

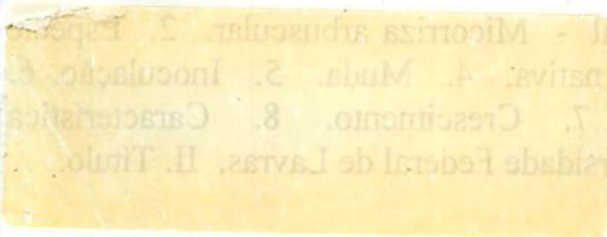
**ORIVALDO JOSÉ SAGGIN JÚNIOR**

**MICORRIZAS ARBUSCULARES EM MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
NATIVAS DO SUDESTE BRASILEIRO.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

**Orientador**

Prof. JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA



**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1997**

**Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação  
da Biblioteca Central da UFLA**

Saggin Júnior, Orivaldo José

Micorrizas arbusculares em mudas de espécies  
arbóreas nativas do Sudeste brasileiro / Orivaldo  
José Saggin Júnior. -- Lavras : UFLA, 1997.  
120 p. : il.

Orientador: José Oswaldo Siqueira.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Espécie florestal - Micorriza arbuscular. 2. Espécie  
arbórea. 3. Floresta nativa. 4. Muda. 5. Inoculação. 6.  
Adubação fosfatada. 7. Crescimento. 8. Característica  
morfológica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.964

# ORIVALDO JOSÉ SAGGIN JÚNIOR

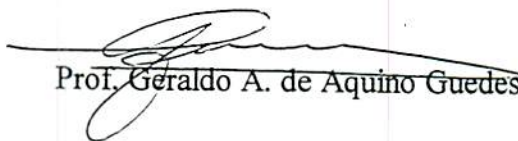
## MICORRIZAS ARBUSCULARES EM MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO SUDESTE BRASILEIRO.

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 24/04/97



Prof. Nilton Curi



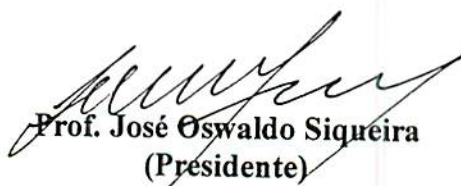
Prof. Geraldo A. de Aquino Guedes



Prof. Antônio Cláudio Davide



Dra. Sandra F. Botelho Trufem



Prof. José Oswaldo Siqueira  
(Presidente)

**Aos meus pais,  
Neide e Orivaldo  
OFEREÇO**

**À minha esposa, Josane  
Aos meus filhos, Daniel e André  
DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos:

- A Deus, que sempre orientou meus passos;
- À Universidade Federal de Lavras e a seus professores, que propiciaram toda a minha formação acadêmica;
- À CEMIG e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro;
- À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, que permitiu a conclusão deste treinamento;
- Ao CNPq e à CAPES, pela concessão de bolsa de estudo;
- Ao Lab. de Sementes Florestais do DCF da UFLA, pelo fornecimento de sementes;
- Ao prof. José Oswaldo Siqueira, pela disponibilidade e orientação;
- Aos membros da banca, pela contribuição a este estudo;
- À minha mãe, Neide, pela confiança e incentivo;
- À minha esposa, Josane, e aos meus filhos, Daniel e André, por criar esperança nos momentos mais difíceis;
- Ao bolsista de Iniciação Científica Leandro de Almeida Amado, pelo seu dinamismo e dedicação a este trabalho;
- Ao laboratorista Manoel Aparecido da Silva e ao funcionário da FAEPE José Roberto Fernandes (Pezão), que colaboraram além de suas atribuições com este estudo;
- Aos estagiários do Laboratório de Microbiologia do Solo, anônimos neste agradecimento, mas inesquecíveis, que muito contribuíram para a condução deste estudo;
- Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, que contribuíram com este estudo;
- Aos amigos que apoiaram e foram companheiros,

sinceramente, muito obrigado!

## BIOGRAFIA DO AUTOR

ORIVALDO JOSÉ SAGGIN JÚNIOR, filho de Orivaldo José Saggin e Arneide Dirce Strützel Saggin, nasceu em Piratininga (SP), em 07 de agosto de 1964. Concluiu o 1º grau na Escola Estadual Profª Ezilda Nascimento Franco, em 1978 e o 2º grau na Escola Estadual Profª Therezinha Sartori em 1981, ambas na cidade de Mauá (SP). Em agosto de 1982, ingressou na Universidade Federal de Lavras, então ainda Escola Superior de Agricultura de Lavras, graduando-se Engenheiro Agrônomo em julho de 1986. Exerceu a profissão de setembro de 1986 a abril de 1988 no Estado de Minas Gerais, quando retornou à Escola Superior de Agricultura de Lavras como bolsista de Aperfeiçoamento no Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciência do Solo. Em março de 1989, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, na Escola Superior de Agricultura de Lavras, graduando-se “Mestre” em março de 1992. No mesmo mês iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, naquela instituição. Em março de 1994, transferiu-se para o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, graduando-se “Doutor” pela Universidade Federal de Lavras em abril de 1997.

A partir de dezembro de 1994, o autor tornou-se pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), lotado no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), em Petrolina (PE).

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Micorrizas arbusculares (MAs).....	3
2.2 Dependência micorrízica das plantas.....	6
2.3 Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas tropicais.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Material de solo.....	18
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	20
3.3 Material vegetal e cultivo.....	21
3.4 Avaliações.....	24
3.5 Análises estatísticas.....	26
3.6 Estimativas de dependência micorrízica (DM).....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Colonização micorrízica e densidade de esporos.....	28
4.2 Crescimento vegetativo.....	34
4.3 Características morfológicas de raízes secundárias.....	50
4.4 Teores e quantidades de fósforo na parte aérea.....	57
4.5 Fósforo em discos de folha.....	67
4.6 Outros nutrientes na parte aérea.....	71
4.7 Dependência micorrízica.....	76
4.8 Sucessão florestal.....	84
4.9 Considerações gerais.....	86
5 CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características químicas originais e após calagem e adubação básica, do Latossolo Vermelho-Escuro utilizado no estudo.....	19
2	Classificação das espécies estudadas e denominação utilizada.....	22
3	Dados ecológicos sobre as espécies estudadas (Davide, Faria e Botelho, 1995) e período de cultivo em casa de vegetação.....	23
4	Colonização micorrízica por hifas (CH), arbúsculos (CA), vesículas (CV) e total (CT), e densidade de esporos das espécies nas concentrações 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo .....	29
5	Resumo das ANAVAs de massa, altura, área foliar, diâmetro do caule e número de folhas das espécies arbóreas.....	41
6	Massa total seca e área foliar de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	48
7	Resumo das ANAVAs de comprimento, diâmetro e densidade de pêlos radiculares e de diâmetro de raízes secundárias.....	51
8	Comprimento, diâmetro e densidade de pêlos radiculares e diâmetro de raízes secundárias de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	52
9	Resumo das ANAVAs de teor e quantidade acumulada de P na parte aérea e eficiência de absorção de P.....	58
10	Teor e quantidade acumulada de P na parte aérea e eficiência de absorção de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	60
11	Dependência micorrízica (DM) e DM corrigida (DMc), calculadas pela massa da parte aérea seca de acordo com Prenchette, Fortin e Furlan (1983) em três concentrações de fósforo na solução do solo (0,002; 0,02 e 0,2 mg/L), categoria de DM e valor estimado de T'.....	77

Tabela	Página
12 Classificação das espécies nos grupos sucessionais estabelecidos por Budowski (1965), obtida por análise discriminatória múltipla (ADM).....	85
13 Classificação das espécies nos grupos sucessionais estabelecidos por Whitmore (1988), obtida por análise discriminatória múltipla (ADM).....	85
14 Limites de classe estabelecidos em progressões geométricas (PG) para a separação arbitrária das diferentes variáveis avaliadas nas classes baixa (B), média (M), alta (A) e muito alta (MA).....	87
15 Agrupamento das espécies arbóreas e recomendações para formação de mudas em solo de baixa fertilidade.....	88
1A Resumo das ANAVAs de colonização micorrízica por apenas hifas (CH), arbusculos (CA), vesículas (CV) e total (CT), e densidade de esporos.....	111
2A Regressões ajustadas para massa da parte aérea seca de arbóreas micorrizadas (Ma) ou não (Ni) em função do fósforo na solução do solo.....	112
3A Número de folhas por planta de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	113
4A Resumo das ANAVAs da quantidade de P em discos de tecido foliar, amostrados em diferentes épocas de condução dos experimentos.....	114
5A Resumos das ANAVAs de teores de nutrientes na parte aérea de mudas de espécies arbóreas nativas.....	115
6A Teores de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	116
7A Teores de cobre, zinco, ferro e manganês na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com (0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução solo.....	117
8A Resumo das ANAVAs da quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea de mudas de espécies arbóreas nativas.....	118
9A Quantidades acumuladas de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	119
10A Quantidades acumuladas de cobre, zinco, ferro e manganês na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo.....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Colonização micorrízica total das mudas de espécies arbóreas (média das concentrações de P na solução do solo).....	33
2	Densidade de esporos extraídos do solo após o crescimento das mudas (média das concentrações de P na solução do solo).....	33
3	Altura de mudas de espécies arbóreas que não apresentaram interação entre os tratamentos de inoculação e de concentração de P na solução do solo. As barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%.....	35
4	Altura de mudas das espécies arbóreas que apresentaram interação entre os tratamentos de inoculação e de concentração de P na solução do solo. As barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%.....	37
5	Massa da parte aérea seca de espécies arbóreas nativas, inoculadas ou não, em função da concentração de fósforo na solução do solo. Os ajustes de regressões e os coeficientes de determinação encontram-se na tabela 2A.....	42
6	Taxa máxima de crescimento com base na massa da parte aérea seca obtida pelo tratamento de maior crescimento.....	44
7	Resposta relativa à elevação da concentração de P na SS para massa da parte aérea seca de mudas de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni).....	44
8	Resposta relativa à inoculação para massa da parte aérea seca de mudas de espécies arbóreas em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo.....	47
9	Correlação entre resposta ao P das plantas Ni e resposta à inoculação nas três concentrações de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem a inoculação.....	47
10	Correlações entre resposta à inoculação e colonização micorrízica por arbúsculos (CA), vesícula (CV) e total (CT) na concentração 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação.....	47

Figura		Página
11	Valores médios de características morfológicas das raízes secundárias de mudas de espécies arbóreas.....	54
12	Variação no teor de P nos tecidos da parte aérea devido à elevação na concentração de P na solução do solo de 0,002 para 0,2 mg.L <sup>-1</sup> , em mudas de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico.....	63
13	Variação no teor de P nos tecidos da parte aérea devido à inoculação de mudas de espécies arbóreas em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo.....	63
14	Teor médio de fósforo nos tecidos da parte aérea das espécies arbóreas em solo com 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo.....	65
15	Correlações entre o teor médio de P nos tecidos da parte aérea na concentração 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo e a resposta ao fósforo de plantas inoculadas (a) ou não (b), taxa de crescimento (c) e razão comprimento de pêlo:diâmetro de raiz (d). R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação.....	65
16	Demanda máxima de fósforo pelo tecido da parte aérea de mudas das espécies arbóreas.....	66
17	Quantidade de fósforo em discos de 0,5 cm <sup>2</sup> de tecido foliar em diferentes épocas durante o crescimento de mudas de espécies arbóreas, inoculadas ou não, em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo. Barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%. Para leucena é apresentada a quantidade de fósforo em um folíolo.....	68
18	Correlações entre variação na quantidade de P em disco de folha devido à inoculação e colonização micorrízica verificada nas concentrações 0,002 mg.L <sup>-1</sup> (a e b) e 0,2 mg.L <sup>-1</sup> (c e d) de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação. Variação = $\frac{(\text{Qti. P em disco das pl. Ma} - \text{Qti. P em disco das pl. Ni})}{\text{Qti. P em disco das pl. Ni}} \times 100.$	72
19	Correlações entre colonização micorrízica total e a dependência micorrízica (DM), DM corrigida (DMc) e valor estimado para T', nas concentrações 0,002, 0,02 e 0,2 mg.L <sup>-1</sup> de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação. N: espécies que não respondem à inoculação.....	82
1A	Regressões lineares entre P na solução do solo e P disponível no solo (Mehlich I) em função do P aplicado no solo, determinadas em ensaio prévio realizado para o estabelecimento dos tratamentos de concentrações de fósforo na solução do solo.....	110

## RESUMO

SAGGIN JÚNIOR, Orivaldo José **Micorrizas arbusculares em mudas de espécies arbóreas nativas do Sudeste brasileiro**. Lavras; UFLA; 1997. 120p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)\*

Avaliaram-se entre 1994 e 1996, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (MG), a formação de micorrizas arbusculares (MAs) e seus efeitos sobre o crescimento de mudas de 28 espécies arbóreas nativas e de *Leucaena leucocephala* (leucena), bem como a dependência micorrízica (DM) destas. Utilizou-se de vasos com 1250 g de material de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico que recebeu calagem e adubação adequada, exceto P, e foi fumigado com brometo de metila. Ensaios, conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 2x3, constaram de 2 tratamentos de inoculação (com e sem *Glomus etunicatum*) e 3 concentrações de P na solução do solo (0,002; 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup>), com 10 repetições, sendo cada espécie vegetal conduzida isoladamente. Plântulas obtidas de sementes foram repicadas uma por vaso e inoculadas com 225 esporos através de solo-inóculo. Os ensaios foram conduzidos por 58 a 262 dias em função do desenvolvimento da espécie, sendo altura e quantidade de P em discos de tecido foliar avaliadas periodicamente. Após a colheita, avaliaram-se variáveis vegetativas, teores de nutrientes na parte aérea, morfologia das raízes, colonização micorrízica e densidade de esporos no solo. Verificou-se que *Platycium regnellii* (pau-pereira), *Ormosia arborea* (tento), *Caesalpinia peltophoroides* (sibipiruna), *Platypodium elegans* (jacarandá-branco), *Myroxylon peruiferum* (óleo-bálsamo), *Hymenaea courbaril* (jatobá), *Dendropanax cuneatum* (maria-mole), *Ceiba speciosa* (paineira) e *Tabebuia roseo-alba* (ipê-branco) não apresentaram ou tinham apenas traços de colonização micorrízica e esporulação. Em termos de crescimento vegetativo, estas espécies não responderam à inoculação (I), apresentaram pequena ou nenhuma resposta ao fósforo (P) e não apresentaram interação I x P, sendo por isto consideradas não responsivas (N) e não dependentes (ND) das MAs na fase de mudas. As espécies *Solanum granuloso-leprosum* (gravitinga), *Lithraea molleoides* (aroeira),

\*Orientador: José Oswaldo Siqueira. Membros da Banca: Nilton Curi; Geraldo A. de Aquino Guedes, Antônio Cláudio Davide e Sandra F. Botelho Trufem.

*Trema micrantha* (trema), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Senna spectabilis* (cássia-carnaval), *Croton floribundus* (capixingui), *Tibouchina granulosa* (quaresmeira), *Cecropia pachystachya* (embaúba), *Cordia trichotoma* (louro), leucena, *Senna macranthera* (fedegoso), *Cedrella fissilis* (cedro), *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Myrsine umbellata* (pororoca), *Tabebuia impetiginosa* (ipê-roxo), *Sapindus saponaria* (saboneteira), *Tabebuia serratifolia* (ipê-amarelo), *Aspidosperma parvifolium* (guatambu) e *Copaifera langsdorffii* (óleo-copaíba) apresentaram comportamento oposto, sendo consideradas responsivas (R) e dependentes (D) das MAs. Este comportamento foi confirmado com o teor e quantidade acumulada de P na parte aérea e quantidade de P em discos de folhas. As espécies estudadas apresentam relação direta entre resposta à inoculação e o comprimento dos pêlos radiculares, contrariando a hipótese de Baylis. As espécies com sementes grandes beneficiam-se de suas reservas por períodos longos, retardando suas respostas ao P e à inoculação. As respostas das diversas variáveis não relacionam-se estatisticamente com a atual classificação ecológica das espécies, tornando-se difícil inferir sobre a micotrofia das espécies e os grupos sucessionais. A categorização de DM, proposta por Habte e Manjunath em 1991, e o ponto T' proposto por Janos em 1988, concordam na categorização das espécies em dependentes (D) e não dependentes (ND), porém não permitem maior detalhamento do grau de DM. Entre as espécies D, a gravitinga, aroeira, trema, açoita-cavalo, cássia-carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro e pau-ferro foram consideradas micotróficas facultativas (MF), pois respondem ao P mesmo sem micorrizas. Isto sugere que na formação das mudas destas espécies, as MAs podem, opcionalmente, ser substituídas por adubações fosfatadas para elevar o nível de P no solo para para  $35 \text{ mg.dm}^{-3}$  (Mehlich I). Outras espécies D (pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e óleo-copaíba) foram consideradas micotróficas obrigatórias (MO), pois apresentam respostas ao P apenas quando micorrizadas. Para estas, recomenda-se a inoculação com fungos MAs e dose de fertilizante fosfatado para atingir apenas  $2 \text{ mg.dm}^{-3}$  de P no solo. Espécies ND apresentam de baixo teor de P na parte aérea, pequena demanda de P, baixa razão comprimento de pêlo:diâmetro de raiz (cp:dr), sementes mais pesadas e a maioria delas apresentou baixa taxa de crescimento e pequena ou nenhuma resposta ao P. Espécies MO tendem a apresentar comportamento semelhante, porém respondem ao P quando micorrizadas. As MF apresentam alta taxa de crescimento, elevado teor, eficiência de absorção e demanda de P, alta razão cp:dr e sementes mais leves. Estes resultados tem grande valor tecnológico para a formação de mudas e regeneração de matas com espécies nativas em solos de baixa fertilidade.

