por correlação linear de Pearson. Os valores de densidade de esporos e colonização micorrízica foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

3.2. Níveis de fósforo no solo, colonização micorrízica e o crescimento das plantas

3.2.1. Multiplicação do inóculo fúngico

Foi utilizado inóculo fúngico nativo proveniente de áreas de cultivo de pinhão manso obtido como descrito no **item 3.1**. Das amostras foi retirada uma amostra composta para multiplicação do inóculo fúngico em cultura armadilha. Para tal, sementes de *Brachiaria decumbens* foram desinfestadas superficialmente em solução de hipoclorito de sódio 3 % (v/v) por 5 min e colocadas para germinação, em casa de vegetação, em vasos contendo 1 kg de mistura formada por solo e areia na proporção 1:1 (v/v) autoclavada (121°C/2 h).

Após 2 semanas, os vasos receberam a mistura dos inóculos fúngicos nativos, constituída de solo, raízes, hifas e esporos. Periodicamente a umidade do solo nos vasos foi corrigida com água e, quinzenalmente, foram aplicados 100 mL planta⁻¹ de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975), porém com ½ força para P. As plantas foram cultivadas por 80 dias, sendo suspensa a irrigação após esse período até a secagem completa das plantas. Em seguida, as partes aéreas foram eliminadas e o solo foi armazenado em sacos plásticos pretos à temperatura ambiente até a montagem do

experimento. A densidade de esporos do solo inóculo foi determinada segundo Gerdeman & Nicolson (1963) e foi de 3,92 esporos g^{-1} de solo seco.

3.2.1.1. Extração de esporos para inoculação

O solo contendo esporos e fragmentos de raízes foi pesado, imerso em água de torneira e passado pelas peneiras de 0,85 e 0,044 mm de abertura, sendo o material retido nesta última transferido para béqueres. Após 10 minutos de decantação em água, os resíduos orgânicos da superfície foram removidos com auxílio de uma peneira de 2 mm de abertura. O sobrenadante foi então, lentamente vertido sobre a peneira de 0,044 mm. O material retido foi transferido para outro béquer, adicionando-se, a seguir, 300 mL de solução de sacarose a 60 % (m/v). Após agitação, a mistura foi decantada por 2 min e o sobrenadante foi lentamente vertido sobre a peneira de 0,044 mm. Ao material retido eram novamente adicionados 300 mL de solução de sacarose, agitado e decantado por 2 min e o sobrenadante recolhido em peneira de 0,044 mm. Os esporos retidos foram lavados em água corrente e transferidos para um béquer.

3.2.2. Obtenção das plantas de pinhão manso

Sementes de pinhão manso, obtidas junto à NNE MINAS AGRO FLORESTAL LTDA, foram lavadas em água e desinfestadas superficialmente em solução de hipoclorito de sódio 1,5 % (v/v) por 10 minutos. Em seguida, as mesmas foram descascadas com o auxílio de uma mini-morça de modo a facilitar e homogeneizar a germinação, adaptando-se a técnica descrita por Dias et al. (2003) para o maracujazeiro. Foram, em seguida, novamente desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio 1,5 % (v/v) por 10 min, lavadas em água estéril e semeadas em areia esterilizada sendo então acondicionados em câmara de crescimento (Diurno

Termo Forma M3740) à temperatura de 26 ± 2 °C, no escuro, até a germinação. As plântulas foram levadas para a casa de vegetação e, sob tela de sombreamento tipo sombrite 50, permaneceram por 15 dias até a montagem do experimento. Sete dias após a germinação, as plântulas receberam solução nutritiva de Clark (Clark, 1975).

3.2.3. Preparo do substrato e condução do experimento

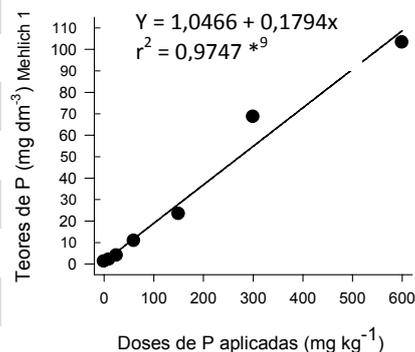
Foi utilizada uma amostra de solo do banco de solos do Departamento de Microbiologia, classificada como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Embrapa, 2006), sendo proveniente do município de Viçosa, MG. As características químicas e físicas deste solo são descritas na **Tabela 2**.

Solo e areia foram passados por peneira de 4 mm de abertura para uniformização. O solo foi homogeneizado e adicionado de água até, aproximadamente, 30 % (m/m) de umidade e pasteurizado, por três vezes, durante 1 hora em vapor fluente sob pressão atmosférica normal, em intervalos de 24 horas, para eliminar patógenos e FMAs nativos (Dell'Amico et al., 2002). A areia foi lavada e autoclavada por 2 horas a 121 °C.

Em seguida, uma mistura do solo e areia 2:1 (v/v), foi acondicionada em recipientes plásticos de 3 dm³ e ao conteúdo destes adicionados 1,0 g kg⁻¹ de mistura dos corretivos CaCO₃ e MgCO₃, na relação estequiométrica de 4:1, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). O teor de umidade foi ajustado para 35 % (m/m). Os recipientes foram, então, incubados por sete dias, à temperatura ambiente. Após esse período foram adicionadas as doses correspondentes a 0, 10, 25, 60, 150, 300 e 600 mg kg⁻¹ de P, na forma de superfosfato triplo, com 46 % de P₂O₅ e 10 % de Ca. Este foi previamente seco a 50 °C por 48 h, ligeiramente macerado em cadinho de porcelana e passado por peneira de abertura de 0,42 mm para melhor padronização da granulometria. Os níveis de cálcio foram mantidos constantes pela adição de CaCl₂, tomando-se como base o tratamento em que se adicionou a maior dose de superfosfato triplo. Após a homogeneização, a mistura foi colocada em sacos de polietileno pretos e acomodada

Tabela 2. Características químicas e físicas das amostras de solo e da mistura solo:areia 2:1 (v/v), sem e após a adição de diferentes doses de P

	Solo:areia (2:1 v/v)* ¹								
	Solo	Solo após a calagem	Doses de P (mg kg ⁻¹)* ²						
			0	10	25	60	150	300	600
pH (H ₂ O - 1:2,5)	4,92	6,5							6,4
K (mg dm ⁻³)* ³	17	19							
S (mg dm ⁻³)* ⁴	57,8	70,0							113,0
Ca²⁺ (cmol _c dm ⁻³)* ⁵	0,10	1,1	2,0	2,1	2,0	2,2	2,0	2,3	2,3
Mg²⁺ (cmol _c dm ⁻³)* ⁵	0,06	3,5							
Al³⁺ (cmol _c dm ⁻³)* ⁵	0,0	0,0							
H+Al (cmol _c dm ⁻³)* ⁶	2,50	0,83							
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,20	4,65							
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	0,20	4,65							
CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	2,70	5,48							
V (%)	7,4	85							
m (%)	0,0	0,0							
M.O. (dag kg ⁻¹)* ⁷		0,1							
P-rem (mg L ⁻¹)	5,50	11,8							
Zn (mg dm ⁻³)* ³		1,1							
Fe (mg dm ⁻³)* ³		54,5							
Mn (mg dm ⁻³)* ³		20,8							
Argila; silte (%)		30;8* ⁸							
Areia grossa; areia fina (%)		53;9* ⁸							
P (mg dm ⁻³)* ³	1,3	1,1	1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2



*¹ Análise realizada 17 dias após calagem e 10 dias após fertilização com superfosfato triplo;

*² Doses de P aplicados ao solo na forma de superfosfato triplo com 46 % de P₂O₅ (CNA + água) e 10 % de Ca (Fertilizantes Heringer S/A, 2006);

*³ Extrator Mehlich 1;

*⁴ Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético;

*⁵ Extrator KCl 1M;

*⁶ Extrator Acetato de Cálcio 0,5M – pH7,0;

*⁷ Matéria orgânica (MO) = C. org x 1,724 – Walkley-Black;

*⁸ Classificação Textural: Franco Argilo Arenosa;

*⁹ Equação de regressão ajustada entre os teores de fósforo nas amostras de solo (recuperados pelo extrator Mehlich 1) em função das doses de P aplicadas ao solo.

em vasos plásticos de 3 dm³ de capacidade (Pereira, 1986). Os vasos foram incubados por 10 dias, à temperatura ambiente, e após esse período foram retiradas amostras de 20 dm³ de solo de cada vaso para análises químicas (**Tabela 2**).

Foram selecionadas plantas homogêneas e bem desenvolvidas, obtidas como descrito no **item 3.2.2**. A inoculação com FMAs deu-se pela adição dos extratos (**item 3.2.1.1**) no momento do transplântio, nas proximidades das raízes das plantas, totalizando aproximadamente 1300 esporos por planta. Um dia após a inoculação foram adicionados 50 mL vaso⁻¹ de um filtrado do inóculo. Este filtrado foi obtido pela passagem em peneira com malha de 0,044 mm e em papel de filtro, de modo a padronizar e reconstituir parte da microbiota. Dois dias após a inoculação foi realizada uma adubação básica com macro e micronutrientes, adicionando-se 200 mL de solução nutritiva de Clark planta⁻¹ (Clark, 1975), omitindo-se o P. Posteriormente, aos 26, 42 e 55 dias de cultivo foram adicionados 100 mL planta⁻¹ de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975), com ½ de força, ausentando-se o P.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (7 x 2), constituído de sete doses de P e da inoculação ou não com o inóculo nativo de FMAs, com cinco repetições.

3.2.4. Crescimento, alterações fisiológicas, colonização micorrízica e nutrientes em mudas de pinhão manso

Periodicamente, foram determinadas a altura da plantas e o diâmetro dos caules, na região do coleto. Ao longo do experimento, as folhas senescentes foram recolhidas, secas até peso constante, pesadas e adicionadas quando da avaliação da matéria seca total.

Aos 76 dias após a inoculação, foram avaliadas a taxa fotossintética e a taxa de transpiração, com um analisador de gases no infravermelho (IRGA) marca ADC, modelo LCA 4 (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). Para que as medições fossem realizadas numa mesma manhã, foram selecionadas plantas, dentro de cada tratamento, pela homogeneidade e pela presença de folhas completamente

expandidas. As medições foram realizadas em casa de vegetação em dia sem nebulosidade, no início da manhã, sob condições de temperatura entre 29 e 38 °C, irradiância e concentração de CO₂ ambiente, capturado do lado externo da casa de vegetação. A leitura no IRGA foi realizada na folha mais jovem completamente expandida. Após as leituras, essas folhas foram marcadas, para serem coletadas e analisadas separadamente.

Aos 78 dias após a inoculação, às 17 horas, os vasos foram irrigados até ficarem completamente saturados, aproximadamente 35 % de umidade (m/m). Duas horas depois, as plantas foram cortadas com estilete 1 cm acima do colo e o exsudato do xilema foi recolhido com micropipeta durante 60 minutos. Estimou-se o volume de exsudato produzido pela diferença de massa entre o frasco sem a amostra e após seu recolhimento, sendo as amostras congeladas logo em seguida (Ruiz, et al., 1988).

