

EFEITOS DA INOCULAÇÃO MICORRÍZICA E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM MUDAS DE *Vochysia maxima* Ducke¹

Elizabeth Ying Chu², Jorge Alberto Gazel Yared³ e Haroldo Jun-Ichi Onuki Maki⁴

RESUMO - Para verificar os efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em mudas de *Vochysia maxima* (quaruba), foi realizado um experimento em casa de vegetação. Testaram-se nove espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs): *Gigaspora* sp., *Acaulospora appendicula*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora* sp., *Scutellospora* sp., *Gigaspora margarita*, *Glomus mosseae*, *Scutellospora gilmorei* e *Entrophospora colombiana*. A inoculação foi feita pela deposição de solos inóculos de FMAs debaixo da radícula das plântulas, durante a repicagem para copos de plástico de 200 ml, contendo Latossolo Amarelo álico fumigado e não-fumigado. Três meses depois, as mudas foram transferidas para vasos de plástico, contendo 2 kg do mesmo solo, com ou sem a incorporação de fósforo (90 mg/dm³ de solo), na forma de superfosfato simples. O estado nutricional e o crescimento das plantas foram avaliados 12 meses depois da inoculação. As mudas desenvolveram pouco sem aplicação de fósforo, tanto no solo fumigado quanto no solo não-fumigado, mesmo inoculando fungos micorrízicos. Com a aplicação de fósforo, um aumento de 76% em produção de matéria seca foi obtido com a inoculação de *Glomus mosseae* e *Gigaspora* sp. no solo fumigado e não-fumigado, respectivamente. Essas duas espécies promoveram também a maior quantidade acumulada de fósforo na parte aérea da planta, sendo 71% pelo *Glomus mosseae* no solo fumigado e 96% pelo *Gigaspora* sp. no solo não-fumigado, em relação às mudas não-inoculadas, evidenciando alta exigência de quaruba em fósforo. A inoculação e a adubação fosfatada beneficiaram o crescimento e a absorção de P das plantas, mesmo no solo não-fumigado.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos arbusculares, crescimento e absorção de fósforo.

EFFECTS OF MYCORRHIZAL INOCULATION AND PHOSPHATE FERTILIZATION ON *Vochysia maxima* Ducke SEEDLINGS

ABSTRACT - In order to verify the effects of mycorrhizal inoculation and phosphate fertilization on the growth of *Vochysia maxima* (quaruba) seedlings, an experimental trial was carried out under greenhouse conditions. Nine species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs): *Gigaspora* sp., *Acaulospora appendicula*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora* sp., *Scutellospora* sp., *Gigaspora margarita*, *Glomus mosseae*, *Scutellospora gilmorei* and *Entrophospora colombiana* were tested. The soil inoculation were placed underneath the roots, during the transplanting of seedlings to 200 ml plastic cups, containing fumigated or non-fumigated alic yellow Latosol. After 3 months, the plants were transferred to 2 kg plastic pots, containing the same soil, with or without incorporation of phosphorus (90 mg/dm³ of soil) in the form of mono superphosphate. Growth and nutritional state of the plant were evaluated 12 months after mycorrhizal inoculation. The quaruba seedlings, inoculated or not, grew very little without phosphate fertilization, both in fumigated and non-fumigated soils. With phosphate fertilization, a 76% increment in dry matter production was obtained by inoculation of *Glomus mosseae* and *Gigaspora* sp. in fumigated and non-fumigated soil, respectively. Both species also promoted the highest phosphorus accumulation, 71% by *Glomus mosseae* in fumigated soil and 96% *Gigaspora* sp. in non-fumigated soil, in relation to the non-inoculated control plants, evidencing that quaruba is a highly phosphorus-requiring plant. Mycorrhizal inoculation with effective species plus phosphate fertilization benefit the growth and phosphorus absorption of the quaruba seedling, even in non-fumigated soil.

Key words: Arbuscular mycorrhizal fungi, growth and phosphorus absorption.

¹ Recebido para publicação em 12.11.2002 e aceito para publicação em 30.4.2004.

² Eng.-Agr., M.S., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental; ³ Eng. Florestal, Doutor, Pesquisador de Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, 66017-970 Belém-PA. ⁴ Ex-bolsista do convênio PIBIC/CNPq, ACTA cp:14, Tomé-açu, 68682-000 Quatro Bocas-PA.

1. INTRODUÇÃO

Vochysia maxima (quaruba) é uma das espécies florestais da Amazônia, cuja madeira é muito usada em construção civil e naval, assim como na fabricação de molduras, peças torneadas, chapas, movelaria e outros. A prática silvicultural, como plantio comercial ou reflorestamento, é geralmente adotada para preservação das espécies florestais e para atender à demanda do mercado madeireiro. O índice de mortalidade das mudas de quaruba em plantios é superior a 70% (Marques et al., 1993; Yared et al., 1988). Para o sucesso do plantio das espécies florestais em grande escala, a sobrevivência e o estabelecimento das mudas no campo tornam-se fatores primordiais. Na Amazônia existe um grande número de espécies florestais, mas pouco se sabe sobre suas exigências nutricionais, especialmente fósforo, elemento limitante para o desenvolvimento das plantas em solos ácidos e de baixa fertilidade, que caracterizam a região da Amazônia.

Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são fungos da Glomales que formam associações simbióticas com quase todas as espécies agrônomicas. O efeito mais notável desta associação entre plantas e fungos micorrízicos está no aumento do crescimento da planta, resultado do aumento da absorção de nutrientes, principalmente aqueles menos móveis (Mosse, 1981). Nos trópicos, onde a maior parte do solo apresenta baixa fertilidade, a formação de micorriza é importante para a sobrevivência e o crescimento das plantas, assim como para a sucessão da floresta e a recuperação das áreas degradadas (Janos, 1996). Embora os fungos micorrízicos ocorram de maneira generalizada na natureza, suas distribuições, populações e eficiência são desuniformes e bastante variáveis (Siqueira, 1994). Como a interação planta – fungos micorrízicos é um processo biológico, é de se esperar que a extensão da resposta de plantas à micorriza varie entre diferentes plantas e fungos micorrízicos (Smith & Read, 1997). Essa interação é influenciada pela dependência da planta aos fungos micorrízicos, pela eficiência do fungo em aumentar o crescimento da planta e pelas condições edafoclimáticas (Smith & Gianinazzi-Prarson, 1988). Entre os fatores edáficos, a disponibilidade de fósforo exerce grande influência sobre a formação de micorriza, o que pode reduzir ou até inibir a colonização radicular em níveis extremamente deficientes ou altos (Peng et al., 1993). A presença de microbiota indígena, incluindo os fungos micorrízicos existentes, pode também influenciar o funcionamento da inoculação de espécies de FMA selecionadas. Portanto, é necessário conhecer os efeitos

da inoculação no solo natural sem fumigação para prever o grau de sucesso na prática de inoculação em condições de campo.

As plantas perenes, em geral, passam por uma fase de formação de mudas em viveiros, tornando a inoculação artificial de mudas, com uma determinada população de espécies de fungos micorrízicos pré-selecionados, uma prática viável, sem onerar o custo de produção.

A quaruba está entre as espécies de plantas tropicais brasileiras naturalmente infectadas pelos FMAs (ST. John, 1980), porém não se encontra ainda informação sobre os efeitos que esta associação pode trazer para a cultura. O objetivo desta pesquisa foi verificar os efeitos da inoculação de nove diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em formação das mudas de quaruba, em solo fumigado ou não-fumigado, com ou sem adubação fosfatada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém-PA, no período de junho de 1998 a junho de 1999, usando as plântulas de quaruba no estágio cotiledonar, coletadas no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, no município de Belterra, Estado do Pará. As plântulas foram colocadas em copos de plástico, contendo 200 ml de um Latossolo Amarelo álico, retirado da camada de 0 – 20 cm de profundidade em área de mata, fumigado e não-fumigado com brometo de metila na dosagem de 196 ml/m³ de solo. A análise química do solo apresentou as seguintes características: pH em água = 5,0; P = 5 mg/kg; K = 37 mg/kg; Na = 15 mg/kg; Ca²⁺ = 1,0 cmol/dm³; Mg²⁺ = 1,1 cmol/dm³; e Al³⁺ = 0,5 cmol/dm³. Foram testadas nove espécies de FMAs: *Entrophospora colombiana* (CIAT), *Scutellospora* sp. (nativo), *Scutellospora heterogama* (IAC), *Gigaspora* sp. (nativo), *Scutellospora gilmorei* (nativo), *Acaulospora appendicula* (CIAT), *Acaulospora* sp. (nativo), *Gigaspora margarita* (IAC) e *Glomus mosseae* (inóculo comercial de Idemitsu). A inoculação de FMAs previamente multiplicados em *Brachiaria decumbens* Stapf no solo fumigado, contendo aproximadamente 250 esporos, foi feita pela deposição de 5g de solo inóculo, debaixo da radícula das plântulas de quaruba, durante o transplantio das mudas para os copos de plástico. Nesta fase, todas as plântulas receberam duas aplicações de 10 ml de uma solução nutritiva com 50% de sua força iônica (Bolly-Jones, 1956). Três meses depois as mudas foram transferidas para vasos de

plástico, contendo 2 kg do mesmo solo fumigado e não-fumigado. Para o tratamento com adubação fosfatada, 90 mg de fósforo/dm³ de solo na forma de superfosfato simples foram incorporados no solo, 15 dias antes de transplantio. Durante nove meses em vasos, as plantas receberam cinco aplicações de 20 ml/planta da mesma solução nutritiva usada anteriormente com 100% de sua força iônica, menos fósforo. O delineamento experimental foi de bloco ao acaso com 40 tratamentos, sendo dez de inoculação, dois de solo e dois de adubação fosfatada, com cinco repetições por tratamento e uma planta por repetição. O experimento foi avaliado 1 ano após a inoculação com FMAs. Logo após a mensuração da altura da planta e do diâmetro do coleto, a planta foi separada na altura de solo. A parte aérea foi lavada com água desionizada e seca em estufa com ventilação forçada a 65 °C, até atingir o peso constante, para determinação de peso da matéria seca, e posteriormente moída para as análises de nutrientes, segundo a metodologia de Möller et al. (1997). Após a lavagem das raízes, uma parte foi separada (aproximadamente 1g) e conservada em solução de FAA [formaldeído (40%): álcool (50%): ácido acético = 13 ml: 200 ml: 5 ml] para coloração e determinação da porcentagem de colonização radicular posterior, seguindo o método descrito por Phillips & Hayman, adaptado por Abbott & Robson (1981). O restante da raiz foi posto