## SUMMARY

### ARBUSCULAR MYCORRHIZAE IN SEEDLINGS OF NATIVE WOODY SPECIES IN SOUTHEASTERN BRAZIL

In a series of glasshouse experiments carried out at the Federal University of Lavras (MG), Brazil, during 1994 through 1996, it was studied formation of arbuscular mycorrhizal (AM) and its immediate effects on seedling growth, nutrition and mycorrhizal dependency of 28 native woody species and of *Leucaena leucocephala* (leucena). The study was conducted in 1250 g pots using a limed and fertilized (except P) Oxisol (dusk-red Latossol), which was fumigated before filling the pots. Treatments were set up as factorial design 2x3, with 10 replications, being presence and absence of inoculation with *Glomus etunicatum* and three levels of P in soil solution (0.002, 0.02 and 0.2 mg.L<sup>-1</sup>). One seedling obtained from germinated seeds was transplanted into pot, when it was inoculated with soil-inoculum at a rate enough to supply 225 spores per pot. Plants were allowed to grow for 58 to 262 days according to species development. Plant height and P on leaf discs were assessed periodically, whereas growth parameters, shoot nutrient content, root morphology and AM colonization and soil spore counts were assessed at the end of each experiment. It was found that *Platycium regnellii* (pau-pereira), *Ormosia arborea* (tento), *Caesalpinia peltophoroides* (sibipiruna), *Platypodium elegans* (jacarandá-branco), *Myroxylon peruiferum* (óleo-bálsamo), *Hymenaea courbaril* (jatobá), *Dendropanax cuneatum* (maria-mole), *Ceiba speciosa* (paineira) e *Tabebuia roseo-alba* (ipê-branco) showed neither AM colonization nor sporulation, even if signs of colonization were observed in some species. Growth of these species were not affected by inoculation (I), their response to phosphorus (P) was low or absent, with no significant interaction IxP. For reason these species were considered non-responsives and non-dependent on mycorrhiza. On the other hand, *Solanum granuloso-leprosum* (gravitinga), *Lithraea molleoides* (aroeira), *Trema micrantha* (trema), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Senna spectabilis* (cássia-carnaval), *Croton floribundus* (capixingui), *Tibouchina granulosa*

(quaresmeira), *Cecropia pachystachya* (embaúba), *Cor.dia trichotoma* (louro), leucena, *Senna macranthera* (fedegoso), *Cedrella fissilis* (cedro), *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Myrsine umbellata* (pororoca), *Tabebuia impetiginosa* (ipê-roxo), *Sapindus saponaria* (saboneteira), *Tabebuia serratifolia* (ipê-amarelo), *Aspidosperma parvifolium* (guatambu) e *Copaifera langsdorffii* (óleo-copaíba) exhibited high and consistent response to inoculation and mycorrhizal dependency. Such response was also verified for others variables such as shoot content and accumulated P and P on leaf discs. Response to inoculation was related to root hair length among the studied species, contradicting the Baylis's hypothesis. Heavy seeds species showed delayed responses to either P or inoculation. Plants responses obtained in the present study were not related to the current plants sucessional group. This makes the relationship between AM functions and plant sucession difficult to stablish. Mycorrhizal dependency as proposed by Habte and Manjunath in 1991 and the T' point as proposed by Janos in 1988 agreed well in separating dependents and non-dependents species. However they do not allow further categorization. Among the dependent species, gravitinga, aroeira, trema, açoita-cavalo, cássia-carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro and pau-ferro were considered as facultative mycotrophics, because they respond to P even without mycorrhiza. For these species, mycorrhizal effects can be optionally substituted by P supply enough to reach  $35 \text{ mg.dm}^{-3}$  available P (Mehlich I) for this particular soil. Other mycorrhiza dependent species such as pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu and óleo-copaíba were considered obligative mycotrophics, because they only respond to added P when they are mycorrhizal. These species should be grown with moderate P rates and inoculated with effective AM fungi. Non-dependent species have low shoot P content, low P demand, low ratio root hair length to root diameter (hl:rd) and heavy seeds. In addition, the vast majority of them has reduced growth rate and low or none P response. Obligative mycotrophic species exhibited similar behavior, but they respond to P when they are mycorrhizal. Facultative mycotrophics species exhibited high P response, growth rate, shoot P content and uptake efficiency, elevated P demand and ratio hl:rd and light seeds. The results of the present study are of great technological importance for seedling production and for reforestation and woodland regeneration using native species in low fertility soils.

## 1 INTRODUÇÃO

A conscientização ecológica da sociedade a nível mundial exige dos governos e das empresas, formas de preservar o meio ambiente, visando manter as reservas naturais, através da exploração sustentada dos recursos do planeta, e promover a recuperação de ecossistemas degradados. Esta cobrança é feita particularmente às empresas que exploram recursos naturais, de forma que órgãos financiadores de projetos de desenvolvimento exijam a implantação de programas de redução de impacto ambiental e de recuperação de áreas onde o ambiente já foi afetado. Na maioria dos projetos em desenvolvimento, verifica-se grande impacto sobre a flora e fauna indígenas, existindo, atualmente, enorme demanda por tecnologia de recomposição florística, especialmente de matas nativas que foram massivamente destruídas no Sudeste brasileiro pela expansão agrícola, urbanização, mineração e construção de barragens de hidrelétricas. Neste último caso, com a elevação do nível das águas, áreas totalmente desprovidas de árvores, ou áreas cuja vegetação nativa é de campo cerrado ou cerrado, tornam-se margens de reservatórios. Por isto, empresas geradoras de energia elétrica têm feito investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, para o restabelecimento da flora nos ecossistemas afetados pelos reservatórios artificiais. Isto, além da recuperação ecológica, prolonga a vida útil do reservatório, pois reduz o assoreamento causado pela erosão de áreas à montante mal vegetadas, ou submetidas a manejo inadequado. Uma das principais dificuldades para o estabelecimento de matas em várias regiões, como no Campo das Vertentes, em Minas Gerais, é a dominância de solos ácidos, de baixa fertilidade e, muitas vezes, desgastados por erosão e queimadas sucessivas. Estes solos são pobres em matéria orgânica e com deficiência acentuada de vários nutrientes, particularmente de fósforo, devido à baixa reserva de P total e à alta capacidade de fixação de fosfatos.

Além destes problemas relacionados com a fertilidade do solo, pouco se conhece das exigências nutricionais das espécies nativas e de suas relações ecológicas, como a simbiose entre fungos da ordem Glomales e as raízes, denominada micorrizas arbusculares, que são de grande importância na estruturação das comunidades vegetais e, certamente, no reflorestamento. Esta simbiose ocorre na maioria das plantas vasculares e favorece sua

nutrição mineral, principalmente pelo aumento da absorção de fósforo, e lhes confere maior tolerância a estresses, como déficit hídrico, compactação do solo, altas temperaturas, elementos tóxicos e pragas e patógenos do sistema radicular, aos quais as mudas estão sujeitas quando em seu estágio inicial de desenvolvimento. As diferentes espécies de plantas exibem diferenças na suscetibilidade à micorrização e no grau de dependência aos fungos micorrízicos. A dependência micorrízica (DM) é uma característica própria de cada espécie vegetal e varia com o seu estado fisiológico e com o nível de fertilidade do solo, tornando-se fator responsável pela adaptação e competitividade das espécies vegetais no ecossistema. Por isto, é considerada capaz de influenciar a participação das espécies em grupos ecológicos de sucessão florestal, podendo ter papel importante no estabelecimento da flora arbórea e na estruturação das populações dentro das comunidades vegetais de matas regeneradas.

O sucesso de reflorestamentos com espécies arbóreas nativas depende da capacidade de estabelecer espécies vegetais sob os estresses impostos pelo ambiente, de modo que a mata formada seja capaz de aumentar a matéria orgânica e a atividade biológica do solo, promover a ciclagem de nutrientes e iniciar o processo de sucessão florestal. Além da dispersão natural, a diversidade em matas regeneradas dependerá diretamente da capacidade de as espécies arbóreas suportarem os estresses ambientais, nutrirem-se satisfatoriamente e adaptarem-se ao ecossistema regenerado, vivendo em competição ou sinergismo com outras espécies. Assim, o conhecimento da capacidade das espécies nativas de formar micorrizas e de se beneficiar das mesmas, torna-se essencial quando se pretende ter sucesso na regeneração de matas. É de fundamental importância a formação de mudas de boa qualidade e, assim, o conhecimento da necessidade e resposta destas à inoculação com fungos micorrízicos, poderá representar economia de fertilizantes na formação de mudas e na implantação dos reflorestamentos em campo e garantir a adaptação das espécies ao ecossistema reflorestado.

Os objetivos deste estudo foram: a) avaliar a formação de micorrizas arbusculares em mudas de 29 espécies arbóreas; b) estimar as respostas à inoculação e à adubação fosfatada das espécies; c) calcular a DM das espécies e categorizá-las quanto ao seu grau de dependência; d) verificar a existência de relações entre DM e resposta à inoculação, resposta à adubação fosfatada, crescimento vegetativo, nutrição fosfatada, características morfológicas das raízes e grupo sucessional, e e) definir a necessidade da micorrização de mudas destas espécies durante sua formação em solo de baixa fertilidade natural.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Micorrizas arbusculares (MAs)

As MAs são o tipo de micorrizas mais ancestral e comum, ocorrendo na grande maioria das plantas vasculares e sendo considerada a mais durável, íntima e importante simbiose da Terra (Allen, 1996). Embora a formação de MAs seja considerada condição primitiva da flora terrestre (Trappe, 1987), nos ecossistemas de florestas tropicais, onde a diversidade vegetal é muito grande, as MAs são o tipo de micorrizas predominante (Janos, 1985). As MAs são formadas pela associação simbiótica entre fungos do solo da ordem Glomales dos Zigomicetos (Morton e Benny, 1990) e as raízes dos vegetais. A simbiose é formada por uma sequência de interações entre as hifas dos fungos e as células das raízes, as quais não são ainda bem conhecidas (Siqueira, 1991; Koide e Schreiner, 1992). A associação formada é dinâmica e os simbiontes apresentam perfeita integração morfológica e fisiológica, resultando numa compatibilidade funcional (Gianinazzi-Pearson, 1992). A associação é benéfica à planta hospedeira, pois favorece sua nutrição, especialmente em fósforo, melhora sua tolerância a diversos fatores estressantes e é benéfica ao fungo, que obtém fotossintatos para seu crescimento a partir da planta (Smith e Smith, 1990; Brundrett, 1991). Porém, o balanço entre o dreno de fotossintatos da planta e os benefícios trazidos pelo fungo à planta é sensível e controlado, particularmente, pela disponibilidade de fósforo no solo (Siqueira e Colozzi-Filho, 1986).

Acredita-se que a disponibilidade de P no solo e a dependência micorrízica (DM) sejam os principais fatores de controle da colonização micorrízica das raízes. Quando as espécies vegetais não são micotróficas, o controle da infecção micorrízica é feito pela não emissão de sinais químicos positivos (Gianinazzi-Pearson, 1992), pela produção de compostos inibidores de fungos micorrízicos (El-Atrach, Vierheilig e Ocampo, 1989; Vierheilig e Ocampo, 1990), ou por ambos os mecanismos. Quando as espécies vegetais são micotróficas, hipotetiza-se que o controle da infecção micorrízica possa ser realizado de várias formas. Uma

delas é pela regulação de estímulos químicos, como, exsudatos radiculares solúveis em água (Bécard e Piché, 1989), exsudatos flavonóides (Siqueira, Safir e Nair, 1991; Nair, Safir e Siqueira, 1991) ou compostos voláteis que se difundem rapidamente, a distâncias razoáveis da raiz (Bécard e Piché, 1989; Bécard e Piché, 1990). Sugere-se que estas substâncias sejam capazes de estimular a germinação dos esporos e a extensão do tubo germinativo e do micélio, de direcionar o crescimento fúngico por quimiotropismo e de serem responsáveis pela sinalização inicial no estabelecimento da simbiose. Uma outra forma de os vegetais micotróficos regularem a infecção micorrízica pode ser através de compostos químicos de defesa, como quitinases, fenólicos e fitoalexinas (Koide e Schreiner, 1992), e alterações anatômicas de defesa, como a formação de papilas em torno das hifas (Garriock, Peterson e Ackerley, 1989), ausência de canais de ar que favorecem o crescimento interno das hifas e ausência de suberização da exoderme de células curtas ou jovens (Brundrett e Kendrick, 1988, 1990a e 1990b; Brundrett, Murase e Kendrick, 1990). Outra forma de as plantas regularem a colonização micorrízica pode ser através do controle da transferência de fotossintatos para o fungo, o que pode ser feito reduzindo a alocação de carboidratos no sistema radicular ou regulando a transferência destes nos arbúsculos. Existem algumas hipóteses de como isso ocorre, e de como pode ser controlado pelo fósforo (Siqueira, Hubbell e Valle, 1984), porém este mecanismo de controle da colonização micorrízica ainda não está claramente elucidado (Siqueira e Franco, 1988). Desta maneira, o balanço da simbiose pode ser favorável à planta quando o suprimento de nutrientes, particularmente de P, for baixo, ou houver outras condições estressantes que limitem o crescimento de suas raízes (Siqueira e Saggin Júnior, 1995); ou desfavorável, quando a planta não precisa do fungo para se nutrir, pois as condições de fertilidade são boas, com níveis muito altos de P (Siqueira e Colozzi-Filho, 1986; Saggin Júnior e Siqueira, 1995). Neste caso, a planta pode ter seu crescimento reduzido em relação àquela que não tenha MAs (Saggin Júnior et al., 1994).

Portanto, o ambiente modula o funcionamento da simbiose, juntamente com as características genéticas intrínsecas ao fungo e à planta. A capacidade da simbiose formada em promover o crescimento da planta é denominada eficiência simbiótica (Saggin Júnior e Siqueira, 1995) e é condicionada à eficiência do fungo em promover este crescimento e à dependência de micorrizas que a planta possui para se nutrir. Porém, estas características do fungo e da planta estão relacionadas a fatores ambientais, como fertilidade do solo, elementos

metálicos, umidade, aeração, textura, biota, temperatura e manejo do solo (Siqueira, 1991; Brundrett, 1991).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) não apresentam especificidade em relação ao hospedeiro vegetal (Siqueira, 1986), e embora existam diferenças entre isolados geográficos da mesma espécie (Stahl e Smith, 1984; Louis e Lim, 1988; Saggin Júnior et al., 1994) e ecotipos (Bâ, Dalpé e Guissou, 1996), a dependência destes fungos à planta não é uma característica a nível de espécie (Bever et al., 1996), pois uma espécie de FMA coloniza um grande número de espécies vegetais. Isto ocorre com o fungo micorrízico *Glomus etunicatum* Becker e Gerdemann, uma espécie cosmopolita amplamente estudada. Entre 1984 e 1996, foram publicados mais de 200 artigos científicos envolvendo esta espécie. Estes estudos indicam que ela ocorre em diferentes ecossistemas e coloniza um grande número de espécies vegetais, sendo efetiva em promover o crescimento e nutrição destas. *G. etunicatum* tem sido muito estudado no Brasil, onde foram desenvolvidos 22% dos trabalhos envolvendo esta espécie, catalogados no “CAB Abstracts” entre janeiro de 1995 e outubro de 1996. Isto, provavelmente, se deve à comum ocorrência desta espécie em agro e ecossistemas brasileiros (Siqueira, Colozzi-Filho e Oliveira, 1989; Trufem, 1990; Weber e Oliveira, 1994; Sturmer e Bellei, 1994; Saggin Júnior e Siqueira, 1997). *G. etunicatum* apresenta ampla faixa de tolerância a níveis de pH, alumínio, manganês e fósforo no solo (Medeiros, Clark e Ellis, 1994, 1995; Miranda e Harris, 1994). É favorecido pelo cultivo do solo (Douds Jr. et al., 1995) e pela presença de matéria orgânica (Weber, Oliveira e Magalhães, 1990; Zambolim et al., 1992). Entre culturas arbóreas, tem sido estudado principalmente em citros (Dixon, Garret e Cox, 1989; Antunes e Cardoso, 1990, 1991; Weber, Oliveira e Magalhães, 1990; Rocha et al., 1994; Souza et al., 1995) e cafeeiro (Saggin Júnior et al., 1994; Saggin Júnior e Siqueira, 1995, 1997), além de outras culturas, como mamoeiro (Weber e Amorim, 1994) e cacauieiro (Cuenca, Herrera e Menezes, 1991). Em essências florestais, estudos indicam que *G. etunicatum* seja eficiente em promover o crescimento de eucalipto (Lima, Paula-Júnior e Zambolim, 1994), leucena (Costa e Paulino, 1990) e várias espécies nativas do Sudeste brasileiro (Pereira et al., 1996; Carneiro et al., 1996). Portanto, como uma espécie de FMA, tal como *G. etunicatum*, pode colonizar eficientemente um grande número de espécies vegetais, e aliado ao fato de que nas florestas tropicais a diversidade vegetal é muito superior à diversidade de FMAs (Ferrer e Herrera, 1988), possivelmente, nas matas nativas, a eficiência

simbiótica seja controlada, principalmente, por variações ambientais e por variações na dependência micorrízica das plantas.