Após determinada a massa fresca das partes aéreas, as folhas foram destacadas. A área foliar foi medida utilizando-se um integrador de área foliar LI-COR, modelo Li-3100. O sistema radicular, após a retirada do solo por decantação em água e lavagem sobre peneira de 0,6 mm de abertura, foi retirado o excesso de umidade em papel toalha e pesado. Uma amostra de aproximadamente 0,5 g foi retirada para determinação da percentagem do comprimento de raízes colonizadas pelos FMAs. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro em solução de FAA (Formol:ácido acético:álcool etílico 96°, 1:1:18, v/v/v) para posterior avaliação da colonização micorrízica. Em seguida os sistemas radiculares restantes e as partes aéreas foram secos em estufa de ventilação forçada a 60 °C, até peso constante. Raízes e partes aéreas foram moídas em moinho tipo Wiley e mineralizadas em solução nitroperclórica (Johnson & Ulrich, 1959). Os teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o teor de K, por fotometria de chama e o de P foi determinado colorimetricamente pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O teor de N foi determinado, após digestão sulfúrica, empregando-se um digestor semi-micro Kjeldahl (Embrapa, 1999).

A colonização radicular por FMAs foi estimada pelo método da contagem em placa reticulada (Koske & Gemma, 1989), conforme já descrito no **item 3.1.2**.

A diferença relativa entre as características biomassa fresca da parte aérea e fósforo acumulado na parte aérea, em plantas inoculadas (I) e não inoculadas (NI),

denominada de eficiência micorrízica (EM), foi calculada empregando-se a fórmula $(I - NI)/NI$, em cada um dos níveis de P no solo.

As análises estatísticas foram processadas com auxílio dos softwares Saeg 9.1 (Euclides, 1983), SigmaPlot 10.0 (SPSS, 2006) e Minitab 15 Inc, USA. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5 ou a 10 % de probabilidade. Quando necessário, os dados foram submetidos à análise de regressão simples ou múltipla com superfícies de resposta, sendo os parâmetros obtidos testados pelo teste t. Modelos reduzidos foram ajustados quando o fator colonização micorrízica e a interação não foram significativos. Os valores de colonização micorrízica foram previamente transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$ (Gomes, 1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ocorrência e abundância de esporos de FMAs em plantios de pinhão manso

Foi observada a ocorrência abundante de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos no solo e de estruturas típicas da associação no sistema radicular, em todas as plantas das áreas sob cultivo de pinhão manso (**Figura 2**).

A percentagem média de colonização micorrízica das raízes de pinhão manso foi de 88,3 %, diferindo entre as áreas de cultivo ($P < 0,05$) (**Figura 3**). As médias obtidas, no entanto, encontraram-se acima dos níveis considerados altos de micorrização (Smith & Read, 1997). A densidade de esporos foi superior no solo da área G e inferior nos solos das áreas A, C, D e F ($P < 0,05$) (**Figura 3**).

Altas taxas de colonização micorrízica foram observadas, inclusive, em plantas bastante jovens, em viveiro, com apenas três meses de idade, indicando o importante papel destes fungos para a formação de mudas. Considerando a prática comum de desinfestação de substratos para produção de mudas, a ocorrência natural destes fungos sugere a necessidade de inoculação em viveiro, objetivando o estabelecimento mais rápido da associação e, assim, melhor qualidade e menor mortalidade das mesmas em campo.

Em todas as áreas, o número de esporos de FMAs foi elevado, sendo as diferenças entre as áreas possivelmente relacionadas às habilidades diferenciadas de esporulação entre diferentes espécies de FMAs. É importante, no entanto, atentar para o fato de que, comumente, somente a densidade de esporos no solo não é

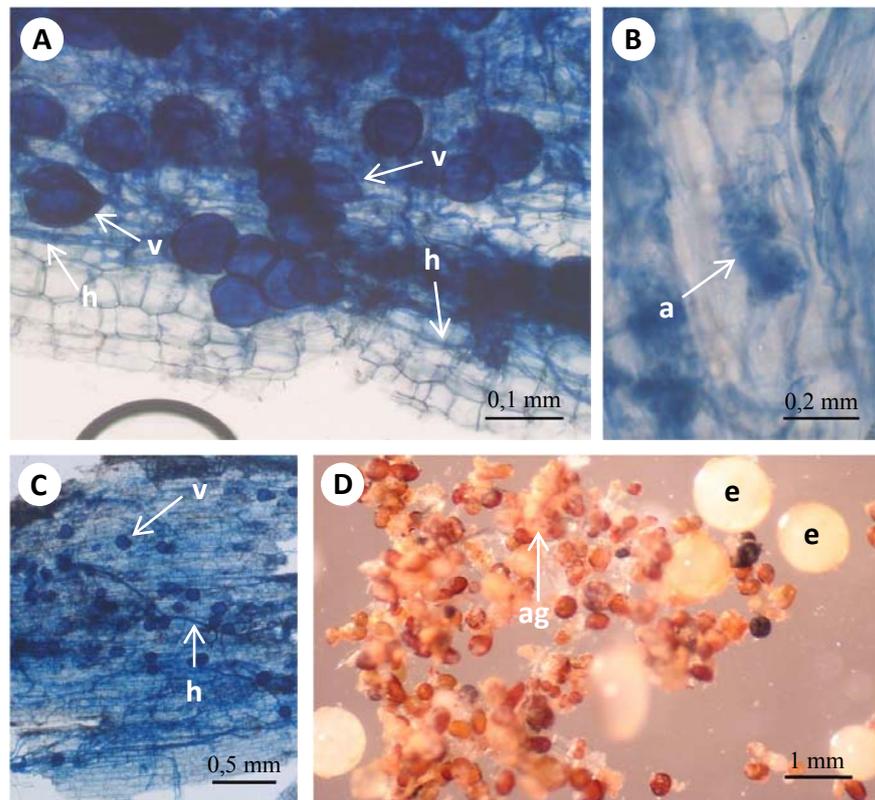


Figura 2. Estruturas típicas de fungos micorrízicos arbusculares no sistema radicular de plantas de pinhão manso. (A) e (C) vesículas (v) e hifas intrarradiculares (h); (B) arbúsculo (a); (D) esporos extraídos de solo sob cultivo de pinhão manso destacando-se os da família Gigasporaceae (e), e agregados de esporos junto às partículas de solo (ag).

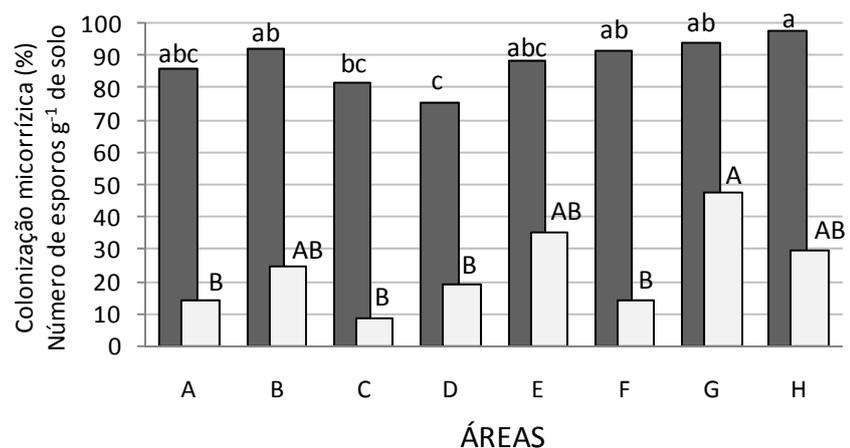


Figura 3. Colonização micorrízica () e número de esporos por grama de solo () em uma área de viveiro (A) e sete áreas de cultivo sob cultivo de pinhão manso (B a H), conforme **Tabela 1**. Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula ou minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

bom indicativo da associação, pois existe um espaço de tempo entre a associação micorrízica e a esporulação (Smith & Read, 1997; Picone, 2000). A abundância de esporos fornece um indicativo da população presente no solo em um dado momento ou ciclo de cultivo, e isso pode explicar as elevadas densidades de esporos encontradas, já que as coletas foram realizadas no início da estação seca.

As diferenças encontradas na colonização micorrízica podem, também, ser atribuídas à diversidade de espécies colonizando o sistema radicular das plantas ou ainda à fertilidade do solo (Eriksson, 2001; Berbara et al., 2006). Dessa maneira, embora altos níveis de P não tenham impedido a micorrização, a soma de bases (SB) e, por conseguinte, a saturação por bases apresentaram correlação negativa, tanto com a colonização radicular quanto com o número de esporos no solo (**Tabela 3**).

A diversidade de morfotipos de esporos encontrados foi alta, estando entre as famílias presentes representantes de Glomeraceae, Acaulosporaceae e Gigasporaceae. A alta frequência de esporos intrarradiculares são indícios de ocorrência da espécie *Glomus intraradices* (INVAM, 2007). A diversidade de FMAs pode influenciar positivamente a diversidade da microbiota, a captura de nutrientes e a produtividade vegetal, podendo ser o fator mais determinante na manutenção da biodiversidade de plantas (van der Heijden, 1998).

O histórico da área pode afetar fortemente as taxas de colonização micorrízica e a população de FMAs no solo (Eriksson, 2001; Garg et al., 2006). A monocultura, o cultivo de plantas não-hospedeiras, o pousio prolongado sem vegetação, a erosão, a compactação, o uso de fertilizantes em quantidades excessivas e o uso de agrotóxicos sistêmicos estão entre os principais fatores que concorrem para redução ou eliminação dos FMAs (Abbot & Robson, 1991). Os benefícios da associação, portanto, estão subordinados ao grau de dependência micorrízica da planta, da eficiência simbiótica dos fungos e de condições ambientais de solo e clima (Siqueira & Klauberg Filho, 1999), razões pelas quais as respostas à planta são muito variáveis.

Áreas com altos níveis de adubação, em especial com fontes solúveis de fósforo, tendem a inibir o estabelecimento da associação micorrízica (Smith & Read,

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre características químicas do solo, a colonização micorrízica e a densidade de esporos no solo.

	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
Colonização micorrízica	-0,718*	-0,239	-0,622*	-0,579	-0,850**	0,291	0,425
Densidade de Esporos	-0,608	-0,360	-0,499	-0,753*	-0,541	0,580	0,791**
	SB [†]	CTC _t	CTC _r	V	MO	P-rem	Col.
Colonização micorrízica	-0,661*	-0,686*	-0,679*	-0,663*	-0,916**	-0,620*	1
Densidade de Esporos	-0,742*	-0,703*	-0,530	-0,790**	-0,380	-0,746*	0,359*

[†] SB: soma de bases. CTC_t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. CTC_r: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0. V: índice de saturação de bases. MO: Matéria Orgânica. P-rem = Fósforo remanescente. Col.: Colonização micorrízica. * e **: significativos a 5 e 1 %.