para secar na estufa, para conversão de peso da matéria seca. A porcentagem de colonização radicular foi determinada pela observação microscópica de 25 segmentos de raízes por repetição, com aproximadamente 1 cm cada (Giovannetti & Mosse, 1980). A eficiência de inoculação foi calculada pela equação: $EI = [(peso\ da\ matéria\ seca\ da\ planta\ inoculada - peso\ da\ matéria\ seca\ da\ planta\ não\ inoculada) / peso\ da\ matéria\ seca\ da\ planta\ não\ inoculada] \times 100$. A porcentagem de acréscimo em quantidade de fósforo acumulado na parte aérea da planta foi calculada pela equação: $[(quantidade\ de\ fósforo\ absorvido\ pela\ planta\ inoculada - quantidade\ de\ fósforo\ absorvido\ pela\ planta\ não\ inoculada\ do\ controle) / quantidade\ de\ fósforo\ absorvido\ pela\ planta\ não\ inoculada\ do\ controle] \times 100$. A análise de variância foi feita para todos os dados experimentais, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se um efeito predominante de adubação fosfatada sobre as mudas de quaruba. Tanto no solo fumigado quanto no solo não-fumigado, com ou sem inoculação de FMAs, as mudas desenvolveram pouco sem aplicação de fósforo, o que evidencia a necessidade de fósforo para o crescimento inicial da planta (Figura 1).

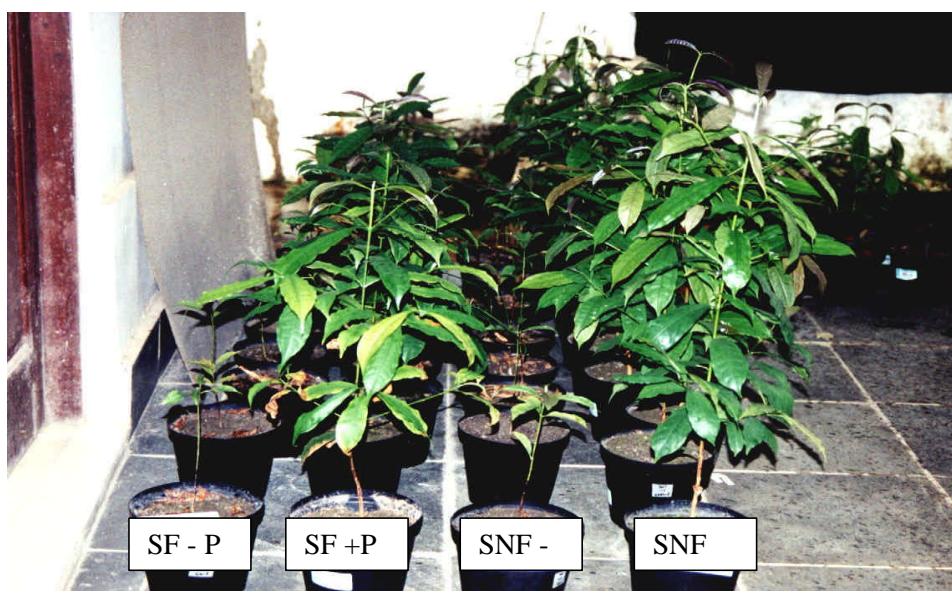


Figura 1 – Mudanças de quaruba formadas em solo fumigado (SF) e não-fumigado (SNF), com ou sem aplicação de superfosfato simples (P), 1 ano depois da inoculação com FMAs.

Figure 1 – *Quaruba* seedlings grown in fumigated and non-fumigated soil, with or without application of mono superphosphate, one year after AMF inoculation.

No Quadro 1, verifica-se que os efeitos da inoculação com FMAs no crescimento das mudas de quaruba foram observados somente em solos com aplicação de superfosfato simples. Não houve diferença em crescimento em altura da planta e diâmetro de coleto das mudas de quaruba entre os tratamentos de inoculação em solos sem aplicação de superfosfato simples, fumigado ou não. Entretanto, com a aplicação de superfosfato, as mudas tiveram o crescimento e a produção de matéria seca significativamente superiores em solo não-fumigado, em relação às mudas do mesmo tratamento no solo fumigado. A prática de inoculação não é bem-sucedida em solos muito férteis ou naqueles submetidos á adubação pesada, pois a alta disponibilidade de nutrientes inibe o estabelecimento da simbiose e, mesmo que esta se estabelecesse, os benefícios para a planta seriam reduzidos, inexistentes ou até depressivos quando os FMAs atuam como parasitas (Siqueira, 1994). Em solos com fertilidade muito