## 2.2 Dependência micorrízica das plantas

A dependência micorrízica (DM) foi primeiramente definida por Gerdemann (1975), como sendo o grau que a planta depende da condição micorrízica para obter seu crescimento ou produção máxima, em um certo nível de fertilidade do solo. Esta definição é baseada no conhecimento de que a maioria das espécies vegetais pode crescer sem micorrizas, caso seja muito fertilizada, principalmente com fósforo (Gerdemann, 1968; Mosse, 1973). A DM é uma característica intrínseca às plantas, pois está sob seu controle genético (Ollivier et al., 1983; Estaún, Calvet e Hayman, 1987; Hetrick, Wilson e Cox, 1992, 1993; Hetrick et al., 1995), e varia individualmente de acordo com as características fenotípicas de requerimento interno de nutrientes, capacidade de absorção das raízes, taxa de crescimento atual ou fase fisiológica do ciclo da planta, e abundância, distribuição e morfologia do sistema radicular (Graham e Syvertsen, 1985; Janos, 1987).

Entre estas características, tem-se tentado estabelecer relações entre a DM e a morfologia do sistema radicular, a qual afeta também as habilidades competitivas das plantas (Gross; Maruca e Pregitzer, 1992). Baylis (1975) hipotetizou que plantas com sistemas radiculares pouco desenvolvidos eram mais dependentes da formação de micorrizas, e classificou os sistemas radiculares pouco ramificados, com poucos pêlos radiculares e cujo diâmetro das radículas mais finas apresenta em média 560  $\mu\text{m}$ , como sendo “raízes magnolióides”, por se assemelharem ao sistema radicular de angiospermas primitivas pertencentes à ordem Magnoliales. Este autor verificou que espécies de plantas com raízes magnolióides apresentavam alta DM e respondiam à colonização por FMAs mesmo em solos relativamente férteis. Ele classificou sistemas radiculares muito ramificados, com densa cobertura de pêlos radiculares, freqüentemente apresentando de 1000 a 2000  $\mu\text{m}$  de comprimento, e cujas radículas mais finas apresentam, em média, menos que 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro, como sendo “graminóide”, por serem bem representados pelos sistemas radiculares das gramíneas. As espécies de plantas com raízes graminóides respondiam a colonização micorrízica somente em solos extremamente deficientes em fósforo. Este autor chamou de “tipo intermediário” os sistemas radiculares com raízes cujas características variavam entre as

duas classes anteriores, e verificou que nesta classe se encaixava a maioria das espécies de plantas. Estudando algumas espécies de plantas com raízes intermediárias, esse autor verificou que o crescimento não micotrófico apresenta correlações positivas (pelo coeficiente de ranking de Spearman) com o comprimento e frequência de pêlos radiculares. Porém, o estudo de Baylis (1975) foi realizado basicamente com espécies vegetais de clima temperado. Ferrer e Herrera (1988) não obtiveram correlações entre colonização micorrízica e a presença de pêlos radiculares, em espécies arbóreas de floresta tropical em Cuba, e acreditam que Baylis (1975) não obteria suas correlações caso utilizasse um teste paramétrico. Além disto, Peterson e Faquhar (1996) hipotetizam que plantas com menos e menores pêlos radiculares são menos colonizadas, devido à menor e menos distante liberação de exsudatos que irão atrair o fungo e elicitar a colonização. Saif (1987), estudando várias espécies forrageiras de clima tropical, verificou que as espécies de gramíneas, que possuem longos pêlos radiculares, apresentam maior dependência a micorrizas que as espécies de leguminosas que possuem pêlos radiculares mais curtos, contrariando, assim, a hipótese de Baylis.

St. John (1980a) reavaliou a hipótese de Baylis com espécies tropicais da floresta amazônica. Estudou árvores adultas em floresta natural, não conseguindo determinar a DM, a qual foi estimada para as espécies por categorias de suscetibilidade a infecção micorrízica. O autor deu notas à morfologia dos sistemas radiculares, sendo as raízes graminóides aquelas com notas mais baixas e as magnolióides com notas mais elevadas. Assim, verificou, através de análise de variância não paramétrica, que espécies sem infecção micorrízica apresentam menor nota média (31,8) que as espécies com a maior parte das raízes infectadas (nota média de 59,7), concluindo, desta maneira, que a hipótese de Baylis é válida para as espécies estudadas. Este autor verificou, também, que raízes magnolióides são comuns nas florestas tropicais e que as verdadeiramente graminóides são ausentes. A hipótese de Baylis (1975) tem sido suportada em vários estudos com gramíneas de clima temperado (Hetrick, Kitt e Wilson, 1988; Hetrick, Wilson e Todd, 1990; Reinhardt e Miller, 1990) e mesmo entre dicotiledôneas herbáceas e arbustivas de clima temperado (Hetrick, Wilson e Todd, 1992; Schweiger, Robson e Barrow, 1995), porém, entre estas últimas, as diferenças de DM devido a diferenças na morfologia das raízes são muito mais sutis do que previsto por Baylis (Hetrick, Wilson e Todd, 1992). Em espécies arbóreas nativas da Austrália, embora se tenha verificado a validade da hipótese de Baylis sob condição de deficiência moderada de P, não foi possível utilizar-se de características das raízes para prever o benefício relativo da

colonização micorrízica (Jasper e Davy, 1993). Estes autores salientam que, em espécies arbóreas, as características das raízes possivelmente poderão ser mais relacionadas ao benefício das micorrizas, em plantas que já ultrapassaram a fase de mudas, quando a influência das reservas das sementes for menor. Portanto, em espécies arbóreas na fase de mudas, somente a morfologia do sistema radicular não pode ser usada isoladamente como índice de DM. Além disto, há, também, grande importância da arquitetura do sistema radicular sobre a nutrição e resposta à micorrização (Fitter, 1985; Kormanik, 1986; 1989; Berta et al., 1990; Robinson, 1994).

Na tentativa de quantificar a DM das espécies vegetais, Menge, Johnson e Platt (1978) propuseram que ela fosse a relação percentual entre as massas das plantas micorrizadas e não micorrizadas (Equação I). A DM assim calculada apresenta valores que variam de 100 a percentagens extremamente altas. Plenchette, Fortin e Furlan (1983) propuseram que ela fosse quantificada como sendo o percentual da diferença de massas das plantas micorrizadas e não micorrizadas em relação à massa das plantas micorrizadas, quando esta diferença fosse estatisticamente significativa (Equação II). A DM assim calculada apresenta valores que variam de 0 a 100. A DM será 100% quando a planta não micorrizada não sobrevive, e será nula quando as massas das plantas micorrizadas e não micorrizadas não diferirem estatisticamente. Esta expressão não se aplica quando as plantas não dependem de micorrizas, tendo seu crescimento estimulado significativamente pela ausência de FMAs.

$$DM = \frac{\text{Massa da planta micorrizada}}{\text{Massa da planta não micorrizada}} \times 100 \quad (\text{Equação I})$$

$$DM = \frac{(\text{Massa da planta micorrizada} - \text{Massa da planta não micorrizada})}{\text{Massa da planta micorrizada}} \times 100 \quad (\text{Equação II})$$

Além de tentar quantificar a DM, há muito tempo os micorrizólogos pensam em agrupar as espécies quanto à sua DM. Segundo Allen (1996), no ano de 1900, Stahl propôs que as famílias das plantas fossem categorizadas em não micotróficas, micotróficas facultativas e micotróficas obrigatórias. Janos (1980a) propôs que a definição destes grupos fosse: **a) não micotróficas**- espécies que vivem independentemente de fungos micorrízicos. Estas se nutrem satisfatoriamente através de um ou da combinação de vários mecanismos, como sistema

radicular altamente ramificado e com densa cobertura de pêlos radiculares, secreção de ácidos orgânicos ou quelantes que aumentam a disponibilidade de fósforo no solo, tolerância a suprimento mineral limitado através de baixa taxa de crescimento, baixo requerimento mineral nos tecidos e alta eficiência de absorção e uso de nutrientes, ou vivendo apenas em habitats de solo fértil; b) **micotróficas facultativas**- espécies que dependem de micorrizas em condições de alta deficiência de P, mas conseguem, sem micorrizas, atingir a maturidade reprodutiva nas condições de fertilidade do seu habitat, e c) **micotróficas obrigatórias**- espécies que sem micorrizas não sobrevivem até a maturidade reprodutiva nas condições de fertilidade do seu habitat.

Habte e Manjunath (1991) propuseram categorizar as espécies vegetais em diferentes classes de DM, com base na quantificação de DM de Prenchette, Fortin e Furlan (1983) em três concentrações de fósforo na solução do solo (concentração natural:  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ ; concentração ótima para o funcionamento da simbiose MA:  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e concentração na qual a maioria das culturas produz 95% da produtividade máxima:  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Eles dividiram as espécies em cinco diferentes categorias de DM, sendo: a) **extremamente dependentes**- espécies que possuem  $DM \geq 75\%$  na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $DM > 0\%$  na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ; b) **altamente dependentes**- espécies que possuem DM entre 50 e 75% na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $DM = 0\%$  na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ; c) **moderadamente dependentes**- espécies com DM entre 25 e 50% na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $DM = 0\%$  na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ; d) **marginalmente dependentes**- espécies com  $DM < 25\%$  na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $DM = 0\%$  na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , e e) **não dependentes**- espécies que não são colonizadas por fungos micorrízicos ou que não respondem à infecção.

Entretanto, Janos (1988) critica o uso de resposta de plantas micorrizadas em relação a plantas não micorrizadas para se estimar a DM (Equações I e II), argumentando que a distinção entre espécie dependente de micorrizas e espécie responsiva a micorrizas torna-se tênue e frequentemente confundida pelos micorrizólogos. Desta forma, este autor redefine o conceito de DM como sendo “a incapacidade das plantas crescerem sem micorrizas a um dado nível de fertilidade”, o qual é usualmente medido pela concentração de fósforo na solução do solo. Ele propõe que a DM seja quantificada pelo nível de fósforo até o qual as plantas não micorrizadas não aumentem significativamente o seu crescimento (T) ou pelo nível de fósforo acima do qual as plantas não micorrizadas não cresçam diferentemente das micorrizadas (T’).

Realmente, a DM estimada conforme as equações I ou II pode refletir diferenças de efetividade entre os isolados fúngicos (Declerck, Plenchette e Strullu, 1995; Ad Joud et al., 1996), porém a resposta à inoculação tende a ser consistente dentro de uma mesma cultivar de planta, sendo pouco influenciada pelo simbionte fúngico quando ela é dependente (Hetrick, Wilson e Todd, 1996). Este é o caso de *Liquidambar styraciflua* L., uma espécie arbórea cultivada comercialmente no Sudeste dos Estados Unidos, a qual é considerada extremamente dependente de micorrizas (Kormanik, Bryan e Schultz, 1977), e não mostra diferenças na resposta à inoculação com diferentes fungos micorrízicos (Kormanik, Bryan e Schultz, 1981).

De qualquer forma, o grau de DM das plantas está muito relacionado com a nutrição fosfatada (Plenchette e Morel, 1996), pois o efeito mais consistente da colonização das raízes pelos FMAs é o aumento na absorção de P (Bowen, Bevege e Mosse, 1975; Bolan, 1991). Evidências sugerem que a DM seja em função do déficit de fósforo que a planta apresenta (Stribley, Tinker e Rayner, 1980; Amijee, Tinker e Stribley, 1989), o qual depende do suprimento de P à planta e da sua demanda interna por este nutriente (Koide, 1991). O suprimento de P à planta depende da variação da disponibilidade de P no solo e das características intrínsecas à própria planta, como tamanho, ramificação e cobertura de pêlos do seu sistema radicular, modificações rizosféricas que a planta pode causar e sua cinética de absorção (Itoh e Barber, 1983; Föhse e Jungk, 1983; Hallmark e Barber, 1984; Schjørring e Jensén, 1984; Föhse, Claassen e Jungk, 1991). A demanda interna de fósforo também depende intrinsecamente da planta e varia com a exigência de concentração mínima de P para que haja crescimento e com a taxa de crescimento (Föhse, Claassen e Jungk, 1988; Blair, 1993). Desta forma, num mesmo ecossistema, onde as condições de fertilidade são semelhantes, o déficit de fósforo das diferentes espécies vegetais será característica intrínseca à própria espécie e poderá ser intimamente relacionado à DM (St. John e Coleman, 1983; Koide, 1991). Porém, estratégias nutricionais apresentadas por espécies nativas de solos pobres, como baixa taxa de ciclagem de folhas, alto grau de relocação dos nutrientes nos tecidos, maior eficiência interna de utilização do fósforo, baixa taxa de crescimento, pouca exigência de concentração de P nos tecidos (Chapin, 1980), diminuem o seu déficit de P e tornam estas espécies pouco responsivas ao P, o que pode também torná-las pouco responsivas à micorrização (Baon, Smith e Alston, 1993; Hetrick, Wilson e Todd, 1996). Portanto, existe grande dificuldade de se diferenciar DM de resposta à micorrização.

### 2.3 Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas tropicais

Em relação às publicações sobre MAs em espécies arbóreas de clima temperado, poucas existem em arbóreas tropicais. O relato pioneiro sobre a ocorrência de MAs em arbóreas tropicais foi feito por Janse (1896), estudando espécies tropicais na ilha de Java. Janos (1980b) e Ferrer e Herrera (1988) revisaram publicações internacionais sobre levantamentos de ocorrência de MAs em arbóreas tropicais. No entanto, levantamentos desta natureza também tem sido realizados no Brasil em áreas da Amazônia (St. John, 1980b; Oliveira Junior et al., 1994), Mata Atlântica (Trufem, 1990; Trufem e Viriato, 1990; Carrenho e Bononi, 1991; Trufem e Malatinszky, 1995) e Cerrado (Thomazini, 1974; Thomazini-Casagrande, 1980; Bononi e Trufem, 1983). A relevância destes estudos está no acúmulo de conhecimento sobre a biodiversidade de Glomales e sobre a condição de micotrofia de um número cada vez maior de espécies arbóreas tropicais.

Além destes estudos, outros, de considerável importância, têm sido realizados tentando relacionar a influência da micotrofia das espécies arbóreas nos ecossistemas de floresta tropical, pois sabe-se que a capacidade de sobrevivência e competição das espécies é alterada com a DM (Gange, Brown e Farmer, 1990; West, 1996). A importância destes estudos se prende ao fato de eles criarem conhecimentos que favorecerão o reflorestamento e a recuperação de sítios degradados. Janos (1980a) apresenta uma hipótese de como a composição de espécies em uma comunidade florestal pode ser afetada pelos fungos MAs. Segundo este autor, uma espécie arbórea será uma competidora de sucesso em função de sua micotrofia e da disponibilidade de nutrientes e de propágulos de FMAs no solo. Em um local com baixa disponibilidade de nutrientes e baixo número de propágulos micorrízicos, as competidoras de sucesso serão as espécies não micotróficas. Em um local com baixa disponibilidade de nutrientes e grande número de propágulos micorrízicos, as melhores competidoras serão as micotróficas obrigatórias. Em um local com alta disponibilidade de nutrientes, independente do potencial de propágulos micorrízicos, as melhores competidoras serão as espécies micotróficas facultativas.

Esse autor prevê como se alteraria a abundância relativa entre espécies de diferentes graus de micotrofia durante estádios sucessionais que ocorrem em áreas perturbadas de florestas. Em pequena área no meio da floresta, onde se praticou a agricultura nômade, tem-se solo com fertilidade média, a qual apresenta rápido declínio, e pequena população de

FMA, a qual foi reduzida pelo cultivo. Nesta área, em espaço de tempo curto (1-2 anos), ocorre predomínio de espécies micotróficas facultativas, as quais levam a um rápido aumento dos propágulos micorrízicos no solo, favorecendo as espécies micotróficas obrigatórias, as quais predominarão e formarão a comunidade clímax. Numa área de tamanho médio, localizada à margem de uma floresta, cultivada com pastagens dominadas por Cyperaceae, sobrepastejada e depois abandonada, a qual apresenta baixa fertilidade e poucos propágulos de FMA, inicialmente ocorre grande predomínio de espécies não micotróficas, o que tende a perpetuar a condição de ausência de micorrizas. Porém, num espaço de tempo médio (10-50 anos), ocorre o aumento de matéria orgânica no solo, o que permite o estabelecimento na área de espécies micotróficas facultativas, capazes de multiplicar FMA, e ocorre a dispersão de propágulos micorrízicos a partir de outras áreas, levando a um aumento do número de propágulos na área, o que permite o estabelecimento e predomínio de espécies micotróficas obrigatórias, as quais comporão a comunidade clímax. Em uma terceira área, onde há depósito de cinzas vulcânicas, de grande extensão, alta fertilidade, e ausência de propágulos de FMA, as espécies micotróficas facultativas são as melhores competidoras e predominam sobre as demais. Há lento declínio da fertilidade do solo e apenas num espaço de tempo longo (>50 anos) ocorrerão a introdução e multiplicação de propágulos de FMA, resultando no estabelecimento da comunidade clímax predominada por espécies micotróficas obrigatórias.