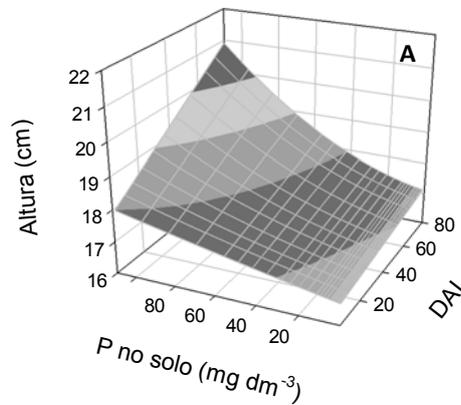
1997). No entanto, para o pinhão manso, os altos níveis de fósforo no solo da área A, por exemplo, bem como as diferentes práticas de cultivo utilizadas (**Tabela 1**), aparentemente tiveram pouca interferência na colonização radicular e na densidade de esporos (**Figura 3**). De um modo geral, o conjunto das práticas de adubação e manejo aplicadas em cada área foi pouco restritivo à colonização micorrízica do pinhão manso. Isso sugere que a cultura apresenta considerável dependência micorrízica, não interrompendo a associação em níveis de P em que outras culturas comumente não formariam micorrizas (Giovannetti et al., 1993).

A correlação linear entre o número de esporos e a colonização do sistema radicular foi baixa ($r = + 0,36$, $P < 0,05$), reforçando, segundo Douds Jr. (1994), que as condições que permitem a efetiva colonização do sistema radicular nem sempre estão relacionadas com o estímulo à esporulação no solo.

4.2. Níveis de fósforo no solo, colonização micorrízica e o crescimento das plantas

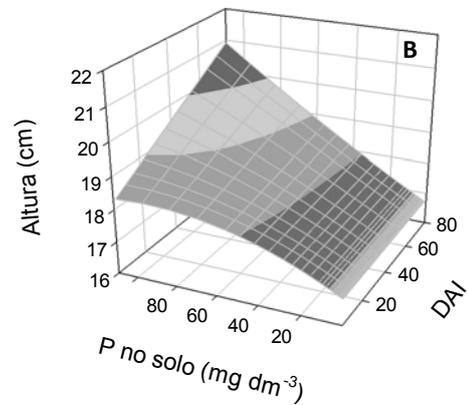
O crescimento, a concentração e o acúmulo de nutrientes nas plantas de pinhão manso foram fortemente influenciados pelos níveis de P no solo. Houve incrementos no diâmetro na região do coleto e na altura das plantas ao longo dos 78 dias de cultivo ($P < 0,05$) (**Figura 4**). Todas as características de crescimento avaliadas ao final do experimento foram incrementadas pelo aumento dos níveis de P no solo ($P < 0,01$). A área foliar (A), a biomassa seca de raízes (BSR) e a biomassa seca da parte aérea (BSA) tiveram, respectivamente, os maiores incrementos percentuais entre a maior e a menor dose de P aplicada ao solo (**Figura 5**). A relação BSA/BSR (**Figura 6**), por outro lado, foi reduzida com o aumento dos níveis de P no solo, tendendo à estabilização. Embora a deficiência de P comumente reduza a relação BSA/BSR (Marschner, 1995), o inverso pode ter ocorrido pelo acúmulo de amido nos cloroplastos e pela inibição na síntese da sacarose, ambos também aumentados na deficiência de P. A sacarose é o principal carboidrato translocado da parte aérea ao sistema radicular das plantas. Assim, se a síntese de sacarose a partir do amido for inibida em resposta aos baixos teores de P_i ou de trioses-fosfato (Marschner, 1995), a relação BSA/BSR tende a aumentar.

A disponibilidade de P afetou também a colonização radicular pelos FMAs, resultando em valores médios entre as plantas inoculadas de 41 a 96 %. A máxima colonização micorrízica, estimada pela regressão, foi de 91,8 %, em solo com $5,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo, correspondente à adição de $27,1 \text{ g kg}^{-1}$ de P (**Figura 7**). Acima dessa dose a colonização tende a reduzir-se gradativamente, encontrando-se, no entanto, ainda elevada na maior dose de P aplicada, se comparada à outras espécies arbóreas nativas do Brasil (Carneiro, et al., 1998; Siqueira & Saggin-Júnior, 2001). Nas plantas de pinhão manso, a máxima colonização micorrízica pelos FMAs nativos ocorreu em níveis de P no solo semelhantes aos reportados para outras culturas (Garg et al., 2006; Smith & Read, 1997). No entanto, a redução nos níveis de colonização micorrízica com o aumento da disponibilidade de P no solo foi pequena até a última dose de P aplicada (**Figura 7**).



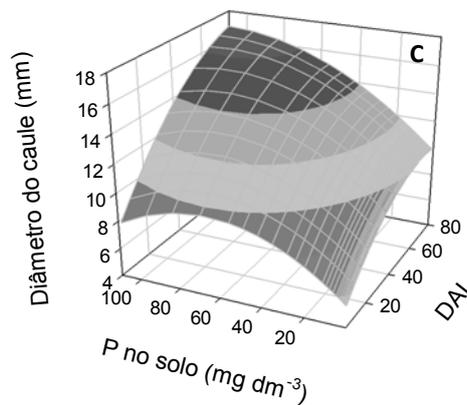
$$H_I = 16,626 + 0,011156^{**}P + 0,007109^{**}DAI + 2,79 \times 10^{-6} P^2 DAI$$

$$R^2 = 0,776$$



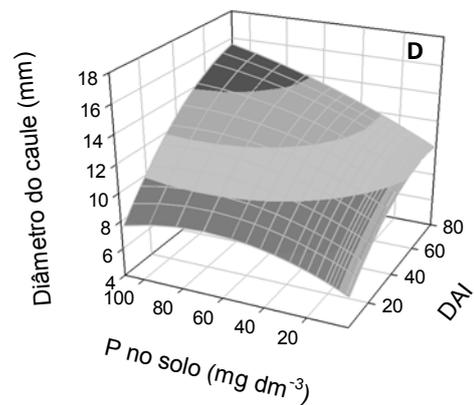
$$H_{NI} = 16,77 + 0,034^{**}P - 1,92 \times 10^{-4} P^2 + 3,01 \times 10^{-6} P DAI$$

$$R^2 = 0,778$$



$$D_I = 4,813 + 0,1275^{**}P - 9,82 \times 10^{-4} P^2 + 0,156^{**}DAI$$

$$- 1,16 \times 10^{-3} DAI^2 + 5,24 \times 10^{-6} P DAI \quad R^2 = 0,941$$



$$D_{NI} = 5,556 + 0,0702^{**}P - 5,26 \times 10^{-4} P^2 + 0,1392^{**}DAI$$

$$- 1,03 \times 10^{-3} DAI^2 + 4,47 \times 10^{-6} P DAI \quad R^2 = 0,907$$

Figura 4. Altura e diâmetro das plantas de pinhão manso, inoculadas, I (A e C) ou não inoculadas, NI (B e D) com FMAs nativos em função de dias após a inoculação (DAI) e dos níveis de P no solo (mg dm^{-3}). ** e * significativos a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

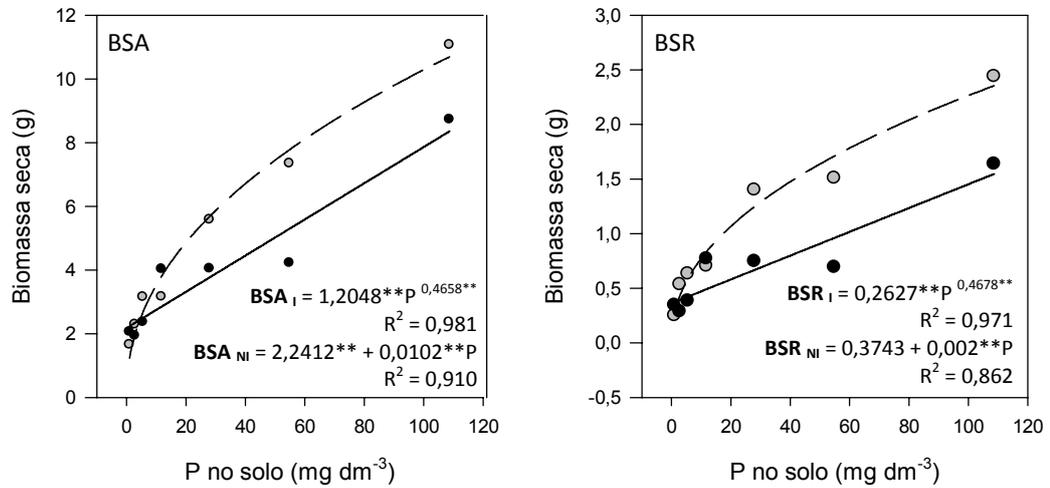


Figura 5. Biomassa seca da parte aérea (BSA) e das raízes (BSR) das plantas de pinhão mansas inoculadas (I, ---○---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo ($mg\ dm^{-3}$). **, significativo a 1 % de probabilidade.

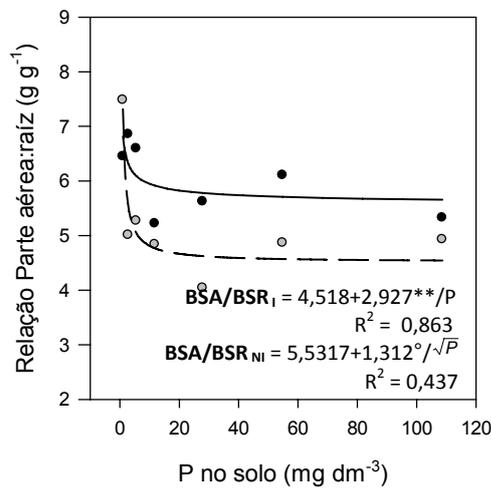


Figura 6. Relação entre as biomassas secas da parte aérea e do sistema radicular (BSA/BSR) das plantas de pinhão manso inoculadas (I, ---○---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo ($mg\ dm^{-3}$). °, e **, significativos a 10 e 1 %, respectivamente.

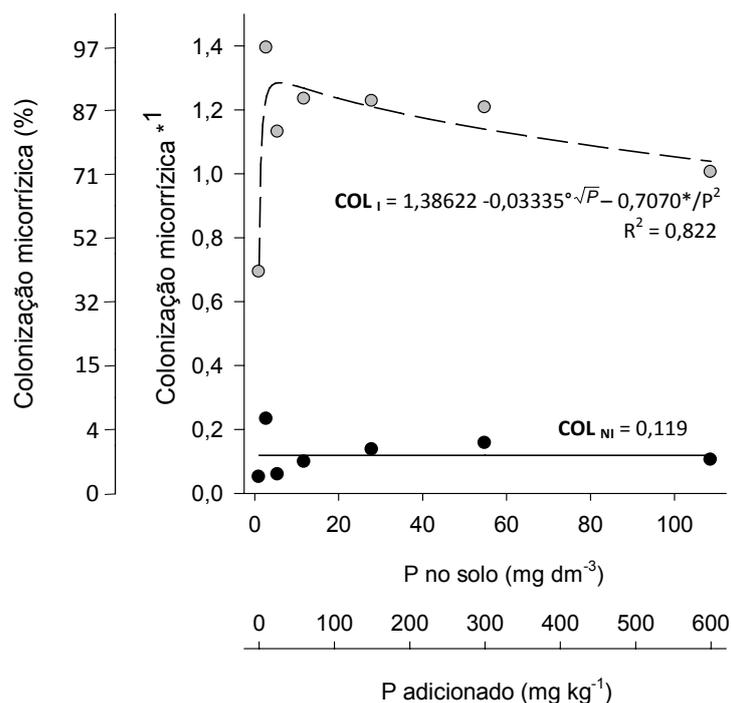


Figura 7. Colonização micorrízica do sistema radicular das plantas de pinhão manso inoculadas (I, --o--) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes níveis de fósforo no solo. ° e *, significativos a 10 e 5 %, respectivamente. \sqrt{x} Colonização micorrízica expressa em arco seno $\sqrt{x/100}$.