baixa a micorrização também pode beneficiar pouco ou não ter efeito sobre a planta hospedeira. Neste caso, a aplicação de nutrientes, especialmente o fósforo, pode aumentar os efeitos da inoculação, dependendo do grau de exigência que a espécie cultivada tem em relação a este elemento (Peng et al., 1993). O comportamento das espécies de FMA testadas foi diferenciado, devendo ser ressaltado que no solo fumigado a inoculação com *Gl. mosseae* aumentou significativamente a altura da planta e que no solo não-fumigado, mas adubado, os aumento significativos em altura da planta e produção de matéria seca, tanto de parte aérea quanto de raiz, das mudas de quaruba foram obtidos com a inoculação de *Gigaspora* sp. e *Acaulospora* sp., em relação ao controle não-inoculado. As espécies de FMA que promoveram a maior altura das mudas de quaruba quando adubadas com fósforo foram diferentes para solo fumigado e solo não-fumigado. O funcionamento da inoculação micorrízica em

Quadro 1 – Médias de altura da planta, diâmetro do coleto, peso da matéria seca da parte aérea e da raiz das mudas de quaruba, inoculadas ou não com diferentes espécies de FMAs, no solo fumigado (SF) e não (SNF), com ou sem aplicação de fósforo, 1 ano após a inoculação (média de cinco plantas)

Table 1 – Averages of plant height, root collar diameter, shoot and root dry matter weight of quaruba seedling, inoculated or not with different species of AMF, in fumigated and non-fumigated soil, with or without phosphate application, one year after inoculation (average of 5 plants)

Variável	Substrato	Tratamento de Inoculação										CV (%)
		Controle	G.sp.	Ac	Aa	Gm	Sg	Sh	Glm	S.sp.	Ec	
Altura da planta (cm)	SF - P	17,8aC	20,5aB	16,6aC	15,4aB	23,7aC	16,4aC	18,1aC	19,1aB	17aC	17aB	14,98
	SF + P	29,4bcB	28,8bcB	29,2bcB	25,2bcB	32,9abB	28,4bcB	28,1bcB	40,5aA	23cB	32,3abA	
	SNF - P	20,2aBC	22aB	18aC	22,1aB	19,9aC	19,8aC	18,6aC	20,1aBC	18,1aBC	20,1aB	
	SNF + P	43cA	58,6aA	55,4abA	51,6abcA	50,7abcA	47,5bcA	47,0bcA	44,9cA	42,9cA	32,2dA	
Diâmetro do caule (cm)	SF - P	0,16aB	0,24aB	0,18aB	0,17aC	0,26aBC	0,18aC	0,17aC	0,18aB	0,18aBC	0,18aB	19,72
	SF + P	0,37abA	0,33abcB	0,35abcB	0,34abcB	0,37abcAB	0,35abcB	0,32bcB	0,45aA	0,25cB	0,32cA	
	SNF - P	0,18aB	0,2aB	0,15aC	0,22aC	0,21aC	0,19aBC	0,17aC	0,22aB	0,19aBC	0,21aB	
	SNF + P	0,46abA	0,53aA	0,52aA	0,49aA	0,48aA	0,43abA	0,45abA	0,42abA	0,47abA	0,35bA	
Peso da matéria seca da parte aérea (g/planta)	SF - P	0,20aB	0,45aB	0,22aB	0,21aB	0,51aC	0,18aB	0,21aB	0,44aC	0,15aB	0,26aC	54,36
	SF + P	3,02abB	2,75abB	3,17abB	1,97abB	3,78abB	2,56abB	1,96abB	5,32aB	0,81bB	2,18abB	
	SNF - P	0,31aB	0,49aB	0,22aB	0,49aB	0,60aC	0,27aB	0,21aB	0,41aC	0,33aB	0,45aBC	
	SNF + P	8,08cdA	14,2aA	12,87abA	11,08abcA	9,89bcA	8,6cA	10,61abcA	7,77cdA	8,58cA	4,52dA	
Peso da matéria seca da raiz (g/planta)	SF - P	0,08aB	0,2aB	0,12aB	0,1aC	0,22aB	0,13aB	0,11aB	0,21aB	0,11aB	0,11aC	68,00
	SF + P	0,61aB	0,43aB	0,48aB	0,44aB	0,92aB	0,38aB	0,36aB	0,88aAB	0,19aB	0,42aAB	
	SNF - P	0,17aB	0,2aB	0,12aB	0,23aB	0,27aB	0,17aB	0,11aB	0,20aB	0,14aB	0,28aBC	
	SNF + P	2,2bcA	3,13abA	3,37aA	2,67abcA	2,23bcA	1,81cdA	2,4abcA	1,84cdA	1,69cdA	1,1dA	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferenciam entre si pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

G.sp. = *Gigaspora* sp., Ac = *Acaulospora* sp., Aa = *Acaulospora appendicula*, Gm = *Gigaspora margarita*, Sg = *Scutellospora gilmorei*, Sh = *Scutellospora heterogama*, Glm = *Glomus mosseae*, S.sp. = *Scutellospora* sp. e Ec = *Entraphospora colombiana*.

solo natural, segundo Menge (1983) e Siqueira (1991), depende da capacidade que o fungo introduzido tem de estabelecer a relação mutualismo com a planta, da sua adaptação às condições da fertilidade do solo e da sua compatibilidade com outros microrganismos do solo, incluindo FMAs nativas. Portanto, as espécies selecionadas para solo fumigado podem não ser eficientes no solo não-fumigado.