Esta hipótese de Janos (1980a) é baseada nos dados experimentais obtidos por Janos (1980b), em que o autor verifica que espécies arbóreas tropicais de sementes grandes, as quais geralmente compõem a vegetação clímax, tendem a ser micotróficas obrigatórias e espécies de sementes pequenas, as quais geralmente compõem a vegetação pioneira, tendem a ser não micotróficas ou micotróficas facultativas. Porém, Janos (1980a) subestimou a capacidade de dispersão dos propágulos de FMA em condições tropicais. Conforme recentemente revisado por Allen (1996), a dispersão de propágulos de FMA é reduzida em regiões de altas latitudes, porém é grande em regiões tropicais, sendo observadas plantas micotróficas obrigatórias em ilhas do vulcão de Krakatoa, apenas 20 anos depois de sua formação. A dispersão pelo vento é reduzida em regiões de clima tropical úmido, quando comparado com locais de clima seco, mas a dispersão por migração de animais tem papel muito importante nestas áreas, como verificado posteriormente por Janos, Sahley e Emmons (1995).

Janos (1985) verificou que a simbiose micorrízica favorece a coexistência das espécies vegetais em ambiente de floresta tropical, onde a diversidade vegetal é grande. Atribuiu isto a um sinergismo entre vegetais hospedeiros que compartilham FMAs entre si, em solos de baixa fertilidade, pelo fato de estes fungos não serem específicos. Assim, este autor apresenta outra hipótese de como a simbiose micorrízica pode afetar as habilidades competitivas das espécies vegetais, não limitando esta hipótese meramente à ausência ou presença de propágulos micorrízicos no solo, como a hipótese de Janos (1980a). Janos (1985) sugere que a diferenciação de comunidades vegetais em relação à sua estratégia de nutrição mineral seja afetada pela: a) dependência a diferentes tipos de micorrizas; b) dependência exclusiva a um fungo específico, e c) independência de micorrizas através de outras adaptações nutricionais ou através de solos de alta fertilidade.

Desta forma, o autor prevê os competidores de maior sucesso nos trópicos em diferentes situações nutricionais. Em relação ao item a), espécies vegetais que formam ectomicorrizas são melhores competidoras que espécies que formam MAs quando os habitats apresentam: i) disponibilidade de água e nutrientes minerais com grande variação em curtos períodos; ii) nitrificação inibida; iii) baixa capacidade dos minerais do solo em reter ou suprir nutrientes; iv) decomposição lenta, e v) necessidade de rápida colonização de ambos os simbiontes para garantir o estabelecimento e persistência. Nestas situações, as características da simbiose ectomicorrízica compensam o grande custo energético do vegetal em mantê-la e estas plantas se tornam melhores competidoras que as que formam MAs. Em relação ao item b), devido à especificidade da associação ectomicorrízica, certas combinações planta hospedeira-fungo podem contribuir para a dominância de uma ou poucas espécies vegetais. Em relação ao item c), a competição entre espécies não micotróficas e espécies micotróficas (tanto as que formam MAs quanto as que formam ectomicorrizas) será grandemente influenciada pelo grau de DM das espécies micotróficas. Espécies não micotróficas serão melhores competidoras que as micotróficas na ausência de fungos em solos inférteis, como previsto por Janos (1980a), ou mesmo na presença de fungos, quando: i) existe retardamento no crescimento das espécies micotróficas devido à lenta infecção pelo fungo; ii) a espécie não micotrófica secreta substâncias alelopáticas efetivas contra fungos micorrízicos, reduzindo a probabilidade de colonização das micotróficas, e iii) em habitats em que a relação custo/benefício da estratégia nutricional das espécies não micotróficas é menor que a relação custo/benefício das espécies micotróficas em manter as micorrizas.

Entre espécies micotróficas, Janos (1985) sugere que os melhores competidores dependerão da fertilidade do solo e do grau de DM. Na ausência de fungos e em solos férteis, as espécies micotróficas facultativas serão melhores competidoras, como previsto por Janos (1980a), porém na presença abundante de propágulos de FMAs as melhores competidoras dependerão: **i)** do custo energético relativo para manter as micorrizas. Este custo será maior quanto menor for a DM das plantas. Assim, quando o nível de fertilidade do solo for suficientemente alto para que o competidor de menor DM rejeite a infecção e, conseqüentemente, tenha seu crescimento retardado, o competidor de maior DM terá maior sucesso, e **ii)** do nível de infecção micorrízica quando os competidores crescem sozinhos. Isto ocorre quando ambos os competidores micotróficos não têm simbiose inibida pela fertilidade do solo. Neste caso, o competidor de maior sucesso mantém nível de infecção subótimo, compartilhando o fungo com o outro competidor, o qual, com maior nível de infecção, tem maior custo na manutenção do fungo compartilhado.

Porém, espécies de alta DM podem coexistir e apresentar sinergismo quando crescem juntas, como verificado por Janos (1985). Este fato, possibilitado pela falta de especificidade dos FMAs, é bem discutido por Janos (1987). Diferentes espécies vegetais, com seus sistemas radiculares interconectados por hifas de FMAs, compartilham carbono, P e, provavelmente, outros nutrientes, através da transferência pelas hifas (Schwab, Menge e Tinker, 1991). Assim, é possível que indivíduos do dossel das florestas compartilhem fotossintatos e nutrientes com indivíduos sombreados, porém tendo custo adicional na manutenção da simbiose (Janos, 1987). É possível, também, um revezamento na manutenção do fungo micorrízico entre as espécies vegetais interconectadas por MAs em diferentes momentos do ciclo fisiológico destas espécies. Portanto, Janos (1987) sugere que em florestas tropicais úmidas, as espécies micotróficas obrigatórias minimizam a competição entre si através das interconecções de hifas de FMAs, contribuindo, assim, para a alta diversidade de espécies vegetais neste ecossistema, e para o predomínio do micotrofismo obrigatório em florestas clímax.

Herrera et al. (1988) comprovaram, na prática, a hipótese de Janos (1980a) avaliando o número mais provável (NMP) de propágulos micorrízicos em sete sítios florestais na Sierra Del Rosário, em Cuba. Os autores verificaram um aumento de 6 a 16 vezes no NMP de propágulos de FMAs em sítios em estádios iniciais de sucessão, dominados por vegetação heliófila, quando comparados com sítios com florestas mais maduras, em estádios sucessionais

mais adiantados. Os autores concluíram que a hipótese de Janos (1980a) é válida, pois, nos sítios com vegetação pioneira, como ocorre em clareiras abertas na floresta, a simbiose MA é de característica multiplicativa de propágulos, representando grande vantagem no estabelecimento da sucessão, por aumentar a probabilidade da colonização das espécies vegetais secundárias, de maior DM, que fazem parte do banco de sementes ou de plântulas, já existente no local antes da formação da clareira. Fischer et al. (1994) também observaram, em região tropical, maior NMP de propágulos de FMAs em pastagens em relação às florestas com silvigênese secundária. O aumento do número de propágulos de FMAs pela vegetação pioneira é atribuído, por Herrera et al. (1988), ao fato de as espécies heliófilas apresentarem altas taxas fotossintéticas, o que garante as necessidades dos FMAs, de modo que os fungos possam apresentar caracteristicamente maior crescimento vegetativo, aumentando a produção de micélio extramático e de esporos. Esses autores atribuem a característica propagativa da simbiose MA, em sítios com vegetação pioneira, ao fato de esta vegetação ser caracteristicamente de baixa esclerofilia, o que condiciona rápida taxa de decomposição de restos vegetais e ciclagem de nutrientes, determinando maior atividade da flora microbiana do solo. Esta combinação de fatores estimularia uma atividade saprofítica do micélio extramático dos FMAs, levando a maior crescimento vegetativo e à esporulação do fungo. Assim, os autores sugerem que os FMAs possuam capacidade saprofítica facultativa, que permitiria apresentar grande produção de micélio extramático na presença de altas concentrações de matéria orgânica em decomposição (serrapilheira, troncos caídos, etc.) ou de processo ativo de humificação. Desta maneira, estes autores relacionam a produção de micélio extramático de FMAs a diferentes características locais de ecossistemas de floresta tropical, verificando que tanto a produção de micélio extramático quanto a relação micélio extramático:radicelas são aumentadas nos sítios onde ocorrem altas taxas de renovação ou de decomposição, ou seja, nos sítios onde predominam vegetação com baixa esclerofilia, condições de temperatura e umidade favoráveis à decomposição e grandes populações de microrganismos decompositores.

A relação micélio extramático:estruturas endófitas de FMAs afeta o funcionamento da simbiose MA. Quanto maior a relação, maior é o custo de fotossintatos à planta hospedeira, podendo a simbiose tornar-se parasítica (Herrera et al., 1988). A essa relação e à sombra é atribuída a capacidade de as plantas pertencentes ao banco de plântulas de uma floresta manterem os meristemas latentes. Herrera, Menéndez e Vilamajó (1988) sugerem que o estado de latência do crescimento seja mantido até que haja a queda de uma árvore ou

que ocorra outro fator que leve luz ao banco de plântulas. Mediante maior iluminação, há maior produção de fotossintatos, permitindo aumento da infecção endófito em relação ao micélio extramático, cessando a latência meristemática. Esses autores dividem o banco de plântulas de uma floresta em diferentes classes de crescimento, de acordo com a altura das plântulas e sugerem que, na classe I (estádio em que as plântulas dependem dos cotilédones), as plântulas são selecionadas mais autogenicamente (por competição intraespecífica) do que alogenicamente (por fatores ambientais), formando um banco de plântulas na classe II, constituído por superpopulação de indivíduos de grande vigor genético, pouca infecção endófito por FMAs e latência meristemática. Da classe II para a classe III, há notável redução no número de indivíduos, proporcionada, provavelmente, pelo predomínio de seleção alogênica e pela impossibilidade dos indivíduos em aumentar os níveis de infecção micorrízica. Da classe III para a classe IV, ocorre aumento do nível de infecção micorrízica, mudando a estrutura dos indivíduos de plântulas para porte arbustivo, através de crescimento exponencial. O aumento da infecção micorrízica proporciona maior sobrevivência, levando uma população relativamente numerosa para a classe V. Nesta classe, novamente o predomínio da seleção alogênica reduz a população dos indivíduos, que atingem a classe VI, formando banco de arbustos, com população relativamente estável, à espera de condições favoráveis para que haja novo aumento da infecção micorrízica e novo incremento no crescimento.

Os resultados e hipóteses aqui revisados dão idéia de como os FMAs e a DM das plantas podem afetar a regeneração, competição e sucessão em florestas tropicais, porém evidenciam o quão complexas podem ser estas relações. Os ecossistemas de florestas tropicais apresentam espécies vegetais adaptadas a crescer em solo pobre em nutrientes, dependendo grandemente da ciclagem de matéria orgânica e de estratégias que resultem em melhora nutricional (Attiwill e Adams, 1993). As MAs são consideradas uma estratégia de absorção de nutrientes em ambientes estressantes (Sylvia e Willians, 1992; Siqueira e Saggin Júnior, 1995). Desta forma, a DM das espécies arbóreas pode ser considerada uma vantagem adaptativa ao ecossistema de floresta tropical. Hoje, os reflorestamentos com espécies nativas são extremamente valorizados dentro do contexto de preservação ambiental. Juntamente com eles, o manejo econômico e sustentável de ecossistemas florestais tem sido foco de estudo de vários especialistas (Toman e Ashton, 1996). Acredita-se que através deles possam ser conservadas a biodiversidade e a qualidade da vida humana atual e de gerações futuras (Perry, Molina e Amaranthus, 1987; Nichols et al., 1991). Para se obter sucesso nos reflorestamentos, é necessário conhecer as estratégias adaptativas das espécies arbóreas aos ambientes estressantes

(Piña-Rodrigues, Costa e Reis, 1990; Oliveira-Filho, 1994), particularmente porque os reflorestamentos tendem a ser realizados em áreas rejeitadas pela agricultura, dominadas por solos de baixa fertilidade natural ou por solos degradados, os quais possuem baixo potencial de propágulos de FMAs (Powell, 1980; Loree e Williams, 1984; Habte, 1989; Jasper, Abbott e Robson, 1991; Parrota, 1992; Amaranthus e Trappe, 1993). O conhecimento da DM das espécies arbóreas nativas indicará as espécies que dependem desta estratégia de sobrevivência e adaptação, e possibilitará definir tecnologias para a implantação dos reflorestamentos, assim como para a formação de mudas em viveiros.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de janeiro de 1994 a junho de 1996.

#### 3.1 Material de solo

Utilizou-se material de um Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, textura muito argilosa, coletado na camada de 0-50 cm em área de relevo praticamente plano, no distrito de Jaguara, município de São João D'el Rei (MG). A vegetação primária do local é de cerrado tropical subcaducifólio, mas o uso atual é com pastagem nativa. Informações detalhadas sobre características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas do solo utilizado são apresentadas em Chagas (1994). Para caracterização da fertilidade do solo estudado analisaram-se quimicamente amostras tomadas a campo, sendo uma superficial (0-25cm) e outra subsuperficial (25-50 cm), cujos resultados são apresentados na tabela 1. O material do solo coletado foi homogeneizado, seco e peneirado em malha de 4 mm. Recebeu calagem com calcário dolomítico na dosagem de  $1,0 \text{ g.kg}^{-1}$  de solo seco em estufa (SSE), elevando a saturação por bases da CTC a pH 7,0 para 50%. Em seguida, o solo foi umedecido e mantido úmido por três dias, sob lona de polietileno preto e, na seqüência, revolvido e secado. Este ciclo de umedecimento e secagem foi repetido por três vezes. Após a calagem, o solo recebeu a aplicação de adubação básica, que consistiu da aplicação de solução nutritiva contendo  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , KCl,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  e  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , de modo a fornecer 34,6; 100; 7,4; 5; 10; 10 e 0,5  $\text{mg.kg}^{-1}$  de SSE de N, K, S, Cu, Zn, B e Mo, respectivamente. Após a aplicação da solução nutritiva, o solo foi novamente submetido a três ciclos de umedecimento e secagem, tal como realizado após a calagem, e novamente peneirado (malha de 4 mm) para eliminar os torrões formados durante este processo. O solo foi então disposto em uma caixa de alvenaria vedada e fumigado com brometo de metila 98% + cloropicrina 2%,

TABELA 1. Características químicas originais e após calagem e adubação básica, do Latossolo Vermelho-Escuro utilizado no estudo

Característica e unidades	Extrator/ metodologia	Original		Após calagem e adubação
		0-25 cm	25-50 cm	
pH	água (1:2,5)/peagametria	4,9	5,1	5,4
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	Mehlich I/colorimetria	1	1	1
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	Mehlich I/ fotometria de chama	31	12	144
Ca (mmolc.dm <sup>-3</sup> )	KCl 1 mol.L <sup>-1</sup> / titulometria	7	4	17
Mg (mmolc.dm <sup>-3</sup> )	KCl 1 mol.L <sup>-1</sup> / titulometria	2	2	8
Al (mmolc.dm <sup>-3</sup> )	KCl 1 mol.L <sup>-1</sup> / titulometria	3	1	1
H+Al (mmolc.dm <sup>-3</sup> )	CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol.L <sup>-1</sup> (1:2,5) + SMP/ peagametria	45	32	29
V (%) <sup>(1)</sup>	Calculado	18	16	50

<sup>(1)</sup>Saturação por bases da CTC a pH 7,0

na dosagem de  $196 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  de solo. As características químicas de uma amostra do solo após receber esses tratamentos são apresentadas na tabela 1. Após a dispersão do fumigante, encheram-se vasos plásticos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, com 1250 g de SSE.

### 3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram estudados isoladamente em cada espécie vegetal, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial  $2 \times 3$ , consistindo de 2 tratamentos de inoculação; inoculado com fungo micorrízico arbuscular (Ma) e não inoculado (Ni); e de 3 concentrações de fósforo na solução do solo (0,002; 0,02 e 0,2  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), com dez repetições (60 parcelas no total). Cada parcela foi constituída de uma planta por vaso. O tratamento Ma foi aplicado através de solo-inóculo contendo esporos, hifas e raízes colonizadas com *Glomus etunicatum* Becker e Gerdemann, o qual foi isolado de cafeeiros no município de Varginha (MG) e multiplicado, tendo como planta hospedeira *Brachiaria decumbens* Stapf. Optou-se por *G. etunicatum* por ser uma espécie de ocorrência comum nos solos brasileiros e por se apresentar eficiente em promover o crescimento de um grande número de espécies vegetais, além de ser uma espécie de fácil obtenção de inóculo. A inoculação foi realizada aplicando-se 3 ml do solo-inóculo sobre as raízes das plântulas durante a repicagem para os vasos, de modo a fornecer em torno de 225 esporos por planta.