A produção de biomassa seca foi aumentada com o aumento das doses de P aplicadas ao solo, tanto para a biomassa de raízes (BSR) quanto da parte aérea (BSA). No entanto, a resposta à adubação fosfatada nas plantas inoculadas foram superiores às não inoculadas nos menores níveis de P. Dessa forma, o ajuste significativo dos modelos exponencial e linear sugere que, em níveis ainda mais elevados de P no solo, as plantas não inoculadas superem as inoculadas (**Figura 5**), embora tais níveis de P dificilmente sejam encontrados à campo. A tendência à estabilização do crescimento entre as plantas inoculadas pode estar em íntima relação com os níveis de colonização micorrízica (Tawaraya, 2003; Smith & Read, 1997).

Respostas positivas dos FMAs no crescimento das plantas sob baixos níveis de P estão em concordância com outros resultados (Arias et al., 1991; Smith & Read, 1997). No entanto, a manutenção destas respostas em altos níveis de P no solo é menos comum, sendo encontrada com maior frequência apenas em algumas espécies

arbóreas (Carneiro et al., 1996; Tawaraya, 2003). A dependência micorrízica de uma espécie vegetal pode estar ligada à morfologia de suas raízes. Plantas com pêlos radiculares pouco desenvolvidos ou em pequeno número são frequentemente dependentes da associação (Brundrett et al., 1996). O pinhão manso parece enquadrar-se nestes casos, pois seu sistema radicular apresenta raízes grossas, com pêlos curtos e em número reduzido (**Figura 8**), semelhante ao observado por Tótola & Borges (2000) em plantas de *Cedrella fissilis* e *Anadenanthera peregrina*.

De modo semelhante à biomassa, a área foliar das plantas inoculadas diferiu das não inoculadas, uma vez que tendeu à estabilização nos maiores níveis de P no solo (**Figura 9**). Assim, além da altura das plantas (**Figura 4**), a área foliar pode, também, ser um indicativo de que as massas seca e fresca da parte aérea do pinhão manso estavam sob forte influência da massa do caule, como observado por Kurihara et al. (2006). Dessa forma, sob deficiência nutricional, o pinhão manso, como outras arbóreas, parece possuir forte tendência ao engrossamento do caule mesmo ainda jovem, o que pode encobrir a estabilização no crescimento nos maiores níveis de P no solo.

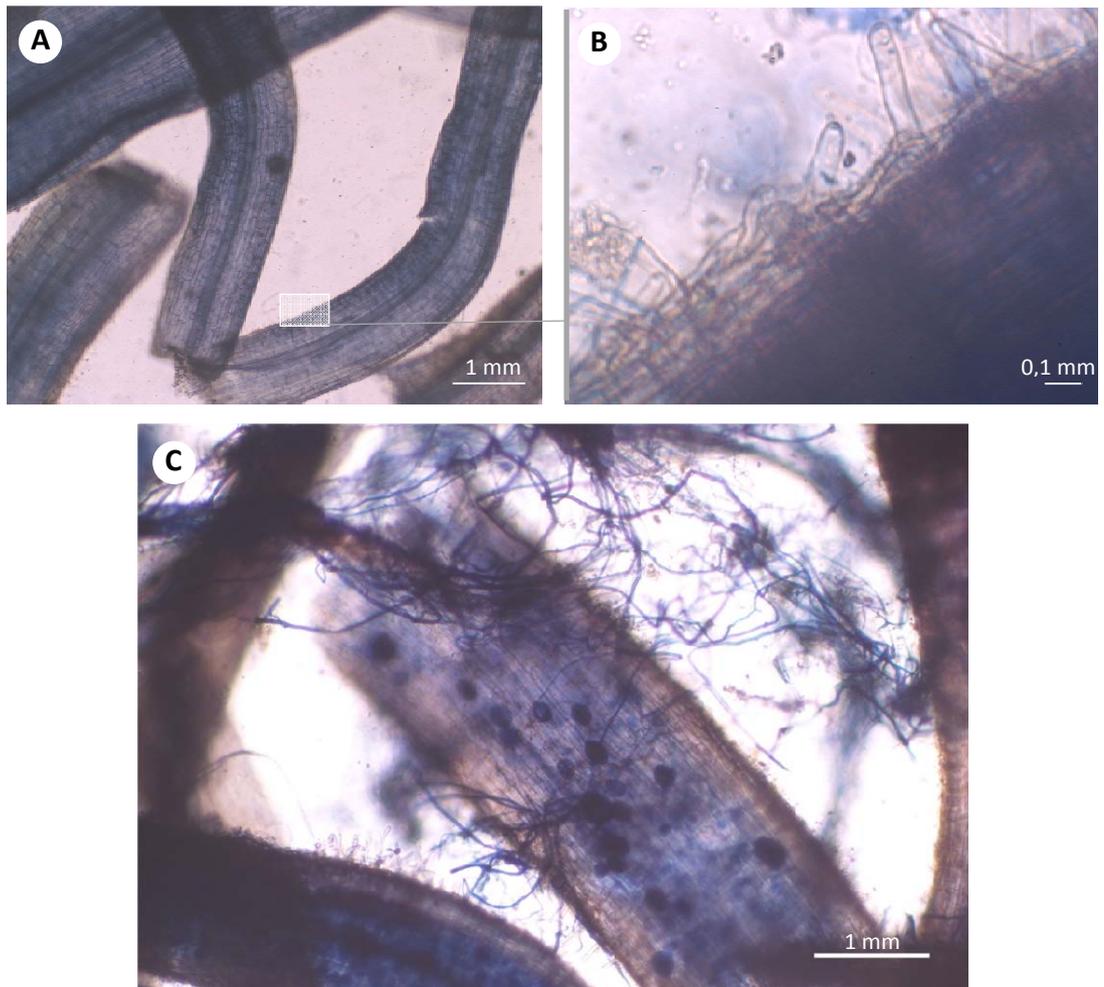


Figura 8. Sistema radicular de pinhão manso. (A) Raízes na ausência de fungos micorrízicos arbusculares; (B) detalhe mostrando os pêlos radiculares; (C) sistema radicular na presença da associação, evidenciando estruturas internas típicas de associação micorrízica arbuscular e abundância de hifas externas.

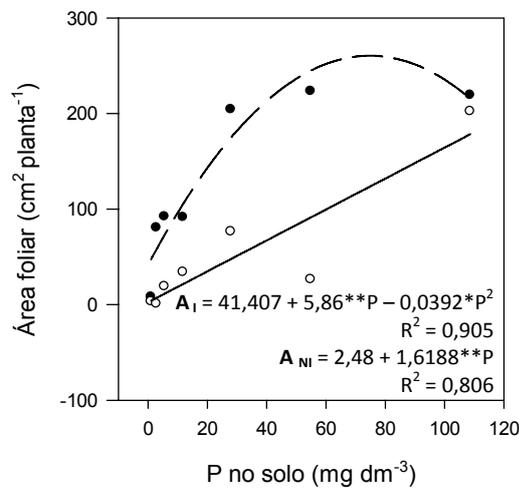


Figura 9. Área foliar (A) das plantas de pinhão manso inoculadas (I, --●--) ou não inoculadas (NI, —○—) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo (mg dm⁻³). ** e *, significativos a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

O volume de exsudato do xilema foi aumentado com o aumento dos níveis de P no solo ($P < 0,01$), e foram superiores em plantas inoculadas com FMAs ($P < 0,05$) (**Figura 10**). A densidade média do exsudato foi estimada em $1,058 \pm 0,014$ g mL⁻¹. A taxa de exsudação é uma função do carregamento de íons pelo xilema e o concomitante influxo osmótico da água (Rowan et al., 2000). Maiores taxas de exsudação estão, portanto, relacionadas às maiores taxas de transporte de íons, sendo diretamente ligadas ao crescimento da planta. Os níveis de P e a colonização micorrízica influenciaram o transporte de íons pelo xilema ($P < 0,05$), sendo este último, provavelmente, devido ao maior crescimento da planta. Além disso, a área foliar das plantas de pinhão manso apresentou correlação linear significativa ($P < 0,05$) com o volume de exsudato do xilema, tanto para as plantas inoculadas como para as não inoculadas ($R^2 > 0,8$; dados não apresentados). Assim, o incremento no volume de exsudato xilemático promovido pelos FMAs, como indicativo da demanda por íons da parte aérea, parece estar em relação direta com as demandas das folhas, não se tratando apenas de aparente relação com o diâmetro do caule.

A colonização pelos FMAs afetou também a relação BSA/BSR, apresentando relações menores entre as plantas inoculadas (**Figura 6**). Uma possível explicação para isso pode ser pelo consumo de fotoassimilados pelo fungo, reduzindo os níveis de carboidratos não estruturais nas raízes ou pela redução na taxa de crescimento do sistema radicular, uma vez que parte de suas funções e estruturas podem ter sido substituídas pelas hifas dos FMAs (Smith & Read, 1997).

À exceção do Fe na parte aérea e sistema radicular, do Zn e do Mn na parte aérea, os demais elementos avaliados tiveram seus teores influenciados pela adição de P ao solo, tanto na parte aérea ($P < 0,01$) como no sistema radicular ($P < 0,05$). Os teores de Ca e Mg na parte aérea tiveram os maiores incrementos entre a maior e a menor dose de P aplicada ao solo (**Figura 11**), provavelmente em função do maior acúmulo destes elementos no caule das plantas.

A colonização micorrízica pelos FMAs promoveu aumentos nos teores de P na parte aérea e no sistema radicular ($P < 0,01$) e nos teores de Fe na parte aérea ($P < 0,05$) (**Figuras 11 e 12**). A influência dos FMAs sobre os teores dos nutrientes,

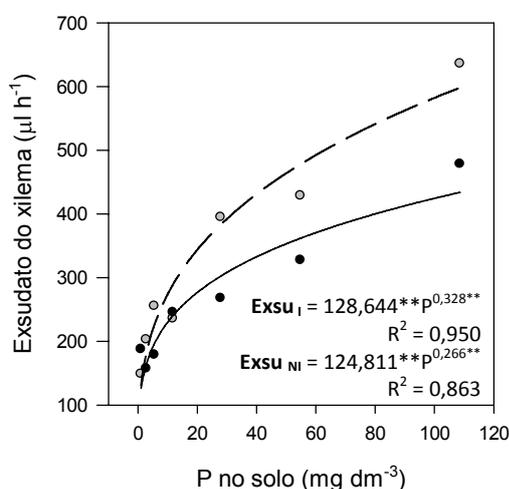


Figura 10. Produção de exsudato do xilema (Exsu) das plantas de pinhão manso inoculadas (I, ---○---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo (mg dm⁻³). ** significativos a 1 % de probabilidade.