Como as plantas dos tratamentos sem adição de fósforo desenvolveram pouco, no Quadro 2 estão

somente os dados de análise estatística de tratamentos com adubação fosfatada; os dados de tratamento sem adubação fosfatada são de amostras compostas de cada tratamento de inoculação, sem análise estatística. Não foram observadas diferenças significativas em quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea das plantas de quaruba, entre os tratamentos de inoculação, exceto o nitrogênio acumulado, que foi significativamente inferior nas plantas inoculadas com *E. colombiana*, e o cobre acumulado, que foi significativamente superior nas plantas inoculadas com

Quadro 2 – Médias e quantidades de nutrientes absorvidas (mg/planta) da parte aérea das mudas de quaruba, inoculadas ou não com diferentes espécies de FMAs no solo fumigado (SF) e não-fumigado (SNF) com aplicação de fósforo, 1 ano após a inoculação (média de cinco plantas)

Table 2 – Averages of nutrient content (mg/plant) of the shoot of quaruba seedling, inoculated or not with different species of AMF, in fumigated and non-fumigated soil, with phosphate application, one year after inoculation (average of 5 plants)

Variável	Substrato	Tratamento de Inoculação										CV (%)
		Controle	G.sp.	Ac	Aa	Gm	Sg	Sh	Glm	S.sp.	Ec	
N	SF – P*	3,2	10,7	4,6	4,7	5,3	1,8	4,5	7,9	2,8	6,7	50,19
	SNF – P*	5,4	6,9	4,5	9,1	5,5	4,6	3,2	5,2	5,2	5,9	
	SF + P	58,6aA	55,4aB	43,3aB	48,7aB	67,9aA	27,3aB	32,7aB	58,9aA	17,0aB	50,4aA	
	SNF + P	89,8abcA	158,1aA	142,2abA	104,5abcA	93,3abcA	79,4bcA	112,1abA	90,5abcA	118,6abA	33,1cA	
P	SF – P	0,06	1,1	0,06	0,06	0,15	0,03	0,04	0,12	0,02	0,07	56,87
	SNF – P	0,09	0,1	0,04	0,14	0,18	0,07	0,06	0,08	0,06	0,18	
	SF + P	1,4aA	2,0aB	2,4aB	1,3aB	1,9aB	1,7aA	1,2aB	2,4aA	0,5aB	1,4aA	
	SNF + P	4,6abA	9,0aA	7,6aA	8,4aA	5,4abA	4,8abA	8,1aA	5,2abA	5,9abA	2,5bA	
K	SF – P	1,45	3,37	2,16	1,42	3,73	1,6	1,63	4,15	1,08	2,21	28,82
	SNF – P	3,32	6,6	2,39	4,9	6,0	3,48	2,4	4,63	3,94	6,0	
	SF + P	23,7abB	17,9abB	24,6abB	15,4abB	24,8abB	17,7abB	13,5abB	35,9aB	5,5bB	17,4abA	
	SNF + P	51,7abA	68,8aA	71,6aA	66,2aA	67,2aA	62,7aA	62,3aA	58,7abA	64,7aA	35,9aA	
Ca	SF – P	0,84	1,67	0,84	0,97	1,84	1,3	0,65	2,64	0,49	1,19	58,51
	SNF – P	1,61	2,56	1,10	2,08	4,63	0,92	1,07	3,40	2,21	8,52	
	SF + P	21,4aA	21,7aB	22,4aB	13,4aA	30,9aA	19,6aB	13,4aB	40,7aA	6,1aB	16,0aB	
	SNF + P	76,8abcA	113,1abA	117,8aA	76,2abcA	67,1abcA	73,2abcA	90,5abcA	53,2bcA	71,9abcA	37,6cA	
Mg	SF – P	0,58	0,79	0,4	0,49	0,84	0,4	0,39	1,51	0,23	0,62	52,14
	SNF – P	0,99	1,62	0,81	1,5	1,56	0,58	0,53	1,46	0,88	2,10	
	SF + P	8,6aA	8,0aB	8,7aB	6,5aA	12,2aA	7,3aB	5,4aB	15,6aA	2,4aB	5,4aB	
	SNF + P	32,4abcdA	53,2aA	51,8abA	51,5abA	37,5abcdA	30,9abcdA	42,6abcA	24,9cdA	28,4bcdA	16,3dA	
Cu	SF – P	0,002	0,003	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,004	47,15
	SNF – P	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0	0,002	0,003	0,002	0,004	
	SF + P	0,021aA	0,019aB	0,022aB	0,013aB	0,017aB	0,017aA	0	0,032aA	0,005aB	0,018aA	
	SNF + P	0,04bcA	0,091aA	0,09aA	0,077abA	0,069abA	0,063abcA	0,073ab	0,054bcA	0,06abcA	0,031cA	
Zn	SF – P	0,018	0,036	0,016	0,016	0,041	0,012	0,014	0,019	0,012	0,018	38,41
	SNF – P	0,008	0,021	0,009	0,022	0,022	0,008	0,012	0,019	0,008	0,034	
	SF + P	0,12abA	0,13abA	0,14abA	0,11abA	0,14abA	0,11abA	0,10abA	0,19aA	0,04bB	0,11abA	
	SNF + P	0,15abA	0,25aA	0,23aA	0,25aA	0,17abA	0,14abA	0,18abA	0,12abA	0,13abA	0,08bA	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferenciam entre si pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