Os tratamentos de concentração de P na solução do solo (SS) foram 0,002; 0,02 e 0,2  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , estabelecidos conforme os preconizados por Habte e Manjunath (1991) para a classificação das espécies vegetais em categorias de dependência micorrízica. Para o estabelecimento das concentrações de P na SS, realizou-se ensaio prévio, conforme a metodologia de Manjunath e Habte (1990), onde parcelas de 1 kg do solo estudado, após a fumigação, foram fertilizadas e incubadas com doses crescentes de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Após a incubação, a umidade do solo foi elevada para 100% do volume total de poros (VTP), equilibrada por três dias e a solução do solo foi extraída por centrifugação, coletando-se o sobrenadante. O fósforo na solução do solo foi determinado pelo método de Murphy e Riley (1962), utilizando-se espectrofotômetro ajustado em 840 nm e cubetas de 5 cm de comprimento. O P disponível no solo foi determinado por colorimetria, segundo análise química de rotina do DCS, utilizando o extrator Mehlich I. Plotando-se o fósforo na solução do solo e o fósforo disponível no solo em função linear estabelecida em duas faixas de fósforo aplicado ao solo (0-300  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  e 400-

1200 mg.kg<sup>-1</sup>), determinaram-se as doses de P necessárias para estabelecer as concentrações de P na SS utilizadas como tratamentos (Figura 1A). A concentração natural de P na SS foi estimada pela regressão como sendo  $4,98 \cdot 10^{-3} \pm 0,008$  mg.L<sup>-1</sup>, e considerada como sendo 0,002 mg.L<sup>-1</sup>, tal como em Habte e Manjunath (1991), pois este valor está entre os limites do erro padrão desta estimativa. As doses de P necessárias para estabelecer as concentrações 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS foram 27 e 485 mg.kg<sup>-1</sup> de P em SSE, respectivamente. O P foi aplicado na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, individualmente em cada vaso, via solução. Após a aplicação da solução de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, o solo do vaso foi homogeneizado e incubado úmido antes da repicagem das plântulas. O P disponível no solo foi estimado pela regressão como sendo 1, 2 e 28 mg.dm<sup>-3</sup>, para as concentrações de 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS, respectivamente.

### 3.3 Material vegetal e cultivo

Vinte e nove espécies arbóreas, pertencentes a dezoito famílias e diferentes grupos sucessionais, foram cultivadas em casa de vegetação, por períodos que variaram de 58 a 262 dias (Tabelas 2 e 3), de acordo com a velocidade de crescimento de cada espécie. Todas as espécies ocorrem naturalmente no Sudeste brasileiro, sendo apenas a leucena exótica, incluída como referência da categorização de dependência micorrízica de Habte e Manjunath (1991).

Quando necessário, as sementes foram submetidas a tratamentos de quebra de dormência (Tabela 3), conforme Davide, Faria e Botelho (1995). Após a desinfestação superficial com hipoclorito de sódio (10 ml.L<sup>-1</sup> por 5 minutos), as sementes foram lavadas por três vezes em água destilada e colocadas para germinar em câmara úmida iluminada, com temperatura de 25°C, envolvidas em papel-toalha ou em vermiculita. A vermiculita foi utilizada para sementes pequenas, devido à dificuldade de distribuição no papel-toalha. As plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade e repicadas para os vasos, aplicando-se, simultaneamente, sobre as raízes, o inóculo micorrízico no tratamento Ma, e um filtrado do inóculo micorrízico, isento de propágulos de FMAs, no tratamento Ni, na tentativa de uniformizar a microbiota do solo destes tratamentos. Também, durante a repicagem, as espécies nodulíferas foram inoculadas com rizóbios específicos fornecidos pela EMBRAPA-CNPAB. Após a repicagem, as mudas foram mantidas sob tela sombrite 50%. As espécies pertencentes aos grupos sucessionais das pioneiras e secundárias iniciais foram, após uma

TABELA 2. Classificação das espécies estudadas e denominação utilizada

Subclasse	Ordem	Família	Espécie	Nome comum	Abreviação utilizada
Asteridae	Gentianales	Apocynaceae	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	Guatambu	Guatambu
Asteridae	Lamiales	Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex. Steud	Louro	Louro
Asteridae	Polemoniales	Solanaceae	<i>Solanum granuloso-leprosum</i> Dun.	Gravitinga ✓	Gravitinga
Asteridae	Scrophulariales	Bignoniaceae	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart.) Standl.	Ipê-roxo	Ipê-roxo
Asteridae	Scrophulariales	Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Rid.) Sandw.	Ipê-branco	Ipê-branco
Asteridae	Scrophulariales	Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols.	Ipê-amarelo ✓	Ipê-amarelo
Dillenidae	Malvales	Bombacaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (St.Hil.) Gibbs e Semir	Paineira-rosa	Paineira
Dillenidae	Malvales	Tiliaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	Açoita-cavalo	A.cavalo
Dillenidae	Primulales	Myrsinaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Pororoca-branca	Pororoca
Hamamelidae	Urticales	Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Embaúba-cinzenta	Embaúba
Hamamelidae	Urticales	Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Engler.	Trema ✓	Trema
Rosidae	Euphorbiales	Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng	Capixingui	Capixingui
Rosidae	Myrtales	Melastomataceae	<i>Tibouchina granulosa</i> Cogn.	Quaresmeira ✓	Quaresmeira
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae <sup>(1)</sup>	<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart.	Pau-ferro	Pau-ferro
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae	<i>Caesalpinia peltophoroides</i> Benth.	Sibipiruna	Sibipiruna
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Óleo-copaiba ✓	Ó.copaiba
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Jatobá
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae	<i>Senna macranthera</i> (Collad) Irw. et Barn.	Fedegoso ✓	Fedegoso
Rosidae	Rosales	Caesalpiniaceae	<i>Senna spectabilis</i> (A.DC.) Irw. et Barn.	Cássia-carnaval	C.carnaval
Rosidae	Rosales	Fabaceae <sup>(2)</sup>	<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	Jacarandá-Roxo	J.Roxo
Rosidae	Rosales	Fabaceae	<i>Myroxylon peruiferum</i> L. f.	Óleo-bálsamo	Ó.bálsamo
Rosidae	Rosales	Fabaceae	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms.	Tento	Tento
Rosidae	Rosales	Fabaceae	<i>Platyciamus regnellii</i> Benth.	Pau-pereira	Pau-pereira
Rosidae	Rosales	Fabaceae	<i>Platypodium elegans</i> Vog.	Jacarandá-branco	J.branco
Rosidae	Rosales	Mimosaceae <sup>(3)</sup>	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucena	Leucena
Rosidae	Sapindales	Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Aroeira-branca ✓	Aroeira
Rosidae	Sapindales	Meliaceae	<i>Cedrella fissilis</i> Vell.	Cedro ✓	Cedro
Rosidae	Sapindales	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Saboneteira	Saboneteira
Rosidae	Umbelales	Araliaceae	<i>Dendropanax cuneatum</i> (DC.) Dene. e Planch	Maria-mole	Maria-mole

Antes: <sup>(1)</sup>Caesalpinioideae; <sup>(2)</sup>Faboideae; <sup>(3)</sup>Mimosoideae.

Todas as espécies estudadas são Magnoliophytas (angiospermas) pertencentes à classe Magnoliatae (dicotiledônea), segundo Cronquist (1968).

TABELA 3. Dados ecológicos sobre as espécies estudadas (Davide, Faria e Botelho, 1995) e período de cultivo em casa de vegetação

Nome comum	B(1)	W(2)	Tipo de Fruto (3)	Sementes por kg	Peso de semente mg	Colheita de sementes época	Viabilidade da semente meses	Quebra de dormência	Nível de germinação	Formação de mudas meses	Plantio data	Colheita data	Condução dias
Aroeira	P	P	Drupa	31500	32	out-fev	12-24	não	médio	5	5/06/95	5/09/95	90
Capixingui	P	P	Tricoca	24300	41	fev-mar	<12	não	médio	4	5/06/95	16/09/95	101
Embaúba	P	P	Composto	1481500	1	jun-out	-	-	médio	4	13/04/95	21/07/95	98
Gravitinga	P	P	Baga	873000	1	jul-set	-	não	médio	4	22/04/95	20/06/95	58
Trema	P	P	Drupa	278000	4	Fev-abr	>24	sim	médio	4	25/04/95	5/07/95	70
Leucena	P	CL	Legume D	18460	54	jan-dez	>24	sim	alto	3	4/04/95	20/08/95	136
Pororoca	P	CL	Drupa	59300	17	jan-mar	-	-	baixo	-	25/09/95	16/01/96	111
C.carnaval	SI	CL	Legume D	30200	33	ago-dez	>24	sim	alto	6	24/06/95	24/09/95	90
Fedegoso	SI	CL	Legume D	18000	56	jul-ago	>24	sim	alto	4	19/06/95	19/10/95	120
J.branco	SI	CL	Sâmara	840	1190	ago-set	12-24	não	médio	10	7/08/95	7/12/95	120
Louro	SI	CL	Drupáceo I	34800	29	jul-ago	<12	não	baixo	8	5/06/95	5/09/95	90
Pau-ferro	SI	CL	Legume I	10280	97	jul-ago	>24	sim	alto	5	12/06/95	19/09/95	97
Quaresmeira	SI	CL	Velatideo D	30651000	0,03	jul-set	-	não	médio	6	24/07/95	18/12/95	144
Sibipiruna	SI	CL	Legume D	4000	250	jul-set	>24	sim	alto	5	3/05/95	14/08/95	101
A.cavalo	ST	CL	Cápsula	236000	4	ago-set	12-24	não	médio	6	9/02/95	12/05/95	93
Ipê-branco	ST	CL	Siliqua	70670	14	out-nov	<12	não	alto	8	7/03/95	2/06/95	85
Ipê-roxo	ST	CL	Siliqua	4700	213	out-nov	<12	não	alto	6	8/03/95	2/06/95	84
Maria-mole	ST	CL	Baga	196500	5	ago-set	<12	não	médio	8	30/06/95	16/01/96	195
Ó.copaiba	ST	CL	Legume D	2200	455	jul-set	12-24	sim	médio	9	14/03/95	6/12/95	262
Tento	ST	CL	Legume D	1360	735	dez-jan	>24	sim	médio	12	24/06/95	24/11/95	150
Paineira	ST	CL	Cápsula	5900	169	jul-ago	12-24	não	médio	4	3/02/95	18/04/95	75
Cedro	C	CL	Cápsula	27900	36	jul-ago	12-24	não	médio	5	16/11/94	22/02/95	96
Guatambu	C	CL	Folículo	5980	167	ago-nov	12-24	não	alto	12	20/09/94	21/03/95	180
Jatobá	C	CL	Legume I	210	4762	jul-set	12-24	sim	médio	7	16/12/94	11/04/95	113
Pau-perceira	C	CL	Legume D	1600	625	ago-out	12-24	não	alto	6	24/09/94	30/03/95	186
Ipê-amarelo	C	CS	Siliqua	14900	67	set-out	<12	não	alto	6	23/11/94	2/04/95	129
J.Roxo	C	CS	Sâmara	8500	118	set-out	12-24	não	médio	8	22/11/94	10/03/95	108
Ó.bálsamo	C	CS	Criptolomento	1580	633	out-dez	12-24	não	médio	6	11/12/94	21/05/95	160
Saboneteira	C	CS	Drupa	1300	769	jun-out	>24	sim	médio	6	19/12/94	16/03/95	116

(1): Grupos sucessionais segundo Budowski (1965); P: Pioneira; SI: Secundária inicial; ST: Secundária tardia; C: Clímax. Dados obtidos em Davide (1993).

(2): Grupos sucessionais segundo Whitmore (1988); P = Pioneira; CL = Clímax exigente em luz; CS = Clímax tolerante à sombra.

(3): D= deiscente; I = indeiscente

semana da repicagem, transferidas para fora do sombrite. As espécies pertencentes aos grupos sucessionais das secundárias tardias e clímax foram cultivadas sob o sombrite até a colheita. Durante o cultivo, o solo foi irrigado diariamente, de modo a manter a umidade entre 60 e 70% do volume total de poros (VTP). Nenhuma aplicação complementar de fertilizantes foi realizada. Não houve ataques significativos de pragas e doenças que justificassem o controle químico constante, sendo apenas necessária uma pulverização nas plantas de guatambu, com acaricida à base de avermectina (Vertimec 18CE).

### 3.4 Avaliações

Durante o cultivo, as espécies foram avaliadas quanto ao crescimento em altura e quantidade de fósforo em discos de tecido foliar de  $0,5 \text{ cm}^2$  (Aziz e Habte, 1987). *Leucena* foi a única exceção que, devido ao pequeno tamanho de seus folíolos, foi monitorada pela quantidade de fósforo em um deles (Habte, Fox e Huang, 1987). O número destas avaliações variou de acordo com o tempo de cultivo e com o ritmo de crescimento de cada espécie, de modo a se evitar amostragem repetida em uma mesma folha, evitando que esta fosse danificada demasiadamente.

Por ocasião da colheita, as espécies foram avaliadas quanto ao seu desenvolvimento pelo diâmetro do caule próximo ao colo, número de folhas e área foliar. A área foliar foi estimada tomando-se as medidas dos comprimentos das folhas e aplicando-as em equações de regressão, ajustadas para fornecer a área foliar em função do comprimento foliar. Estas regressões foram ajustadas para cada espécie estudada, utilizando-se o programa TableCurve 3.01 (Jandel Corporation), sendo escolhida a equação mais simples, de maior valor F de Snedecor e de alto coeficiente de determinação. Os dados para os ajustes destas regressões foram obtidos amostrando-se várias folhas de cada espécie estudada e estimando-se suas áreas foliares através do método gravimétrico (Kvet e Marshall, 1971), imprimindo, em papel, a imagem das folhas através de xerografia.

Logo após a colheita das plantas, determinaram-se as massas da parte aérea e das raízes frescas. A massa da parte aérea seca foi obtida após esta ter sido enxaguada em água destilada, para a remoção de poeiras, e seca em estufa de circulação forçada de ar a  $68 \text{ }^\circ\text{C}$ . A massa das raízes secas foi obtida por estimativa, a partir da massa das raízes frescas, depois da

determinação da umidade presente em amostras do sistema radicular. A partir destes dados, estimaram-se as massas totais da planta fresca e seca.

A parte aérea seca foi moída e usada na determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn. Estes nutrientes foram extraídos do tecido vegetal por digestão nítrico-perclórica e determinados por colorimetria (P), fotometria de chama (K) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn), conforme Sarruge e Haag (1974). Estimou-se, pelos teores, a quantidade desses nutrientes acumulada na parte aérea das plantas. Em seguida, calculou-se a eficiência da absorção de fósforo pela razão entre a quantidade acumulada de P na parte aérea e a massa das raízes secas (Blair, 1993).

Logo após a obtenção da massa fresca das raízes, um segmento de raiz secundária foi amostrado por planta, amostrando-se aleatoriamente quatro plantas dentro das dez que compunham as repetições dos tratamentos. Cada segmento de raiz fresca foi colocado em lâmina e avaliado, em microscópio óptico, quanto ao seu aspecto morfológico, pela medida de diâmetro da raiz, comprimento e diâmetro de pêlos radiculares, tomados em três pontos distintos do segmento de raiz. Além destas medidas, no ponto de maior densidade de pêlos, em uma das laterais do segmento de raiz, contou-se o número de pêlos por milímetro do comprimento da raiz. Das raízes frescas de cada planta, também retiraram-se amostras de 0,5g de raízes para a avaliação da colonização micorrízica. Após teste de avaliação de metodologias de clarificação e coloração de raízes, realizado com mudas de mais de um ano de idade (mudas passadas) de jatobá, sibipiruna, paineira, guatambu e maria-mole, entre outras espécies nativas obtidas no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, decidiu-se clarificar as amostras de raízes dos experimentos com  $\text{KOH } 2,5\text{g.L}^{-1}$  e água oxigenada alcalina e colorilas com azul de tripano, conforme a metodologia de Phillips e Hayman, modificada por Koske e Gemma (1989). As raízes coloridas de cada amostra foram dispostas paralelamente em duas lâminas com glicerina, cobertas com lamínulas de 24x50 mm e observadas em microscópio óptico (200x), cruzando-as perpendicularmente. Neste aumento (200x), o campo óptico do microscópio permitia visualizar segmentos de raiz com comprimento médio de 0,9 mm. Observou-se, em média 150, segmentos de raiz por amostra e avaliou-se a percentagem total de segmentos colonizados e as percentagens de segmentos colonizados por vesículas, por arbúsculos e apenas por hifas (McGonigle et al., 1990). Uma avaliação adicional foi realizada tomando-se aleatoriamente cinco lâminas de raízes de cada espécie e verificando a percentagem de segmentos que continham pêlos radiculares.

Após a separação das raízes, o solo dos vasos foi homogeneizado. Separou-se uma amostra para a determinação química do fósforo disponível no solo, extraindo-o com Mehlich I e determinando-o por colorimetria, e separou-se uma amostra de 50 cm<sup>3</sup> para a determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos. Os esporos foram separados das amostras de solo por peneiramento via úmida (Gerdemann e Nicolson, 1963) em peneiras de malha de 0,710 e 0,053 mm e centrifugações a 2000 rpm em água e em sacarose 450 g.L<sup>-1</sup>, por três e dois minutos, respectivamente. Após a separação, os esporos foram lavados em água e contados em placa de Petri com caneluras com auxílio de microscópio estereoscópico (40x).