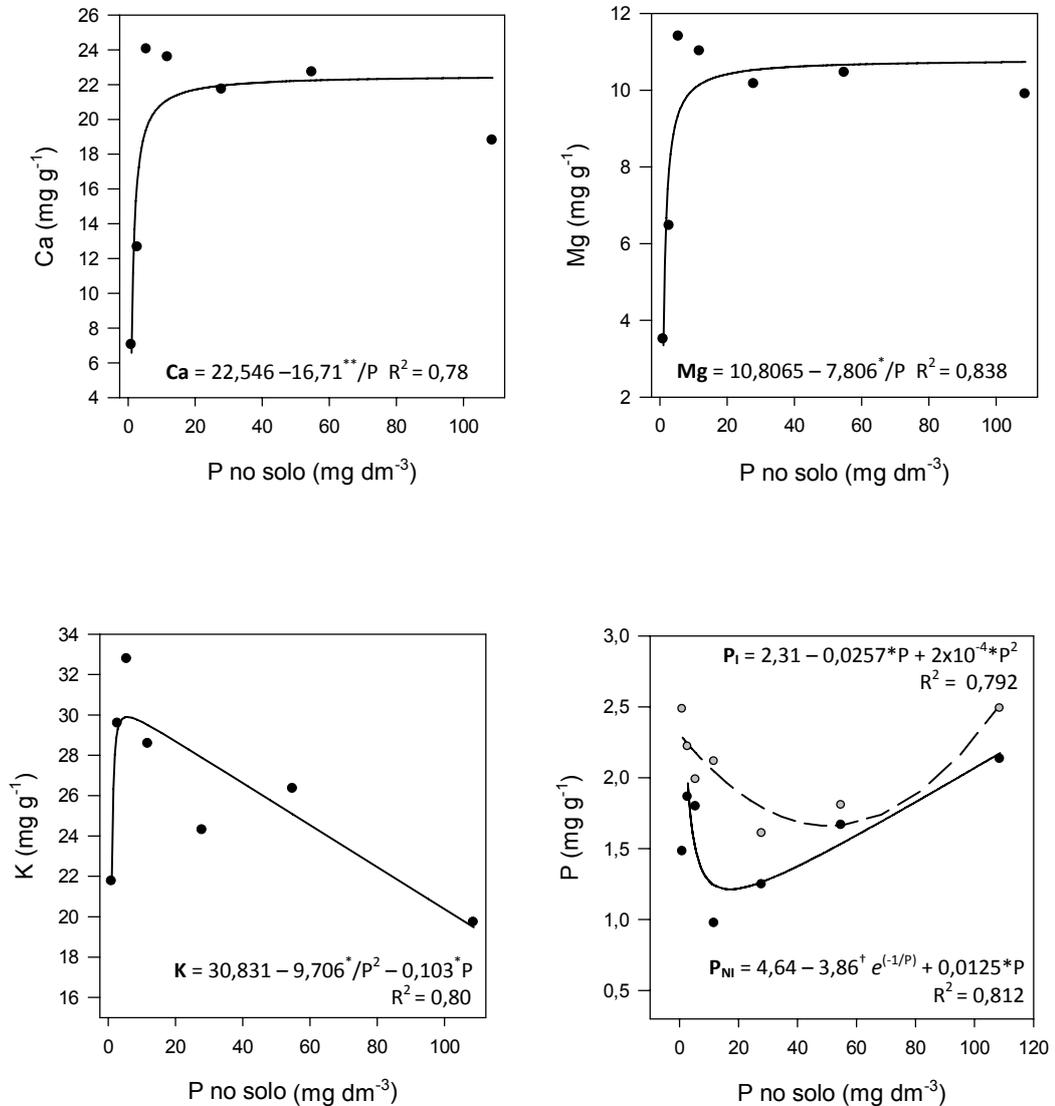


Figura 11. Teores de Ca, Mg, P e K na parte aérea das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo (mg dm^{-3}). Não houve efeito da colonização micorrízica para os teores de Ca, Mg e K. Para P: inoculadas (I, --○--) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos. °, * e **, significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

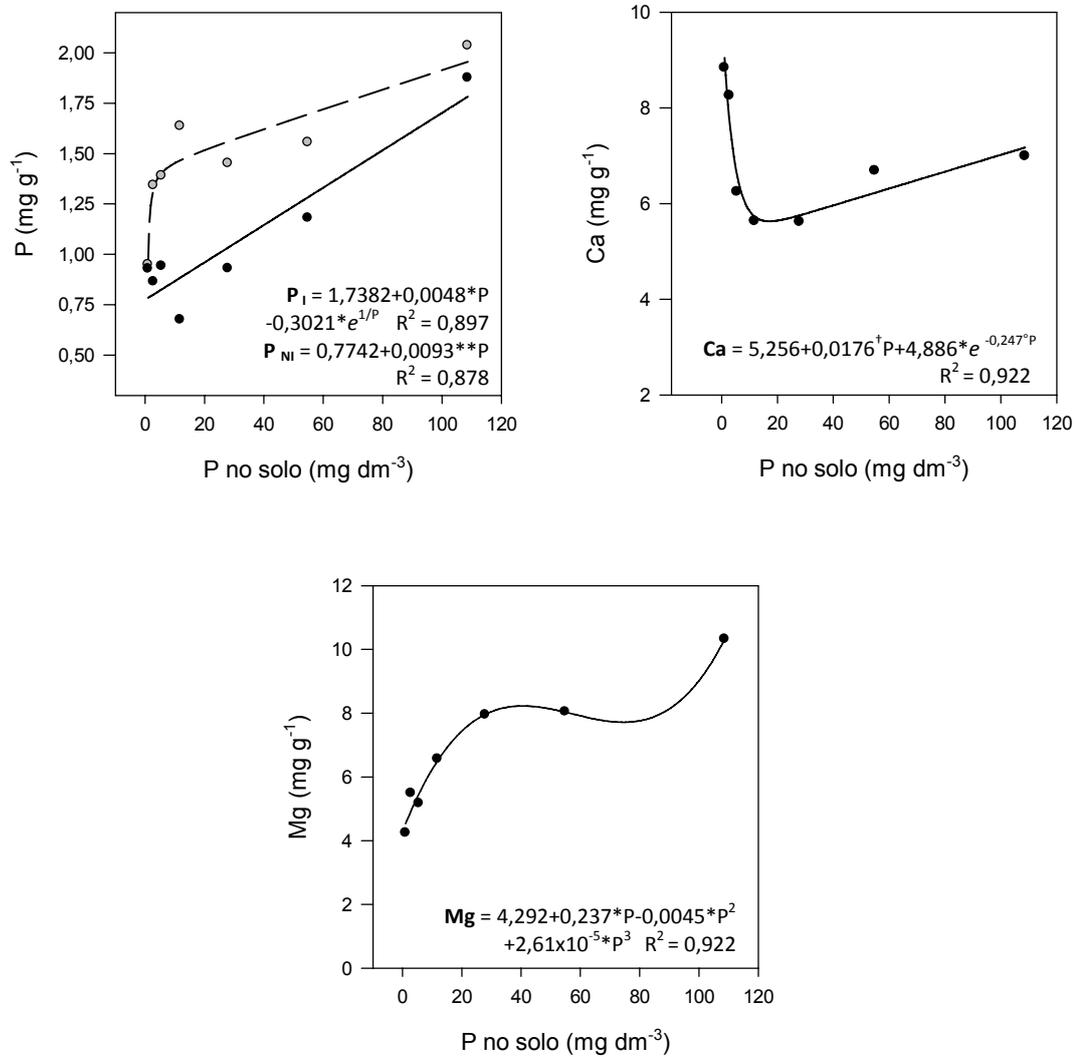


Figura 12. Teores de Ca, Mg e P no sistema radicular das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo (mg dm⁻³). Não houve efeito da colonização micorrízica para os teores de Ca e Mg. Para P: inoculadas (I, ---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos. °, * e **, significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

no entanto, pôde ser melhor observada quando se analisou o conteúdo de nutrientes das folhas separadamente do restante da parte aérea. Assim, alterações nutricionais promovidas pelos FMAs na parte aérea total foram diferentes das observadas nas folhas, onde as características fisiológicas foram analisadas (**Figura 13**). Nas folhas, apenas os teores de P foram influenciados pelos níveis de P no solo ($P < 0,07$) (**Figura 13**). Por outro lado, a colonização micorrízica promoveu incrementos nos teores foliares de N ($P < 0,05$), P ($P < 0,01$), K ($P < 0,02$) e Zn ($P < 0,02$) (**Figura 13**).

O comportamento dos teores de P e K na parte aérea e de Ca nas raízes (**Figuras 11 e 12**) das plantas pode ser explicado por efeito de diluição. Os teores dos nutrientes podem não refletir adequadamente mudanças na quantidade de nutrientes absorvidas do solo (Larcher, 2006). Durante um rápido crescimento, as substâncias minerais são mais lentamente incorporadas em relação ao aumento da matéria seca e, como consequência, a concentração de substâncias minerais diminui temporariamente (Larcher, 2006).

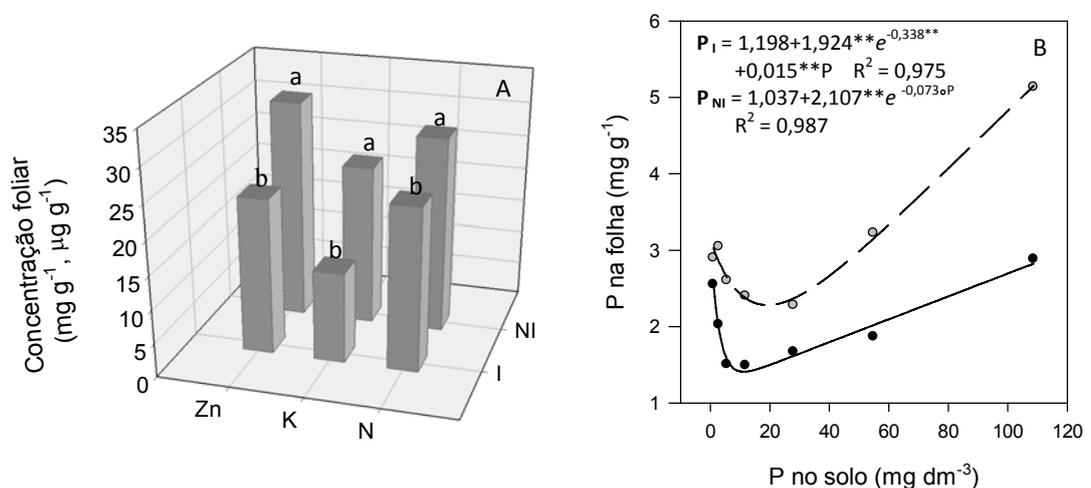


Figura 13. Teores de nutrientes nas folhas de pinhão manso. (A) Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$), K e P (mg g^{-1}). Barras seguidas por uma mesma letra para cada nutriente não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade. (B) Teores de P (mg g^{-1}) nas folhas sob diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I, ---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos. °, * e **, significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

O acúmulo de nutrientes na biomassa total das plantas inoculadas, por outro lado, indicaram que os FMAs influenciaram o total absorvido do solo de P, K e Mg ($P < 0,01$), além de Ca e Zn ($P < 0,05$) (**Figura 14**). O incremento na absorção destes elementos promovido pelos FMAs já foram relatados em outras culturas (Garg et al., 2006). Bolan (1991) menciona que plantas micorrizadas, ao absorverem mais P, necessitam de mais cátions para manter o equilíbrio iônico. Dessa forma, somado a outros fatores, é complexo diferenciar se o maior acúmulo de nutrientes em plantas inoculadas resulta da absorção pelos FMAs ou indiretamente pelo aumento de P e seu conseqüente estímulo ao crescimento.