G.sp. = *Gigaspora* sp., Ac = *Acaulospora* sp., Aa = *Acaulospora appendicula*, Gm = *Gigaspora margarita*, Sg = *Scutellospora gilmorei*, Sh = *Scutellospora heterogama*, Glm = *Glomus mosseae*, S.sp. = *Scutellospora* sp. e Ec = *Entraphospora colombiana*.

* Resultado de amostra composta sem análise estatística.

Gigaspora sp. e *Acaulospora* sp., em relação às plantas não-inoculadas do controle, no solo não-fumigado. O tratamento do solo não influenciou a absorção de nutrientes em plantas de controle não-inoculadas, em plantas inoculadas com *Gl. mosseae* e naquela com *E. colombiana*. Para os tratamentos de *Gigaspora* sp., *Acaulospora* sp., *S. heterogama* e *Scutellospora* sp., a absorção de nutrientes das plantas foi significativamente superior no solo não-fumigado, enquanto nos tratamentos de *A. appendicula*, *S. gilmorei* e *G. margarita* a absorção de nutrientes variou entre os tratamentos de solo.

No Quadro 3 constata-se que no solo fumigado o maior acréscimo de 71% em quantidade de fósforo acumulado foi obtido com inoculação de *Gl. mosseae* e de *Acaulospora* sp., seguidos por 43, 36 e 21% pelas inoculações de *Gigaspora* sp., *G. margarita* e *S. gilmorei*, respectivamente. As plantas dos tratamentos de *E. colombiana*, *A. appendiculata*, *S. heterogama* e *Scutellospora* sp. tiveram a quantidade de fósforo acumulado igual ou inferior a das plantas não-inoculadas do controle. Já no solo não-fumigado com adubação fosfatada, os tratamentos de inoculação, com exceção de *E. colombiana*, aumentaram a quantidade de fósforo acumulado na parte aérea da planta, variando de 4 a 96%, com o maior incremento encontrado nas plantas do tratamento de *Gigaspora* sp., que tiveram também maior absorção de outros nutrientes avaliados. Os tratamentos da inoculação que promoveram o maior aumento em fósforo acumulado resultaram também no maior crescimento em altura da planta, diâmetro de coleto e peso de matéria seca da parte aérea e da raiz das mudas de quaruba, o que pode ser constatado no Quadro 1. Neste trabalho, as plantas não-inoculadas do controle cresceram mais no solo não-fumigado do que no solo fumigado, provavelmente devido à presença de FMAs existentes no solo, mas, mesmo assim, a inoculação com fungos micorrízicos eficientes introduzidos resultou em benefícios para o crescimento em altura da planta, diâmetro do coleto e peso de matéria seca da parte aérea e da raiz das mudas de quaruba.

No Quadro 4, verifica-se que no solo fumigado a maior eficiência da inoculação ocorreu no tratamento sem adubação fosfatada e que no tratamento com adubação (90 mg de P/dm³ de solo) houve aumento no efeito depressivo da inoculação. Somente as espécies de *Gl. mosseae*, *G. margarita* e *Acaulospora* sp. causaram efeitos positivos em mudas de quaruba. O número de

espécies de fungo micorrízico que causaram respostas negativas em produção de matéria seca da planta foi reduzido em solo não-fumigado, com ou sem adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram obtidos por Melloni et al. (2000), que encontraram efeito negativo de inoculação em limoeiro-cravo, quando inoculado com *Glomus etunicatum* no solo, com aplicação de fósforo nas dosagens de 50, 100 e 250 mg/dm³. Em mudas de eucalipto, o maior valor em eficiência micorrízica foi observado na dose 0 de fósforo, decrescendo com o aumento das doses deste nutriente; na dose de 160 mg/dm³ de fósforo o valor da eficiência foi negativo (Trajano et al., 2001). Efeito depressivo da inoculação pode ocorrer quando o saldo do balanço entre a quantidade de nutrientes transferida pelo fungo para as raízes da planta e a quantidade metabólica produzida pela planta e consumida pelo fungo para se sustentar for negativo (Peng et al., 1993). O fato de os fungos micorrízicos poderem atuar como parasitas no solo com nível de fósforo acima da dosagem adequada para o crescimento da planta (Moreira & Siqueira, 2002) explicaria os valores negativos obtidos da inoculação. Embora a máxima eficiência da inoculação (76%) tenha sido igual para os dois tipos de solo com adubação fosfatada, as plantas cresceram bem menos no solo fumigado, o que pode ser uma contribuição de outros microrganismos existentes no solo não-fumigado, como as bactérias produtoras de enzimas hidrolíticas, que facilitam a penetração nas raízes pelos fungos micorrízicos, as bactérias solubilizadoras de fosfato, as rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR) e as diazotróficas de vida livre, que fixam nitrogênio atmosférico, beneficiam o crescimento das plantas e podem interagir com os FMAs, intensificando os efeitos benéficos causados por FMA em si (Linderman, 1992), enquanto a prática de fumigação do solo elimina quase todos esses microrganismos. Também os fungos micorrízicos introduzidos podem interagir de maneira distinta com a população de outros microrganismos do mesmo solo (Garbaye & Bowen, 1987), resultando em comportamento diferenciado de fungo micorrízico no solo fumigado e não-fumigado. O benefício da inoculação com espécies ou isolados eficientes de FMAs, em solo natural não-fumigado, foi observado também em culturas de café e mamoeiro (Saggin-Júnior & Siqueira, 1994; Trindade et al., 2000).