### 3.5 Análises estatísticas

As variáveis avaliadas foram submetidas a análises de variância (ANAVAs) e as médias separadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1%, utilizando-se o programa SANEST (Zonta, Machado e Silveira Junior, 1984). Para a maioria das espécies estudadas, as variáveis foram analisadas segundo o delineamento experimental proposto (DIC em fatorial 2x3). Porém, houve perda de tratamentos em algumas espécies, devido à morte das plantas ou à pequena produção de material vegetal, insuficiente para realizar determinadas análises, como de teores de nutrientes nos tecidos. Nestes casos, as variáveis com tratamentos perdidos foram analisadas utilizando-se um DIC simples, onde se compararam entre si os tratamentos restantes, os quais, na maior parte dos casos, foram Ma-0,002; Ma-0,02; Ma-0,2 e Ni-0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS. Da mesma forma, as variáveis referentes a características intrínsecas à inoculação micorrízica, como colonização micorrízica e densidade de esporos, foram analisadas como um DIC simples, comparando-se entre si apenas os tratamentos de concentração de P na SS. Por haver apenas três concentrações de fósforo na solução do solo, evitou-se trabalhar excessivamente com regressões. Estas foram apenas estimadas para a massa da parte aérea seca, utilizando-se o programa TableCurve 3.01 (Jandel Corporation) e selecionando-se as equações pelo maior valor F de Snedecor, o qual foi calculado utilizando-se como denominador o quadrado médio do resíduo da ANOVA de todos os dados desta variável. Correlações entre as variáveis foram estimadas pelo momento do produto de Pearson, utilizando-se o programa SigmaStat 1.0 (Jandel Corporation).

Na tentativa de se obter relações entre a posição das espécies nos diferentes grupos sucessionais e as variáveis avaliadas, realizou-se análise discriminatória múltipla (ADM - em

inglês, MDA). Este tipo de análise multivariada aplica-se na identificação de grupos nos quais os indivíduos são categorizados e seu propósito básico é estimar relações entre uma única variável qualitativa (categoria) e variáveis dependentes quantitativas (Hair Jr. et al., 1992). Desta forma, utilizando-se do SAS (Statistical Analysis System) [SAS Institute Inc.], as variáveis dependentes quantitativas foram selecionadas através de análise de componentes principais e submetidas à análise discriminatória múltipla (ADM), utilizando-se como variável classificatória as classes sucessionais estabelecidas por Budowski (1965) e Whitmore (1988).

### **3.6 Estimativas de dependência micorrízica (DM)**

A DM das espécies foi estimada através da massa da parte aérea seca e apresentada pelo valor absoluto obtido no cálculo (DM) ou pelo valor corrigido pela significância do teste F (DMc), conforme proposto por Prenchette, Fortin e Furlan (1983). As espécies foram categorizadas pela DM conforme Habte e Manjunath (1991). Estimou-se o valor T' de Janos (1988) como sendo o ponto de cruzamento das curvas de regressões ajustadas para os tratamentos Ma e Ni, para a massa da parte aérea seca em função da concentração de P na SS.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Colonização micorrízica e densidade de esporos

A colonização por hifas (CH), arbúsculos (CA), vesículas (CV) e a colonização total das raízes (CT), juntamente com a densidade de esporos no solo onde as mudas foram formadas são apresentadas na tabela 4, e o resumo das ANAVAs destas variáveis encontra-se em anexo (Tabela 1A). Entre as 29 espécies estudadas, em apenas quatro (pau-pereira, tento, sibipiruna e j.branco) não foram observados colonização micorrízica nas raízes e esporos no solo. Em louro, guatambu e ó.copaíba, verificou-se a presença de estruturas fúngicas, porém a colonização micorrízica não foi possível de ser quantificada, devido a dificuldades encontradas no processo de coloração das raízes destas espécies. Em j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco, verificou-se colonização micorrízica, porém em níveis muito baixos, sendo a CT inferior a 10%.

Nas demais espécies, a CH variou de 0,1% na trema, concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  a 28% na leucena, concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ . Não se verificou CH em c.carnaval, fedegoso e pau-ferro. As concentrações de P na SS influenciaram a CH de paineira, gravitinga, trema, leucena, cedro e saboneteira. Na leucena, ela foi reduzida nas concentrações 0,02 e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , em paineira e saboneteira, foi maior na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e em gravitinga, trema e cedro, foi maior na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  apenas em relação à concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

A CA foi verificada em todas as espécies que apresentaram colonização micorrízica, porém apresentando grande variação entre as espécies e as concentrações de P. Valores extremos de CA foram verificados na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , variando de 0,1% na saboneteira a 68% no ipê-amarelo. A CA atingiu valores superiores a 50% no ipê-amarelo, nas três concentrações de P, e em c.carnaval, embaúba e cedro, apenas na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . A elevação na concentração de P causou reduções drásticas na CA de algumas espécies, como em gravitinga e trema, que apresentaram CA reduzida em 93 e 97%,

TABELA 4. Colonização micorrízica por hifas (CH), arbúsculos (CA), vesículas (CV) e total (CT), e densidade de esporos das espécies nas concentrações 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie	CH			CA			CV			CT			Densidade de esporos		
	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2
-----Porcentagem do total de segmentos observados-----															
-----n°/50mL-----															
Pau-perceira	...(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tento	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sibipiruna	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
J.branco	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
J.roxo	0,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,1 a	0,1 a	0,0 a	---	---	---
Ó.bálsamo	0,4 a	0,8 a	0,7 a	0,5 a	1,9 a	1,4 a	0,0 a	0,6 a	0,1 a	0,6 a	2,2 a	1,9 a	0 a	2 a	1 a
Jatobá	0,0 a	0,5 a	0,0 a	0,0 a	0,4 a	0,0 a	0,0 a	0,2 a	0,0 a	0,0 a	0,9 a	0,0 a	0 b	0 b	8 a
Maria-mole	0,0 a	1,0 a	0,0 a	0,0 a	1,8 a	0,1 a	0,0 a	0,8 a	0,0 a	0,0 a	2,0 a	0,1 a	1 a	7 a	0 a
Paineira	0,0 b	2,5 a	0,0 b	0,0 a	0,5 a	0,0 a	0,0 a	0,4 a	0,0 a	0,0 b	2,7 a	0,0 b	3 a	4 a	3 a
Ipê-branco	3,4 a	5,1 a	1,2 a	3,4 a	4,8 a	3,7 a	0,0 a	0,9 a	0,4 a	6,5 a	9,6 a	4,8 a	---	---	---
Gravitinga	3,1 ab	6,9 a	1,8 b	32,1 a	49,1 a	3,7 b	14,9 a	19,2 a	2,0 b	35,9 a	57,5 a	5,1 b	2 b	98 a	1 b
Arocira	0,3 a	2,2 a	1,2 a	2,8 b	24,3 a	9,4 ab	0,0 a	0,5 a	1,4 a	2,9 b	27,0 a	10,7 ab	3 a	4 a	4 a
Trema	0,6 ab	1,6 a	0,1 b	9,2 b	30,7 a	0,9 c	1,2 b	7,3 a	0,1 b	10,0 b	32,3 a	1,0 c	4 b	97 a	6 b
A.cavalo	1,3 a	2,0 a	1,8 a	6,4 a	19,2 a	9,4 a	0,3 b	4,9 a	0,6 b	7,8 a	21,1 a	10,8 a	18 ab	58 a	11 b
C.carnaval	---(2)	---	---	7,8 b	63,0 a	30,4 a	0,0 a	0,4 a	0,6 a	7,8 b	63,0 a	30,4 a	9 c	347 a	90 b
Capixingui	5,7 a	6,8 a	4,9 a	25,7 a	39,1 a	18,4 a	1,3 b	20,3 a	3,4 b	32,7 a	48,0 a	23,1 a	123 b	614 a	126 b
Quaresmeira	4,8 a	3,6 a	5,0 a	3,2 a	14,7 a	12,4 a	---	---	---	9,6 a	20,3 a	17,4 a	77 b	412 a	27 b
Embaúba	2,0 a	2,7 a	2,0 a	47,2 ab	57,3 a	22,8 b	1,4 a	4,4 a	4,6 a	50,4 ab	61,9 a	24,5 b	63 b	725 a	101 b
Louro	(3)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	21 b	286 a	46 b
Leucena	28,1 a	5,1 b	0,9 b	32,7 a	14,1 ab	3,0 b	1,4 a	0,7 a	0,3 a	61,1 a	17,0 ab	3,4 b	98 a	39 b	21 b
Fedegoso	---	---	---	5,6 a	20,2 a	13,1 a	0,0 a	0,3 a	0,6 a	5,6 a	20,2 a	13,1 a	21 a	30 a	23 a
Cedro	5,2 ab	9,7 a	1,7 b	46,8 a	57,3 a	18,4 a	11,1 ab	15,9 a	3,9 b	57,9 a	70,4 a	19,6 b	238 b	471 a	18 c
Pau-ferro	---	---	---	2,0 b	29,6 a	11,5 a	0,0 a	0,2 a	0,2 a	2,0 b	29,6 a	11,5 a	14 a	93 a	58 a
Pororoca	9,4 a	11,5 a	3,3 a	7,0 b	39,6 a	25,7 ab	0,0 a	1,1 a	0,0 a	15,1 a	52,2 a	29,4 a	44 ab	116 a	11 b
Ipê-roxo	5,7 a	3,7 a	1,5 a	18,9 a	36,8 a	27,1 a	0,9 a	2,0 a	1,2 a	25,5 a	40,9 a	28,6 a	17 a	20 a	17 a
Saboneteira	4,7 b	23,1 a	8,5 b	0,1 a	1,0 a	0,4 a	0,0 a	0,4 a	0,2 a	4,8 b	24,5 a	8,9 b	3 b	20 a	15 a
Ipê-amarelo	6,7 a	8,6 a	3,4 a	68,4 a	61,6 a	50,4 a	13,4 a	13,1 a	12,4 a	75,6 a	71,7 a	54,0 a	63 a	169 a	42 a
Guatambu	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4 a	3 a	0 a
Ó.copaíba	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	29 a	114 a	101 a

Letras iguais na linha indicam que as médias não diferem pelo teste de Tukey 1%.

(1): ... = Colonização micorrízica ou esporulação não verificada

(2): --- = Classe de colonização não observada

(3): \_\_ = Colonização micorrízica verificada, mas não quantificada por dificuldades no processo de coloração das raízes

respectivamente, quando se elevou a concentração de P de 0,02 para 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Efeito semelhante foi verificado nas demais espécies, entretanto não sendo estatisticamente significativos em todas, mas atingindo reduções de CA superiores a 60% em aroeira, embaúba, leucena, cedro e pau-ferro.

A CV também variou muito entre as espécies atingindo valores em torno de 20% em gravitinga e capixingui, na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup>. Em trema, a.cavalo e capixingui, a CV foi maior na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup>. Na gravitinga, a CV foi reduzida na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> e no cedro, este efeito foi significativo apenas em relação à concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup>. Não se verificou formação de vesículas na quaresmeira.

A CT atingiu valores considerados altos, chegando a 75% no ipê-amarelo. Em gravitinga, c.carnaval, embaúba, leucena, cedro, pororoca e ipê-amarelo, verificou-se incidência de CT em mais de 50% dos segmentos de raízes observados, dependendo da concentração de P na SS. Grandemente influenciada pela CA, a CT também apresentou-se diminuída na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> em algumas espécies, atingindo reduções de 91, 97, 60, 72 e 63% em relação à concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> nas espécies gravitinga, trema, embaúba, cedro e saboneteira, respectivamente.

A grande influência da CA sobre a CT é verificada pelas análises de correlações entre estas variáveis, que mostram coeficientes de correlação ( $r$ ) superiores a 0,97 ( $P < 0,01$ ) dentro de cada concentração de P. Verificaram-se correlações entre CA, CV e CT ( $r > 0,62$ ;  $P < 0,01$ ) em todas as concentrações de P, indicando que, apesar da variação individual existente em cada espécie, estas variáveis concordam na demonstração da suscetibilidade à infecção das espécies. Entretanto, a CH tende a não apresentar correlação com as demais. A única correlação verificada envolvendo a CH foi com a CT na concentração 0,002 mg.L<sup>-1</sup> ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,01$ ). CA e CT correlacionam-se com a densidade de esporos no solo, sendo esta relação mais consistente nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> ( $r > 0,64$ ;  $P < 0,01$ ), que na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> ( $r > 0,56$ ;  $P < 0,01$ ). Habte e Manjunath (1987) e Aziz e Habte (1987) propõem que a concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS seja próxima ao ótimo para a atividade da simbiose micorrizica na maioria das plantas. Entretanto, maior CT nesta concentração foi verificada apenas em paineira, trema e saboneteira, porém houve tendência de este efeito ocorrer nas demais espécies, excetuando-se leucena e ipê-amarelo. Esse efeito foi mais consistente com a densidade de esporos, verificando-se que a esporulação do fungo foi maior na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> em gravitinga, trema, c.carnaval, capixingui, quaresmeira,

embaúba, louro e cedro. Estas espécies tenderam a apresentar densidades de esporos elevadas, sendo superiores a 200 esporos por 50 mL de solo, excetuando-se gravitinga e trema.

O fato de, em apenas algumas espécies, a concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  ter reduzido a colonização e a esporulação em relação à concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , sugere que as plantas apresentam diferentes níveis de controle da colonização micorrízica. Como hipotetiza-se que a manifestação deste controle seja em função, principalmente, da disponibilidade de P no solo (Siqueira, Hubbell e Valle, 1984), a amplitude da faixa de P disponível no solo em que a planta mantém nível elevado de colonização micorrízica pode ser um indicativo de sua DM, pois quanto maior a faixa de P disponível em que a simbiose mantém a natureza mutualista, maior é a eficiência simbiótica (Saggin Júnior e Siqueira, 1995), a qual é condicionada à eficiência do fungo e à DM das plantas.

Carneiro et al. (1996) estudaram mudas de 31 espécies arbóreas, entre elas 15 utilizadas no presente estudo (pau-pereira, tento, sibipiruna, jatobá, paineira, trema, a.cavalo, c.carnaval, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, saboneteira, guatambu e ó.copaíba). Entretanto, distintamente do presente estudo, esses autores trabalharam com substrato contendo casca de arroz carbonizada. Além de *Glomus etunicatum*, também inocularam *Gigaspora margarita* e utilizaram metodologia de avaliação da colonização micorrízica diferente. Assim, relatam resultados de colonização micorrízica conflitantes com os aqui apresentados. Eles verificaram colonização micorrízica de cerca de 30% em sibipiruna, de 20% em paineira e sinais de colonização em pau-pereira, enquanto que no presente estudo, verificou-se apenas 3% de colonização em paineira e não se verificou colonização em sibipiruna e pau-pereira. Entretanto, no presente estudo, observou-se sinais de colonização em jatobá e guatambu, os quais não foram observados por estes autores. Tal como Carneiro et al. (1996), Paron et al. (1996) também não observaram colonização micorrízica no guatambu. No entanto, no presente estudo, quando plantas de jatobá, sibipiruna, paineira, guatambu e maria-mole, com mais de um ano de idade, mantidas em viveiro, tiveram suas raízes clarificadas e coloridas durante testes prévios para padronização destas metodologias, apresentaram colonização micorrízica, sugerindo que estes resultados conflitantes se devam a diferenças nas condições experimentais e na idade das plantas. Nas demais espécies, o presente estudo e o de Carneiro et al. (1996) apresentam resultados concordantes quanto à colonização micorrízica, porém com valores geralmente distintos. Entretanto, os dois estudos concordam na ausência de colonização micorrízica em tento, o que tende a caracterizá-la como espécie não

micotrófica. Também verificaram problemas com o processo de clarificação e coloração das raízes de ó.copaíba, impedindo que sua colonização fosse adequadamente avaliada, embora sinais de colonização tenham sido verificados, concordando com outros estudos (Camargo, Oliveira e Rosado, 1988; Graciolli e Graciolli, 1994; Paron et al., 1996).

Os valores médios de colonização micorrízica das espécies são apresentados na figura 1. Ipê-amarelo, cedro e embaúba apresentaram as maiores colonizações, sendo estes valores superiores a 45%. Capixingui, c.carnaval, gravitinga, pororoça, ipê-roxo e leucena apresentaram valores intermediários entre 27 e 35%, enquanto quaresmeira, trema, pau-ferro, aroeira, a.cavalo, fedegoso e saboneteira apresentaram colonização entre 13 e 16%. Diversas espécies apresentaram colonização muito baixa, inferior a 7%. A colonização micorrízica depende do ambiente, particularmente da disponibilidade de P no solo (Amijee, Tinker e Stribley, 1989; Bolan, 1991) e de características intrínsecas às plantas (Koide e Schreiner, 1992) e ao fungo. Como a disponibilidade de P e o fungo micorrízico foram padronizados no presente estudo, a variação na colonização micorrízica, nas diferentes espécies, deve ter ocorrido devido a características específicas próprias, refletindo seu grau de compatibilidade com o fungo estudado e sua micotrofia. Mesmo entre as espécies micotróficas, houve grande variação na colonização, provavelmente por existirem entre elas diferenças na interação fungo-raiz (Bécard e Piché, 1989; Siqueira, Safir e Nair, 1992; Gianinazzi-Pearson, 1992) e diferenças anatômicas que facilitem a colonização (Brundrett e Kendrick, 1988, 1990a e 1990b; Brundrett, Murase e Kendrick, 1990). Além disto, algumas espécies podem regular o nível de colonização de acordo com o ambiente, otimizando a simbiose para atender às necessidades nutricionais da planta hospedeira com um gasto mínimo de fotossintatos com o fungo (Koide e Schreiner, 1992) ou usando deste balanço para obter a latência meristemática necessária para a manutenção dos bancos de plântulas (Herrera, Menéndez e Vilamajó, 1988), o que colaboraria para as diferenças de colonização micorrízica entre as espécies.