A eficiência micorrízica para as características de biomassa seca da parte aérea e P acumulado na parte aérea são apresentadas na **Figura 15**. Pôde-se observar que a eficiência simbiótica, para ambas as características foi maior no intervalo entre 40 e 80 mg dm^{-3} de P no solo, significando que os maiores benefícios encontram-se na combinação de inoculação com FMAs nos referidos níveis de P no solo. É importante observar, no entanto, que esta faixa não corresponde à região onde os maiores níveis de colonização micorrízica ocorrem, indicando, que o maior volume de hifas externas não necessariamente ocorre onde a colonização radicular é mais abundante (Koide & Elliott, 1989; Smith & Read, 1997). Os valores de eficiência micorrízica encontrados são baixos se comparados à outras espécies arbóreas tropicais (Tótola & Borges, 2000; Jesus et al., 2005). Isso pode ser reflexo de espécies fúngicas de baixa eficiência de absorção de P, condições ambientais desfavoráveis ou à fatores específicos da planta relacionados à sua dependência micorrízica (Siqueira & Saggin-Júnior, 2001).

A adubação com fósforo resultou em alterações nas taxas fotossintética (F) e de transpiração (T) ($P < 0,05$) (**Figura 16**). Além do fósforo, as taxas fotossintética e de transpiração foram influenciadas pela colonização micorrízica das raízes ($P < 0,07$ e $P < 0,05$, respectivamente), sendo a fotossíntese aumentada nas plantas micorrizadas em 70 % na maior dose de P em relação às plantas não inoculadas. Acima da dose de 25 g kg^{-1} de P adicionado, as taxas fotossintéticas e de transpiração aumentaram entre as plantas micorrizadas, enquanto nas não inoculadas elas foram apenas ligeiramente incrementadas.

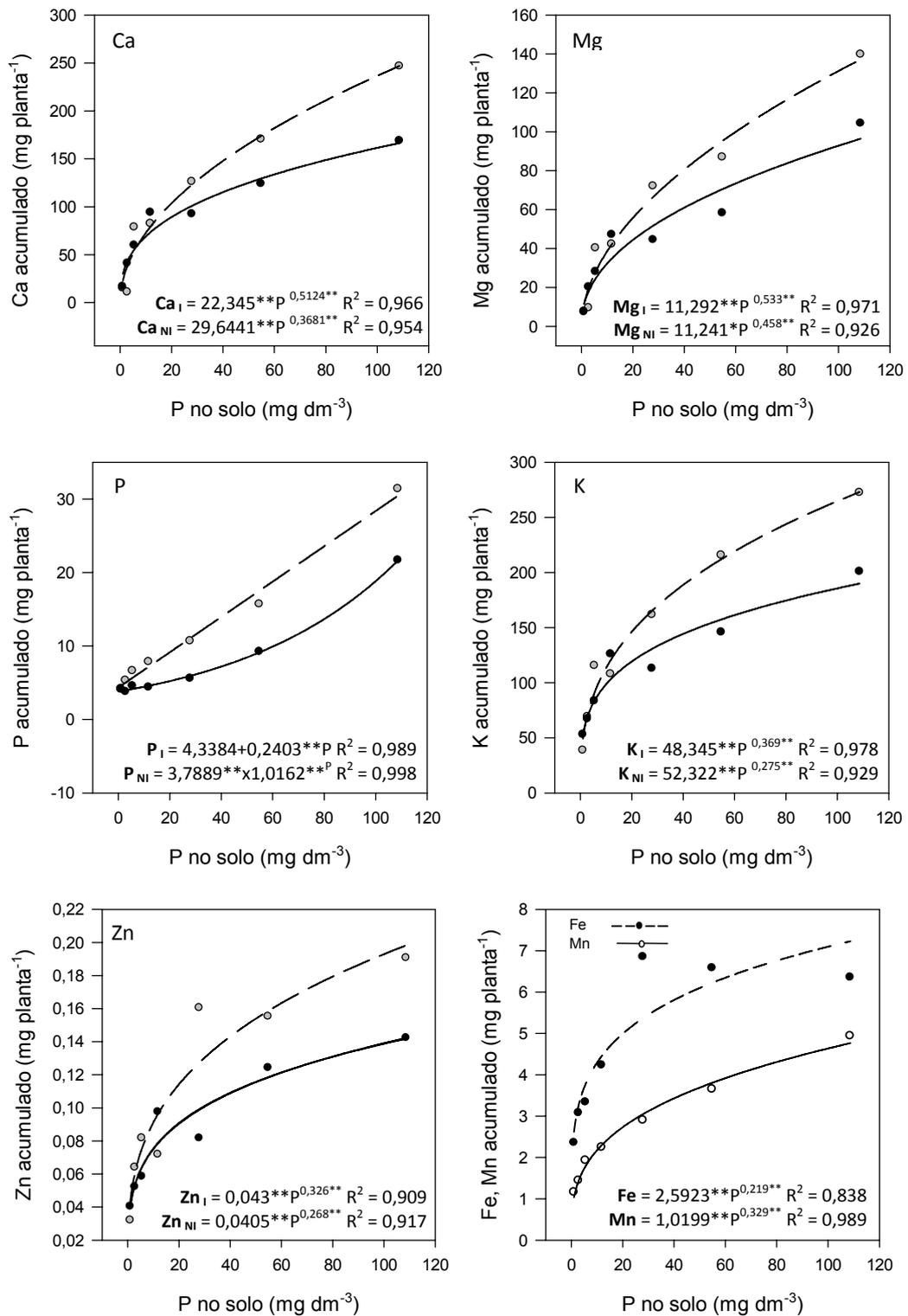


Figura 14. Acúmulo de Ca, Mg, P, K, Zn, Fe e Mn na biomassa total das plantas de pinhão manso inoculadas (I, ---) ou não inoculadas (NI, —●—) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo (mg dm⁻³). * e **, significativos a 5 e 1 %, respectivamente.

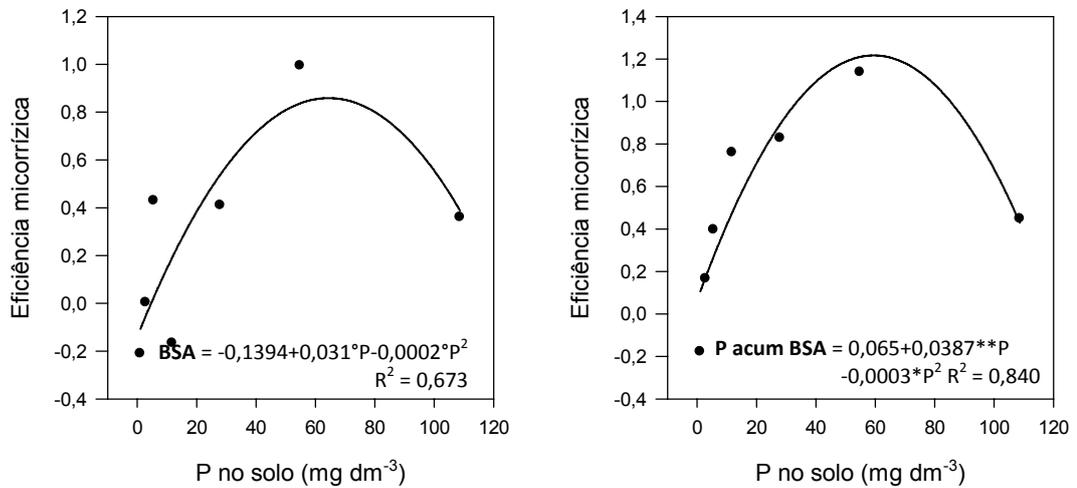


Figura 15. Eficiência micorrízica (EM) calculada para biomassa seca da parte aérea (BSA) e para P acumulado na parte aérea das plantas de pinhão manso inoculadas ou não inoculadas com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo (mg dm⁻³). ° e *, ** significativos a 10, 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

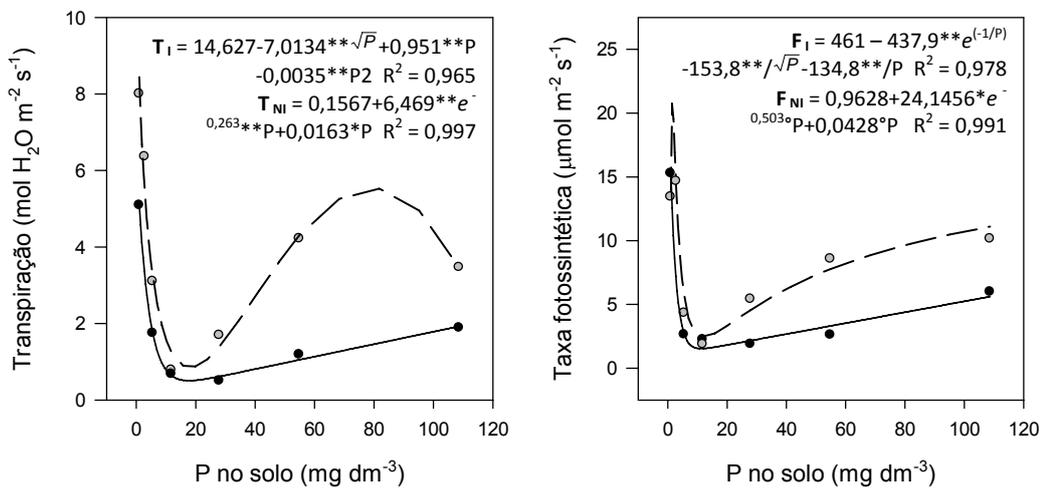


Figura 16. Taxas de transpiração (T) e fotossintética (F) das plantas de pinhão manso em função dos níveis de P no solo (mg dm⁻³). °, * e **, significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

É interessante notar que nas plantas micorrizadas 77,3 % da variação em F e 68,5 % da variação em T podem ser explicadas apenas pela relação entre os teores foliares de N, P, K e Mg ou N,P, K e Ca para F e T, respectivamente (**Tabela 4**). Dessa forma, isso sugere com maior consistência que os incrementos em F e T promovidos pelos FMAs são explicados, em sua maior parte, pelo simples aumento nos teores daqueles nutrientes nas folhas promovidos pela associação micorrízica. Tal afirmativa é apoiada ainda no fato de os teores de N, P e K foliares terem sido incrementados pela colonização micorrízica (**Figura 13**). Por outro lado, os menores valores de R^2 para as plantas inoculadas (**Tabela 4**), para as taxas de fotossíntese e transpiração, sugerem maior participação de fatores não nutricionais do que nas plantas não inoculadas.