A porcentagem de colonização radicular observada no final do experimento foi baixa para todos os tratamentos (Quadro 5). Sete das nove espécies introduzidas causaram mais colonização radicular no solo fumigado

Quadro 3 – Porcentagem de acréscimo em quantidade de fósforo acumulada na parte aérea da planta conforme a equação: [(quantidade de fósforo absorvido pela planta inoculada – quantidade de fósforo absorvido pela planta não-inoculada do controle)/quantidade de fósforo absorvido pela planta não-inoculada do controle] x 100

Table 3 – Percentage of increment of phosphorus accumulated in plant shoot calculated by the equation: [(quantity of phosphorus absorbed by inoculated plant – quantity of phosphorus absorbed by non-inoculated plant)/quantity of phosphorus absorbed by non-inoculated plant] x 100

Substrato	Tratamento de Inoculação								
	G.sp.	Ac	Aa	Gm	Sg	Sh	Glm	S.sp.	Ec
SF + P	43	71	-7	36	21	-14	71	-64	0
SNF + P	96	65	83	17	4	76	13	28	-46

G.sp. = *Gigaspora* sp., Ac = *Acaulospora* sp., Aa = *Acaulospora appendicula*, Gm = *Gigaspora margarita*, Sg = *Scutellospora gilmorei*, Sh = *Scutellospora heterogama*, Glm = *Glomus mosseae*, S.sp. = *Scutellospora* sp. e Ec = *Entraphospora colombiana*.

Quadro 4 – Eficiência a inoculação calculada conforme a equação: EI = [(peso da matéria seca da planta inoculada – peso da matéria seca da planta não-inoculada)/peso da matéria seca da planta não-inoculada] x 100

Table 4 – Inoculation efficiency calculated by the equation: IE = [(shoot dry matter weight of inoculated plant – shoot dry matter weight of non-inoculated plant)/ shoot dry matter weight of non-inoculated plant] x 100

Substrato	Tratamento de Inoculação								
	G.sp.	Ac	Aa	Gm	Sg	Sh	Glm	S.sp.	Ec
SF – P	122	28	4	152	-12	10	115	-25	28
SF + P	-8	4	-34	25	-15	-35	76	-73	-27
SNF – P	58	-28	55	93	-14	-33	30	5	44
SNF + P	76	59	37	22	6	31	-3	6	-44

G.sp. = *Gigaspora* sp., Ac = *Acaulospora* sp., Aa = *Acaulospora appendicula*, Gm = *Gigaspora margarita*, Sg = *Scutellospora gilmorei*, Sh = *Scutellospora heterogama*, Glm = *Glomus mosseae*, S.sp. = *Scutellospora* sp. e Ec = *Entraphospora colombiana*.

Quadro 5 – Porcentagem e colonização radicular das mudas de quaruba inoculadas com diferentes espécies de FMAs ou não, em solo fumigado (SF) e não-fumigado (SNF), com ou sem adubação fosfatada, 1 ano após a inoculação

Table 5 – Percentage of root colonization of quaruba seedlings inoculated or not with different species of AMF, in fumigated and non-fumigated soil, with or without phosphate, 1 year after inoculation

Substrato	Tratamento de Inoculação									
	G.sp.	Ac	Aa	Gm	Sg	Sh	Glm	S.sp.	Ec	Cont.
SF – P	0,8	4,4	7,4	1,8	0,2	-	1,3	4,4	3,4	0
SF + P	3,4	13,1	8,0	7,0	1,7	5,6	10,8	8,8	3,4	0
SNF – P	10,6	6,3	12,1	12,2	5,8	4,3	6,4	2,4	3,8	8,2
SNF + P	7,0	12,7	4,2	7,1	3,4	10,2	6,3	10,0	2,4	1,8

G.sp. = *Gigaspora* sp., Ac = *Acaulospora* sp., Aa = *Acaulospora appendicula*, Gm = *Gigaspora margarita*, Sg = *Scutellospora gilmorei*, Sh = *Scutellospora heterogama*, Glm = *Glomus mosseae*, S.sp. = *Scutellospora* sp. e Ec = *Entraphospora colombiana*.