Os valores de densidade média de esporos extraídos do solo encontram-se na figura 2. As espécies também apresentaram grande variação quanto à esporulação do fungo. Embaúba, capixingui, cedro, quaresmeira, c.carnaval e louro foram as espécies onde encontraram-se as maiores densidade de esporos, com valores médios superiores a dois esporos por mL de solo. Pau-pereira, tento, sibipiruna, e j.branco não apresentaram esporulação na rizosfera, assim como não apresentaram colonização micorrízica. Desta forma, é provável que sejam espécies não micotróficas na fase de mudas. Outras espécies que

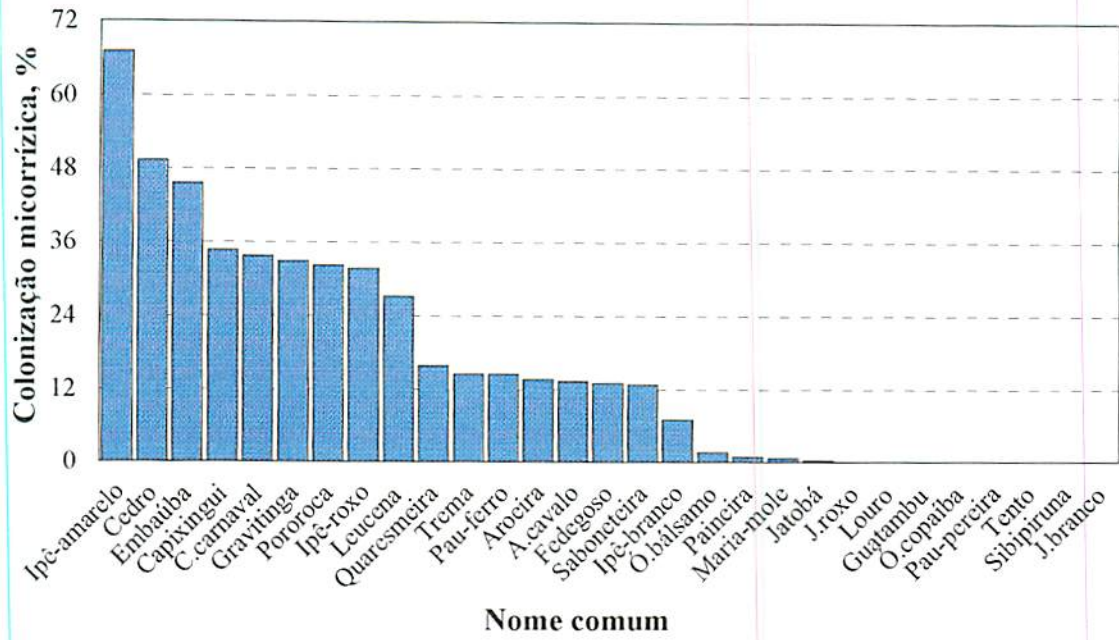


FIGURA 1. Colonização micorrízica total das mudas de espécies arbóreas (média das concentrações de P na solução do solo).

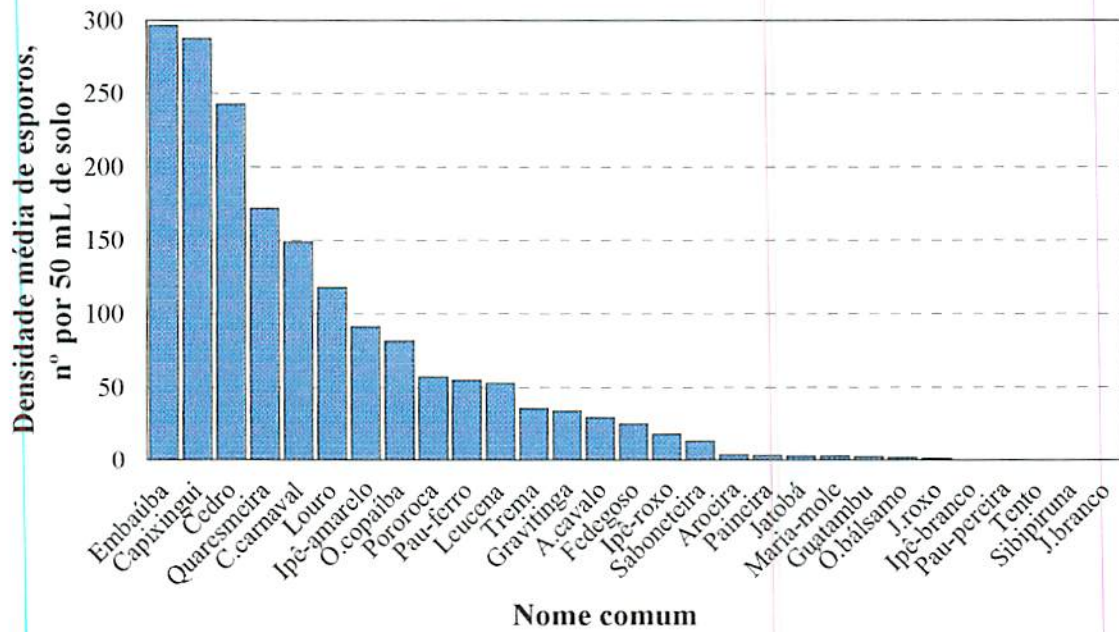


FIGURA 2. Densidade de esporos extraídos do solo após o crescimento das mudas (média das concentrações de P na solução do solo).

apresentaram colonização micorrízica muito baixa e pouca esporulação na rizosfera, como j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco, provavelmente são não micotróficas ou possuem grau de micotrofia reduzido nesta fase. No entanto, como em algumas destas espécies (sibipiruna, jatobá, paineira e maria-mole) observou-se colonização em plantas de mais de um ano de idade, é possível que a condição de micotrofia aqui observada possa ser alterada. As demais espécies, que apresentaram CT superior a 17% na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 4), provavelmente são micotróficas, as quais dependem de micorrizas desde a fase de formação de mudas.

## 4.2 Crescimento vegetativo das plantas

A altura de plantas em diferentes épocas para as espécies que não apresentaram interação entre os fatores inoculação e concentração de P (IxP) encontra-se na figura 3. Em relação à resposta ao P, j.brancos, j.roxo, ipê-branco e ipê-roxo apresentaram plantas mais altas na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que pau-pereira, tento, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole e sibipiruna não apresentaram influência da concentração de P na altura. O incremento percentual em altura, ao final do período de crescimento, quando a concentração de P foi aumentada de 0,002 para 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, foi de 108, 96, 36, e 28% para j.roxo, ipê-branco, j.brancos e ipê-roxo, respectivamente. Estas respostas ao P, além de ocorrerem em poucas destas espécies, apresentaram pequena magnitude quando comparadas com as demais espécies estudadas. Nenhuma destas espécies apresentou efeito da inoculação sobre a altura, exceto o ipê-roxo, que apresentou plantas inoculadas (Ma) mais altas que plantas não inoculadas (Ni). Estes resultados concordam com os resultados de colonização micorrízica, pois estas espécies, que não respondem à inoculação em altura, apresentaram CT inferior a 10%.

Na figura 4, encontra-se a altura de plantas, em diferentes épocas, das espécies que apresentaram interação IxP. Observa-se que todas elas, exceto o fedegoso, apresentaram a altura de planta aumentada pela inoculação na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup>. O fedegoso apresentou este efeito apenas na concentração mais alta (0,2 mg.L<sup>-1</sup>). Louro, a.cavalo, cedro, saboneteira, embaúba, leucena, pororoca e ipê-amarelo também respondem à inoculação na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, fato este não observado para aroeira, trema, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, pau-ferro, guatambu e ó.copaíba. Na concentração mais baixa de P (0,002 mg.L<sup>-1</sup>), apenas ipê-amarelo e saboneteira responderam à inoculação. Nota-se que, para a

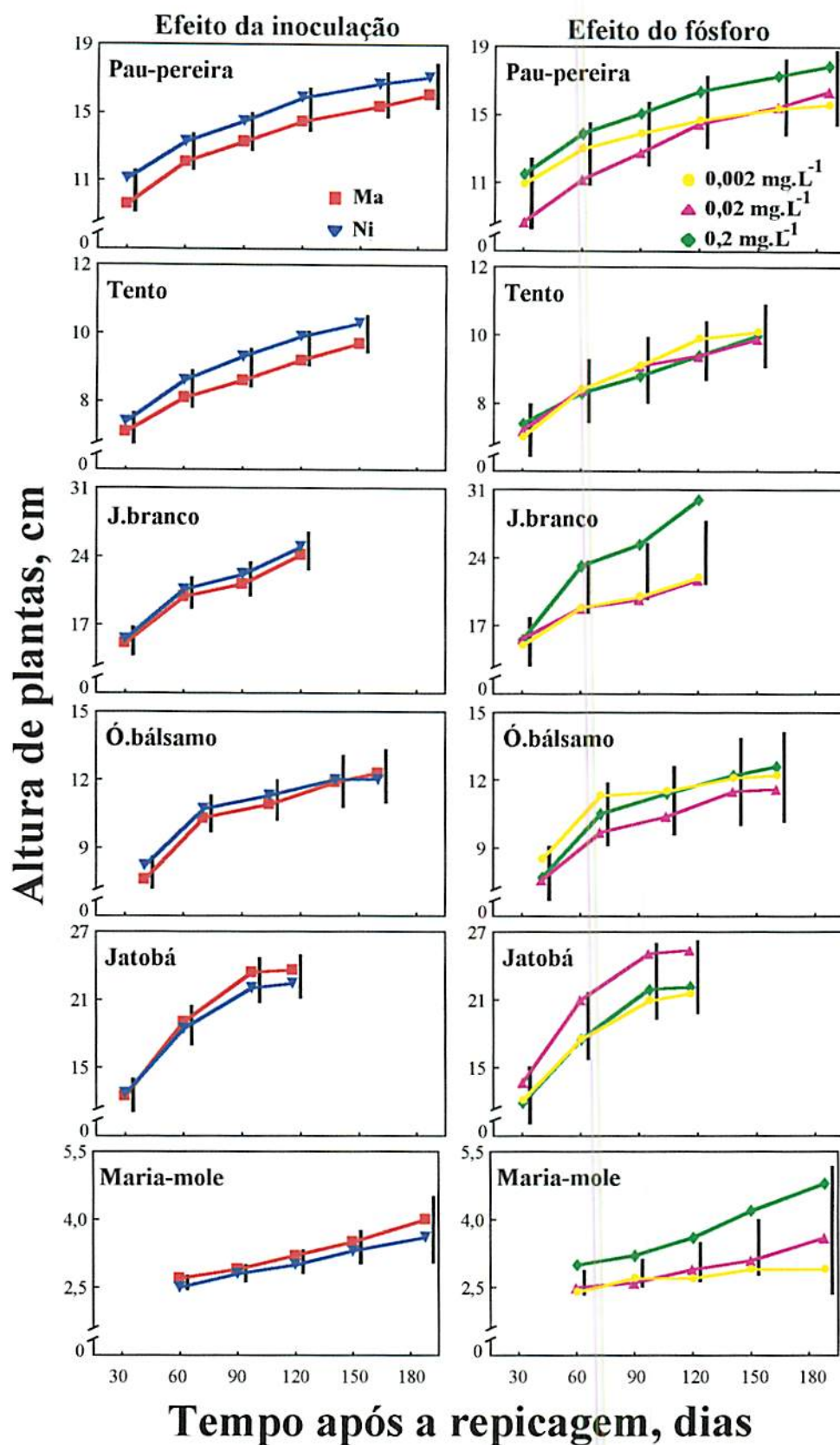


FIGURA 3. Altura de mudas de espécies arbóreas que não apresentaram interação entre os tratamentos de inoculação e de concentração de P na solução do solo. As barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%.

continua...

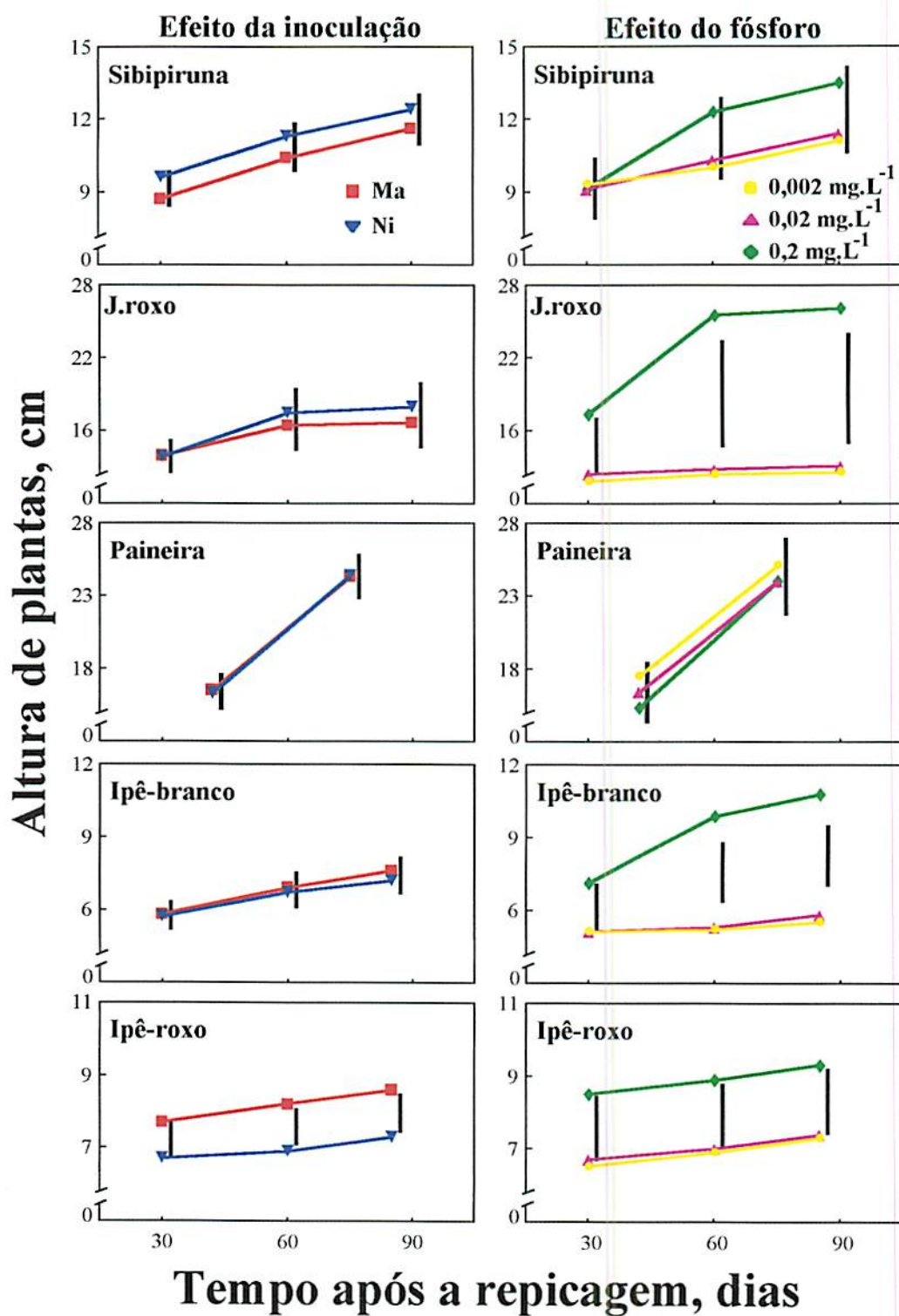


FIGURA 3. Continuação.