As taxas fotossintéticas e de transpiração das plantas nos níveis de P no solo entre 1 e 4 mg dm⁻³, embora elevadas, não refletiram bem a capacidade de acúmulo de matéria seca das mesmas, o que pode ser devido a vários fatores. É sabido que a concentração de Pi no cloroplasto limita a taxa fotossintética, e assim o baixo suprimento de P pode reduzir a atividade de enzimas fotossintéticas (Parádi et al., 2003). Apesar disso, comumente sob deficiência de P o crescimento da parte aérea é muito mais depreciado que a fotossíntese (Marschner, 1995), o que pode ser explicado pela forte homeostase do Pi no citosol e no cloroplasto (Rao et al., 1989). As plantas de pinhão manso sob baixo P apresentaram área foliar reduzida (**Figura 9**), freqüentemente com apenas uma folha por planta. Possivelmente, isso ocorreu devido à característica de caducifolia da planta (Heller, 1996) ou à restrições ambientais ao crescimento das mesmas, como períodos de frio (Heller, 1996; Saturnino et al., 2005). Assim, elementos como P, N, e K, móveis no floema, ainda que em quantidades reduzidas na planta, podem ter sido deslocados à reduzida área foliar, garantindo elevadas taxas fotossintética e de transpiração e, assim, uma fotossíntese total mínima na planta. Isso é corroborado pelos teores aumentados de P na folha no menor nível de P no solo (**Figura 13**).

O pinhão manso, embora considerado como uma planta rústica, tem se mostrado bastante responsivo à adubação fosfatada (Silva et al., 2006), sendo esta resposta, como esperado, variável com o tipo de solo. Kurihara et al. (2006) também encontraram incrementos lineares na matéria seca de plantas de pinhão manso com o incremento na aplicação de P (até 600 mg kg⁻¹) em Latossolo Vermelho distroférico

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas entre as taxas fotossintéticas e de transpiração e os teores foliares de nutrientes nas plantas de pinhão manso inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com FMAs nativos sob diferentes níveis de P no solo (mg dm^{-3}).

		Equação	R ²
Taxa Fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	I	$F = -44,07 + 10,203^{**}P + 1,5808^{**}K + 1,077^{*}\text{Mg} - 23,61^{**}\text{Fe} + 0,043^{**}\text{N}^2 - 1,413^{**}P^2 - 0,05537^{**}\text{NK}$	0,773
	NI	$F = 5,586 + 2,389^{\circ}P + 0,7195^{*}\text{Mg} - 0,7198^{*}\text{N} + 6,82 \times 10^{-4} N^2 K$	0,883
Taxa de Transpiração ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	I	$T = -12,856 + 4,866^{*}P + 0,4808^{**}K - 0,996^{**}P^2 - 9,206 \times 10^{-3} K^2 + 0,08864^{\circ}\text{NP}$	0,685
	NI	$T = -1,9135 - 0,627^{*}P^2 + 0,02836^{**}K^2 + 0,1434^{*}\text{NP} - 0,024^{**}\text{NK} + 0,05725^{*}\text{Ca}$	0,943

^o, * e **, significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

muito argiloso e em Latossolo Vermelho distrófico de textura média.

Embora doses de 600 mg kg^{-1} de P aplicadas ao solo tenham sido suficientes para atingir uma tendência à estabilização do crescimento e forte inibição da colonização micorrízica em diversas culturas, até mesmo em solos argilosos (Garg et al., 2006), o pinhão manso parece demandar doses ainda maiores de P para expressão de seu máximo potencial produtivo e, ou para impor forte restrição à colonização micorrízica. Somando-se a isso, e considerando o conceito de dependência micorrízica proposto por Janos (2007), a grande presença de FMAs nas áreas sob cultivo avaliadas, o curto período de crescimento e a considerável queda de folhas nas menores doses de P, sugerem que a planta apresenta considerável nível de dependência da associação. O nível de resposta à micorrização (eficiência micorrízica), no entanto, é, em princípio, inferior à de outros integrantes da família Euphorbiaceae, como a mandioca (*Manihot esculenta*) (Ezeta & Carvalho, 1982), ou de outras espécies arbóreas nativas (Carneiro et al., 1996; Siqueira & Saggin-Júnior, 2001), não sendo comparáveis às espécies altamente responsivas.

5. CONCLUSÕES

- ✓ Os solos sob cultivo de pinhão manso apresentam grande abundância de esporos e as plantas possuíam elevada colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares.
- ✓ As características químicas dos solos, bem como o conjunto das práticas de adubação e manejo nas áreas, não são restritivas à colonização micorrízica das plantas de pinhão manso.
- ✓ O pinhão manso responde positivamente tanto à adubação fosfatada quanto à inoculação com FMAs.
- ✓ Os FMAs promovem incrementos no crescimento, na fotossíntese e no teor e acúmulo de nutrientes da planta, mesmo em níveis elevados de P.
- ✓ Plantas de pinhão manso apresentam considerável nível de dependência da associação com FMAs.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOT, L.K. & ROBSON, A.D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 35: 121-150, 1991.
- ACHTEN, W.M.J.; MATHIJS, E.; VERCHOT, L.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha biodiesel fueling sustainability? **Biofuels Bioproducts and Biorefining**, 1: 283-291, 2007.
- ACHTEN, W.M.J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y.J.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, (in press), 2008.
- ARIAS, I.; KOOMEN, I.; DODD, J.C.; WHITE, R.P.; HAYMAN, D.S. Growth responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal tropical forage species to different levels of soil phosphate. **Plant and Soil**, 132: 253-260, 1991.
- ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.S.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 8: 789-799, 2004.
- BANERJI, R.; CHOWDHURY, A.R.; MISRA, G.; SUDARSANAM, G.; VERMA, S.C.; SRIVASTAVA, G.S. Jatropha seed oils for energy. **Biomass**, 8: 277-282, 1985.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. Fernandes, M.S. (Ed.). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, 134: 189-207, 1991.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21: 73-85, 1974.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia, 2006-2011. Brasília, 2005. 120p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: abril de 2008.
- BRUNDRETT, M.C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, 154: 275–304, 2002.
- BRUNDRETT, M.C.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with mycorrhizas in forest and agriculture**. Camberra: Pirie, 1996. 374p.
- CALDEIRA, M.V.W.; SILVA, E.M.R.; FRANCO, A.A.; ZANON, M.L.B. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência Florestal**, 7: 1-10, 1997.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; CARVALHO, D.; BOTELHO, S.A.; SAGGIN JÚNIOR, O.J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no Sudoeste do Brasil. **Revista Cerne**, 41: 129-145, 1998.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C.; GOMES, L.J.; CURTI, N.; VALE, F.R. Fungo Micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, 50: 21-36, 1996.
- CHAUDHARY, D.R.; GHOSH, A.; CHIKARA, J.; PATOLIA, J.S. Soil characteristics and mineral nutrient in wild *Jatropha* population of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 39: 1476-1485, 2008.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphatases of intact maize roots. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 23: 458-460, 1975.
- CLARK, R.B.; ZOBEL, R.W.; ZETO, S.K. Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acidic soil. **Mycorrhiza**, 9: 167-176, 1999.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**/RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. Eds. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- DELL'AMICO, J.; TORRECILLAS, A.; RODRIGUEZ, P.; MORTE, A.; SANCHEZ-BLANCO, M.J. Responses of tomato plants associated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* during drought and recovery. **Journal of Agricultural Science**, 138: 387–393, 2002.
- DIAS, J.M.M.; COUCEIRO, M.A.; VENTURA, G.M.; SIQUIERA, D.L.; LIMA, J.C. Desinfestação e germinação *in vitro* de sementes de maracujazeiro. **Ceres**, 50: 549-564, 2003.
- DOUDS Jr., D.D. Relationship between hyphal and arbuscular colonization and sporulation in mycorrhiza of *Paspalum notatum* Flugge. **New Phytologist**, 126: 233-237, 1994.
- DOUDS Jr., D.D.; JANKE, R.R.; PETERS, S.E. VAM fungos espore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 43: 325-335, 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 2006. 306p.
- ERIKSSON, A. Arbuscular mycorrhiza in relation to management history, soil nutrients and plant species diversity. **Plant Ecology**, 155: 129-137, 2001.
- EUCLYDES, R.F. **Sistema de análises estatísticas e genéticas - SAEG**. Central de Processamento de Dados. Viçosa, MG: UFV. 1983. 68p.

- EZETA, F.N. & CARVALHO, P.C.L. Influência da endomicorriza na absorção de P e K e no crescimento da mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 6: 25-28, 1982.
- FAO/INCRA. **Perfil da agricultura familiar no Brasil: dossiê estatístico**. Projeto UTF/BRA/036, Brasília, 1996.
- FOIDL, N.; FOIDL, G.; SANCHEZ, M.; MITTELBACH, M.; HACKEL, S. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biodiesel in Nicaragua. **Bioresource Technology**, 58: 77-82, 1996.
- GARG, N.; GEETANJALI, K.; AMANDEEP, K. Arbuscular mycorrhiza: nutritional aspects. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 52: 593-606, 2006.
- GERDEMAN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, 46: 235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; AVIO, L.; SBRANA, C.; CITERNESI, S. Factors affecting appressorium development in vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe. **New Phytologist**, 123: 115-122, 1993.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, 84: 489-500, 1980.
- GOMES, F. P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 160p.
- HABTE, M. & MANJUNATH, A. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. **Mycorrhiza**, 1: 3-12, 1991.
- HAMEL, C. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. **Canadian Journal of Soil Science**, 84: 383-395, 2004.
- HELLER, J. **Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Roma: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66p.

- HOLANDA, A. **Cadernos de Altos Estudos - biodiesel e inclusão social**. Câmara dos Deputados: Brasília, 2004. 189p.
- International culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi – INVAN <http://invam.caf.wvu.edu>. 2007.
- JAIZME-VEGA, M.C. & AZCÒN, R. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, 5: 213-217, 1995.
- JANOS, D.P. Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. **Mycorrhiza**, 17: 75-91, 2007.
- JOHANSSON, J.; PAUL, L.; FINLAY, R.D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **FEMS Microbiology Ecology**, 18: 1-13, 2004.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, Bulletin 766, p32-33, 1959.
- JONGSCHAAP, R.E.E.; CORRE, W.J.; BINDRABAN, P.S.; BRANDENBURG, W.A. **Claims and facts on *Jatropha curcas* L.** Wageningen, The Netherlands: Plant Research International B.V; 2007. www.fact-fuels.org/media_en/Claims_and_Facts_on_Jatropha_-WUR?session¼isgsklbna58j7grfst888n5r7S.
- JESUS, E.C.; SCHIAVO, J.A.; FARIA, S.M. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. **Revista Árvore**, 29: 545-552, 2005.
- KOIDE, R. & ELLIOTT, G. Cost, Benefit and efficiency of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Functional Ecology**, 3: 252-255, 1989.
- KOSKE, R. & GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, 92: 486–505, 1989.
- KURIHARA, C.S., ROSCOE, R., SILVA, W.M., MAEDA, S., GORDIN, C.L., SANTOS, G. Crescimento inicial de pinhão manso sob efeito de calagem e adubação, em solos de mato grosso do sul. In: **FERTBIO, 2006**. Bonito. Resumos... Bonito, SBSC/SBM/Embrapa, 2006. CD-ROM.

- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 550p.
- LIU, A.; HAMEL, C.; ELM, A.; COSTA, C.; MA, B.; SMITH, D.L. Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, 82: 271–278, 2002.
- MARSCHNER, H. & DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, 159: 89-102, 1994.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MOHAMMAD, M.J.; PAN, W.L.; KENNEDY, A.C. Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. **Mycorrhiza**, 15: 259-266, 2005.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399p.
- OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, 19: 1-15, 2000.
- PEREIRA, P.R.G. Estudo da eficiência de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares para a soja em amostra de um latossolo. Viçosa: UFV, 1986. 73p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola).
- PICONE, C. Diversity and abundance of Arbuscular-Mycorrhizal Fungus Spores in Tropical Forest and Pasture. **Biotropica**, 32: 734-750, 2000.
- RAO, I.M. & TERRY, N. Leaf phosphate status, photosynthesis, and a carbon partitioning in sugar beet. I. Changes in growth, gas exchange and Calvin cycle enzymes. **Plant Physiology**, 90: 814-819, 1989.
- RESENDE, S.B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: ocupação e Uso. In: **O Solo nos grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Ed. ALVAREZ, V. V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. Viçosa, MG: SBCS, UFV, 260-288 p.1996.

- RHODES, L.H. & GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. **New Phytologist**, 75: 555-561, 1975.
- ROWAN, A.; MCCULLY, M.E.; CANNY, M.J. The origin of the exudate from cut maize roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, 38: 957-967, 2000.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H. Efeito da umidade do solo sobre o volume e o conteúdo de fósforo no exsudato xilemático de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12: 39-42, 1988.
- SANDERS, F.E. & TINKER, B.P. Phosphate flow into mycorrhizal roots. **Pest Science**, 4:385-395, 1973.
- SATTER, M.A.; HANAFLI, M.M.; MAHMUD, T.M.M.; AZIZAH, H. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphate rock on uptake of major nutrients by *Acacia mangium* seedlings on degraded soil. **Biology and Fertility Soils**, 42: 345-349, 2006.
- SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, 26: 44-78, 2005.
- SILVA, W.M.; KURIHARA, C.S.; ROSCOE, R.; MAEDA, S.; GORDIN, C.L.; SANTOS, G. Teores de nutrientes em pinhão manso sob efeito de calagem e adubação. In: **FERTBIO, 2006**. Bonito. Resumos... Bonito, SBCS/SBM/Embrapa, 2006. CD-ROM.
- SIMON, L.; BOUSQUET, J.; LÉVESQUE, R.C.; LALONDE, M. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**, 63: 67-69, 1993.
- SIQUEIRA, J.O. & KLAUBERG FILHO, O. Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V.H. & SCHAEFER, C.E. **Tópicos em Ciência do Solo**. v.1, Viçosa: SBCS, 1999. P.235-264.
- SIQUEIRA, J.O. & SAGGIN-JUNIOR, O.J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, 11: 245-255, 2001.

- SMITH, S.E. & READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press, 1997. 605p.
- SPSS. 2006. **SigmaPlot 2006 for Windows**, version 10.0. SPSS, Chicago, IL.
- TAWARA, K. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. **Soil Science and Plant Nutrition**, 49: 655-668, 2003.
- TÓTOLA, M.R. & BORGES, A.C. Growth and nutritional status of brazilian wood species *Cedrella fissilis* and *Anadenanthera peregrina* in bauxite spoil in response to arbuscular mycorrhizal inoculation and substrate amendment. **Brazilian Journal of Microbiology**, 31: 257-265, 2000.
- Van der HEIJDEN et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, 396: 69-72, 1998.

ANEXOS

Tabela 1A. Características de crescimento avaliadas nas plantas de pinhão manso submetidas a diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com fungos micorrízicos arbusculares.

		Níveis de P no solo (mg dm ⁻³)							MÉDIAS
		1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2	
Biomassa Fresca da Parte	I	8,336	12,008	16,207	17,201	28,512	33,174	44,807	22,892
Aérea – BSA (g)	NI	9,950	8,518	11,786	18,830	18,974	18,095	35,906	17,437
Biom. Fresca do Sistema	I	2,121	4,373	5,237	5,324	10,233	10,932	17,589	7,973
Radicular – BSR (g)	NI	2,720	2,300	2,923	5,282	5,371	5,604	12,551	5,250
Biomassa Seca da Parte	I	1,653	2,288	3,152	3,158	5,580	7,345	11,070	4,892
Aérea (g)	NI	2,054	1,934	2,362	4,026	4,042	4,217	8,726	3,909
Biomassa Seca do Sistema	I	0,248	0,533	0,632	0,704	1,399	1,508	2,440	1,066
Radicular (g)	NI	0,344	0,286	0,384	0,769	0,746	0,692	1,638	0,694
Área foliar (cm ²)	I	7,7	80,5	92,0	91,2	204,2	223,2	219,1	131,1
	NI	3,0	0,8	19,0	34,0	76,5	26,3	202,3	51,7
Exsudato xilemático (μL h ⁻¹)	I	148	203	255	235	395	428	636	329
	NI	187	157	178	245	267	327	478	263
Colonização micorrízica (%)	I	41,0	95,8	77,2	88,8	87,0	86,0	70,0	78,0
	NI	0,5	6,0	1,0	1,6	3,4	4,7	1,5	2,7
BSA/BSR	I	7,48	5,01	5,27	4,83	4,04	4,87	4,93	5,2
	NI	7,45	6,85	6,59	5,34	5,62	6,10	5,32	6,2

Tabela 2A. Teores de nutrientes (mg g^{-1}) na matéria seca da parte aérea total das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com fungos micorrízicos arbusculares.

		Níveis de P no solo (mg dm^{-3})							
		1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2	MÉDIAS
Ca	I	7,42	3,53	23,87	24,52	21,66	21,94	19,34	17,47
	NI	6,64	20,07	24,18	22,63	21,78	23,66	18,23	19,60
Mg	I	3,70	2,48	11,44	11,36	10,38	10,21	9,90	8,49
	NI	3,32	9,90	11,36	10,66	9,94	10,87	9,88	9,42
P	I	2,48	2,22	1,99	2,11	1,61	1,80	2,49	2,10
	NI	1,48	1,86	1,80	0,97	1,24	1,66	2,13	1,59
K	I	21,29	26,28	33,07	28,78	23,87	25,60	20,28	25,60
	NI	22,21	32,76	32,46	28,34	24,71	28,25	19,14	26,84
Fe	I	0,224	0,310	0,340	0,254	0,441	0,216	0,318	0,301
	NI	0,499	0,457	0,412	0,398	0,263	0,418	0,329	0,397
Mn	I	0,432	0,628	0,565	0,594	0,530	0,491	0,473	0,530
	NI	0,582	0,578	0,679	0,508	0,509	0,550	0,467	0,553
Zn	I	0,012	0,017	0,020	0,015	0,018	0,011	0,022	0,017
	NI	0,014	0,018	0,019	0,017	0,014	0,017	0,013	0,016

Tabela 3A. Teores de nutrientes (mg g^{-1}) na matéria seca do sistema radicular das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com fungos micorrízicos arbusculares.

		Níveis de P no solo (mg dm^{-3})							
		1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2	MÉDIAS
Ca	I	8,25	6,87	5,85	5,89	5,89	6,09	7,96	6,68
	NI	9,42	9,64	6,63	5,37	5,34	7,28	6,02	7,10
Mg	I	4,10	6,73	6,68	7,82	10,16	8,20	9,69	7,62
	NI	4,38	4,24	3,66	5,30	5,74	7,88	10,95	6,02
P	I	0,95	1,34	1,39	1,64	1,45	1,55	2,04	1,48
	NI	0,93	0,86	0,94	0,67	0,93	1,18	1,88	1,06
K	I	8,53	16,81	18,65	20,12	23,32	18,62	18,69	17,82
	NI	12,74	14,44	15,53	17,51	17,72	20,54	20,61	17,01
Fe	I	5,173	4,944	6,242	4,571	4,444	4,033	2,409	4,545
	NI	5,542	5,471	3,665	3,608	5,037	2,232	2,303	3,980
Mn	I	0,869	0,504	0,428	0,505	0,370	0,423	0,148	0,464
	NI	0,585	0,498	0,849	0,272	0,285	0,252	0,132	0,411
Zn	I	0,051	0,062	0,031	0,040	0,046	0,048	0,018	0,042
	NI	0,046	0,063	0,041	0,038	0,031	0,031	0,016	0,038

Tabela 4A. Teores de nutrientes (mg g^{-1}) na matéria seca das folhas das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com fungos micorrízicos arbusculares.

		Níveis de P no solo (mg dm^{-3})							
		1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2	MÉDIAS
N	I	29,28	34,22	30,01	23,41	23,74	24,96	36,57	28,88
	NI	26,52	24,14	21,76	22,63	26,49	21,89	25,20	24,09
Ca	I	19,64	29,09	23,92	25,58	25,41	20,43	5,89	21,42
	NI	30,92	26,69	22,46	30,10	25,59	19,57	19,69	25,00
Mg	I	6,56	8,06	8,62	7,92	9,97	7,51	2,94	7,37
	NI	9,46	8,06	6,66	10,24	8,24	7,57	5,10	7,90
P	I	2,90	3,05	2,60	2,40	2,28	3,22	5,13	3,08
	NI	2,55	2,03	1,50	1,49	1,67	1,87	3,12	2,03
K	I	34,81	39,97	24,32	14,76	14,81	16,15	20,20	23,58
	NI	20,41	18,23	16,05	11,57	12,41	6,69	11,84	13,89
Fe	I	0,281	0,177	0,373	0,161	0,121	0,112	0,193	0,202
	NI	0,221	0,236	0,250	0,154	0,171	0,095	0,148	0,182
Mn	I	0,376	0,275	0,561	0,575	0,312	0,308	0,379	0,398
	NI	0,377	0,320	0,264	0,510	0,316	0,239	0,232	0,322
Zn	I	0,027	0,047	0,030	0,047	0,021	0,020	0,034	0,032
	NI	0,032	0,026	0,021	0,018	0,022	0,017	0,025	0,023

Tabela 5A. Acúmulo de nutrientes (mg planta^{-1}) na matéria seca total das plantas de pinhão manso sob diferentes níveis de P no solo, inoculadas (I) ou não inoculadas (NI) com fungos micorrízicos arbusculares.

		Níveis de P no solo (mg dm^{-3})							
		1,2	2,0	3,9	10,7	23,3	68,5	103,2	MÉDIAS
Ca	I	15,17	10,89	78,63	82,29	126,13	170,37	246,45	104,28
	NI	16,56	40,76	59,66	94,04	92,41	123,99	168,82	85,18
Mg	I	7,27	9,42	40,22	42,17	72,01	86,90	139,74	56,82
	NI	7,62	20,11	28,05	47,01	44,35	58,18	104,29	44,23
P	I	4,07	5,28	6,61	7,81	10,66	15,68	31,38	11,64
	NI	4,17	3,76	4,54	4,37	5,58	9,22	21,65	7,61
K	I	38,59	69,01	115,39	107,76	161,63	215,65	272,35	140,05
	NI	52,92	67,04	83,42	125,92	112,79	145,79	200,68	112,65
Fe	I	1,594	3,714	4,491	4,133	8,839	7,723	6,290	5,255
	NI	3,118	2,441	2,183	4,332	4,863	5,442	6,423	4,114
Mn	I	0,896	1,612	2,004	2,185	3,565	4,336	5,518	2,874
	NI	1,418	1,263	1,845	2,304	2,234	2,960	4,357	2,340
Zn	I	0,032	0,064	0,082	0,072	0,160	0,155	0,191	0,108
	NI	0,040	0,052	0,058	0,098	0,082	0,124	0,142	0,085

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)