com aplicação de superfosfato simples, evidenciando a sua tolerância em nível mais elevado de fósforo, enquanto a colonização causada por fungos nativos foi menor. Não foi observada a correlação entre colonização radicular e absorção de fósforo. Estudando 29 espécies de plantas perenes, Siqueira & Saggin-Júnior (2001) constataram que algumas espécies formam micorriza com porcentagem de

colonização muito baixa, mesmo assim eles verificaram aumento significativo de concentração de fósforo na planta, quando inoculadas. A colonização radicular é controlada, principalmente, pelo requerimento nutricional da planta e pela sua habilidade em adquirir os nutrientes minerais na ausência de fungos micorrízicos (Siqueira et al., 1984). Quando o teor do elemento que limita o

desenvolvimento da planta é baixo no solo, a colonização micorrízica, mesmo que seja de menor intensidade, pode trazer benefícios para o crescimento e o desenvolvimento da planta.

Pelo fato de ter ocorrido variação morfológica entre as mudas de quaruba, possivelmente um número maior de repetições seja necessário para obtenção de resultados mais representativos. Em geral, a inoculação micorrízica funciona melhor quando o fósforo é aplicado em concentrações entre 20-60 mg/dm³ (Sieverding, 1991). A concentração de 90 mg/dm³ de fósforo usada neste trabalho pode ter contribuído para o não-funcionamento de algumas espécies testadas, que são mais sensíveis à adubação fosfatada. Portanto, precisa-se determinar, ainda, o nível ótimo de fósforo para maximizar o benefício da inoculação, para que sejam obtidas mudas vigorosas, com uma economia em adubação e um maior índice de sobrevivência no campo.

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

1. O fósforo é um elemento limitante para o desenvolvimento inicial das mudas de quaruba.
2. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares eficientes aumentou o crescimento em altura da planta, diâmetro do coleto e peso da matéria seca da parte aérea e da raiz das mudas de quaruba, mesmo no solo natural não-fumigado.
3. *Gigaspora* sp. mostrou ser a espécie mais promissora para inoculação das mudas de quaruba no solo não-fumigado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Infectivity and effectiveness of five endomycorrhizal fungi: competition with indigenous fungi in field soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 32, p. 621-630, 1981.
- BOLLY-JONES, E. W. Visual symptoms of mineral deficiencies of *Hevea brasiliensis*. **Journal of Rubber Research Institute**, v. 14, p. 495-579, 1956.
- GARBAYE, J.; BOWEN, G. D. Effect of different microflora on the success of ectomycorrhizal inoculation of *Pinus radiata*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 17, p. 941-943, 1987.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytology**, v. 84, p. 489-500, 1980.
- JANOS, D. P. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J. C.; NAGUN, N.; GADD, G. M. (Eds.) **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 129-162.
- LINDERMAN, R. G. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interaction. In: BETHELENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (Eds.) **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Maidson: American Society of Agronomy, 1992. p. 45-70.
- MARQUES, L. C. T.; YARED, J. A. G.; FERREIRA, C. A. P. Alternativa agroflorestal para pequenos produtores agrícolas, em áreas de terra firme do município de Santarém, Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1993. 18 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Boletim de Pesquisa, 147).
- MENGE, J. A. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. **Canadian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 1015-1024, 1983.
- MELLONI, R. et al. Fósforo adicionado e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição mineral de limoeiro-cravo [*Citrus limonia* (L.) Osbeck]. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 767-775, 2000.
- MÖLLER, M. R. F. et al. Análises de tecido vegetal: Manual de laboratório. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 32 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 92).
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: UFPA (Ed.) **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, 2002. p. 483-539.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhizae research for tropical agriculture. Hawaii: Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82 p.
- PENG, S. et al. Growth depressions in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. **Plant Physiology**, v. 101, p. 1063-1071, 1993.
- SAGGIN-JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 27-36, 1994.
- R. **Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.157-165, 2004

SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbiots in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual review of plant physiology, plant molecular biology**, v. 99, p. 221-224, 1988.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizas in managed environments: forest production, interaction with other microorganisms and pollutants. In: SMITH, S. E.; READ, D. J. (Eds.) **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. p. 470-489.

SIQUEIRA, J. O.; HUBBELL D. H.; VALLE R. R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p. 1465-1474, 1984.

SIQUEIRA, J. O. Fisiologia e bioquímica de micorrizas vesículo-arbusculares: alguns aspectos da relação fungo-planta e absorção de fósforo. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 4., Mendes. **Programa e resumos**. Mendes: 1991. p. 105-131.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.) **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p. 151-194. (EMBRAPA – CNPAF, Documentos, 44).

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

ST. JOHN, T. V. A survey of micorrhizal infection in an Amazon rain forest. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 3, p. 527-533, 1980.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystem**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 371 p.

TRAJANO, M. A. B. et al. Suprimento de fósforo e formação de micorrizas em mudas de eucalipto em sistema de raízes divididas. **Revista Ávore**, v. 25, n. 2, p. 193-201, 2001.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALEIDA, F. P. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigado, para mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 24, p. 505-513, 2000.

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no planalto do Tapajós – Pará. Belém: EMBRAPA-CPATU. 1988. 28 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 49).