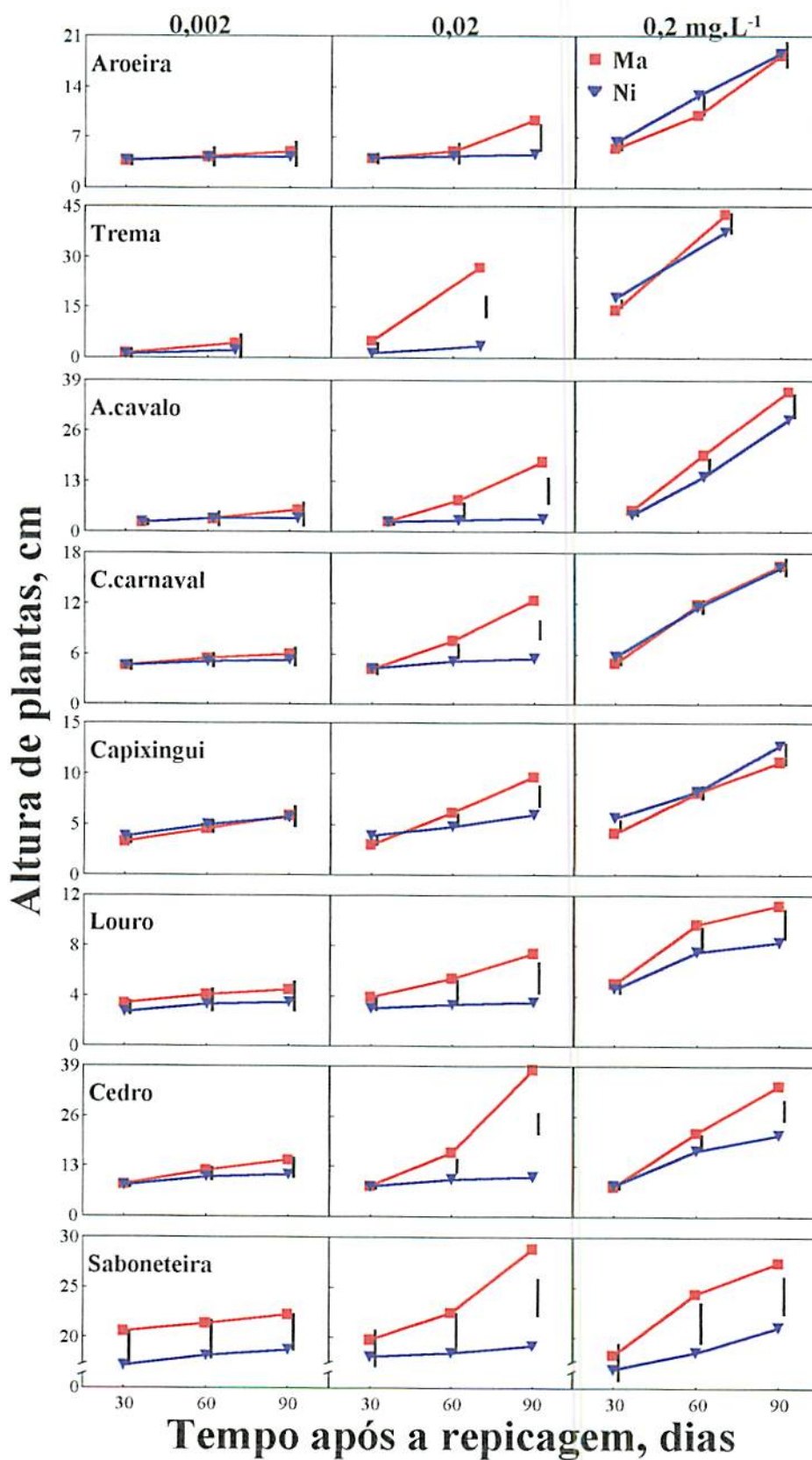


FIGURA 4. Altura de mudas das espécies arbóreas que apresentaram interação entre os tratamentos de inoculação e de concentração de P na solução do solo. As barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%.

continua...

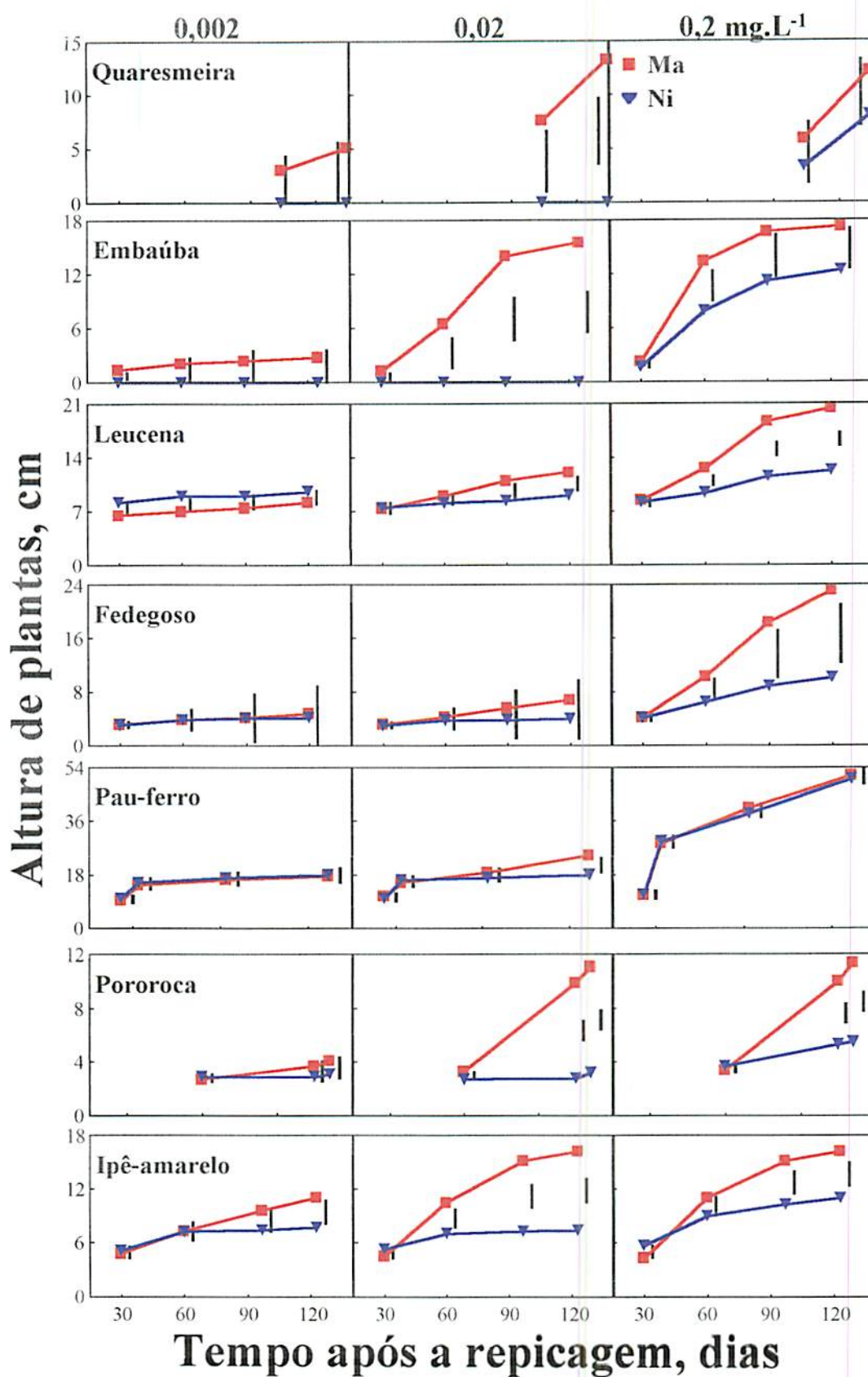


FIGURA 4. Continuação.

continua...

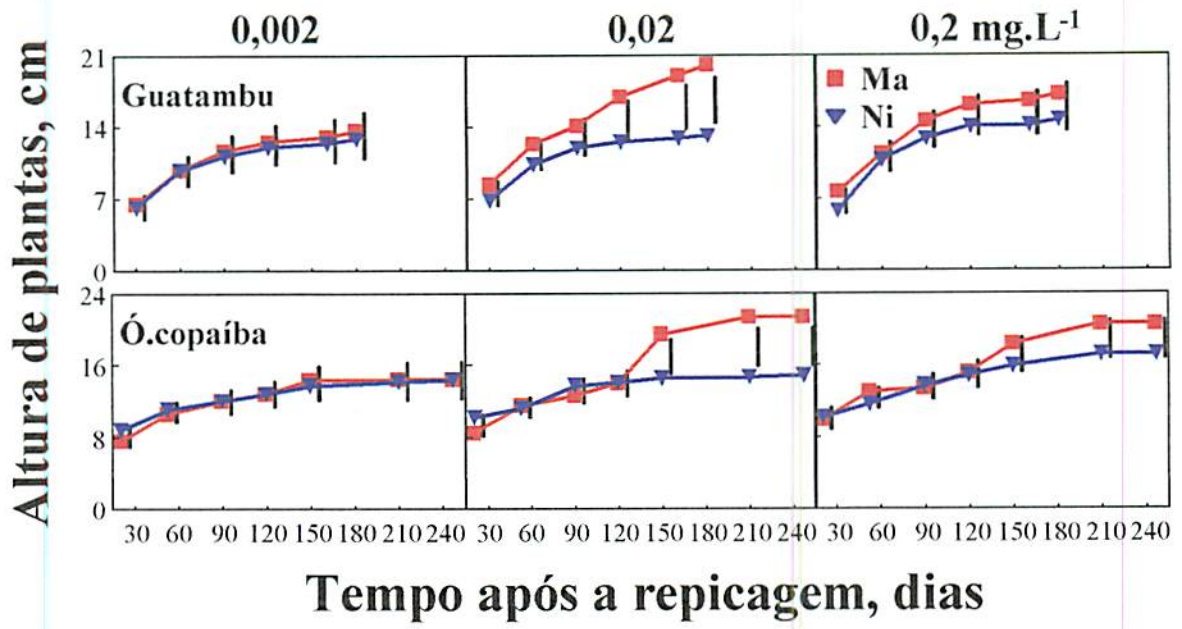


FIGURA 4. Continuação.

maioria das espécies, nas concentrações 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, as respostas à inoculação iniciaram a partir de 60 dias da repicagem e inoculação. Porém, na trema, esta resposta já foi significativa aos 30 dias e na aroeira, apenas aos 90 dias. O pau-ferro e o guatambu apresentaram respostas à inoculação apenas depois de 120 dias e o ó.copaíba, apenas depois de 150 dias da repicagem e inoculação, indicando que estas espécies beneficiaram-se da micorrização mais tardiamente que as demais. A magnitude da resposta à inoculação na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> foi maior em embaúba, quaresmeira, trema, a.cavalo, cedro e pororoca, enquanto que, na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, foi maior em fedegoso, pororoca, leucena, cedro e ipê-amarelo. Nestas últimas, a maior magnitude, provavelmente, deve-se à pouca resposta ao P das plantas Ni. Espécies cujas plantas Ni apresentaram grandes respostas ao P, como aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba e pau-ferro, não apresentaram respostas à inoculação na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Portanto, as espécies diferem quanto à sua resposta ao P e à inoculação, sendo a resposta ao P um fator importante no benefício da micorrização.

O resumo das ANAVAs de massa da parte aérea e de raízes secas, massa total seca, altura, área foliar, diâmetro do caule e número de folhas encontra-se na tabela 5. Pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não apresentaram interação IxP na maioria das variáveis de crescimento vegetativo avaliadas. Considerando a maioria destas variáveis, essas espécies também não apresentaram resposta à inoculação. Ao contrário, gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentaram a interação IxP e o efeito principal da inoculação significativos na maioria das variáveis de crescimento vegetativo avaliadas. Portanto, o crescimento vegetativo das espécies apresentou comportamento semelhante nas diferentes variáveis estudadas.

Baseando-se na massa da parte aérea seca, verifica-se que 10 das 29 espécies estudadas (34%) não respondem à inoculação e que para elas, a interação IxP não foi significativa. As 19 espécies restantes (66%) responderam a ambos os fatores e à interação destes. Com base nisto, as espécies podem ser separadas entre aquelas que responderam à inoculação, denominadas doravante R, e aquelas que não responderam, denominadas N, comportamento melhor visualizado na figura 5. Pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não apresentam interação IxP (Tabela 5), não apresentam diferenças entre plantas Ma e Ni, sendo, portanto, consideradas

TABELA 5. Resumo das ANAVAs de massa, altura, área foliar, diâmetro do caule e número de folhas das espécies arbóreas

Espécie	Massa das plantas secas									Variáveis vegetativas avaliadas por planta													
	Parte aérea			Raízes			Total			Altura na colheita			Área foliar			Diâmetro do caule			Número de folhas				
	I	P	IxP	(1)	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	
Pau-perceira	ns	**	ns		ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tento	ns	ns	ns		ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns
Sibipiruna	ns	**	ns		ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns
J.branco	ns	**	ns		ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	*	ns
J.roxo	ns	**	ns		*	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	*	**	ns	ns	**	ns	ns
Ó.bálsamo	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Jatobá	ns	*	ns		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Maria-mole	ns	*	ns		ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns
Paineira	ns	ns	ns		*	ns	*	*	ns	*	ns	*	ns	**	*	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
Ipê-branco(2)	ns	**	ns		ns	**	ns	*	**	*	ns	**	ns	ns	**	ns	*	**	*	*	**	ns	ns
Gravitinga	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Arocira	**	**	**		*	**	*	**	**	**	*	**	*	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**
Trema	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**
A.cavalo	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.carnaval	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Capixingui	**	**	**		**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Quaresmeira	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Embaúba	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Louro	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Leucena	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Fedegoso	**	**	**		**	**	*	**	**	**	*	**	*	**	**	**	*	**	ns	**	**	ns	ns
Cedro	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Pau-ferro	**	**	**		**	**	**	**	**	**	*	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Pororoca	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ipê-roxo	**	**	**		**	**	ns	**	**	*	**	**	ns	**	**	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
Saboneteira	**	**	*		ns	ns	ns	**	**	ns	**	**	*	**	**	**	ns	**	ns	**	**	**	**
Ipê-amarelo	**	**	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Guatambu	**	*	*		**	ns	ns	**	ns	*	**	*	*	**	*	*	*	ns	ns	**	*	ns	ns
Ó.copaíba	**	**	**		*	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	ns	**	*	**	**	ns	ns

ns = não significativo ( $p \geq 10\%$ ). \* =  $1 \leq p < 9\%$ . \*\*:  $p < 1\%$ , onde p é a probabilidade de erro de rejeitar a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) pelo teste F.

(1): I= efeito de inoculação; P= efeito de concentração de fósforo na solução do solo; IxP= efeito da interação dos fatores

(2): Nesta espécie, os efeitos I e IxP na massa da parte aérea seca foram considerados "ns", embora apresentassem  $p = 9\%$ .

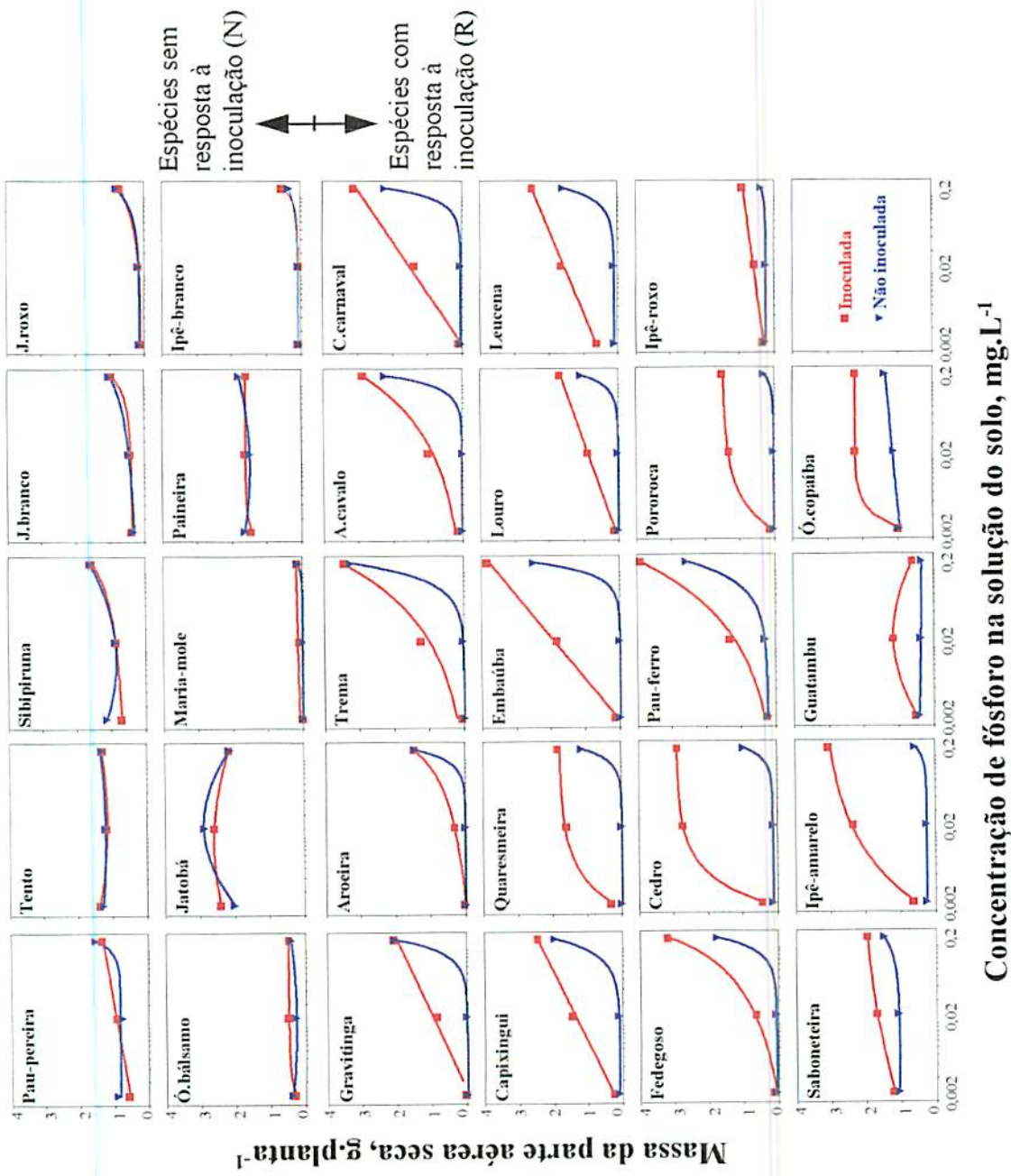


FIGURA 5. Massa da parte aérea seca de espécies arbóreas nativas, inoculadas ou não, em função da concentração de fósforo na solução do solo. Os ajustes de regressões e os coeficientes de determinação encontram-se na tabela 2A.

espécies N. Dentre estas dez espécies, apenas três (tento, ó.bálsamo e paineira) não respondem ao aumento de P na SS, sendo que estas respostas foram muito pequenas nas demais espécies. Gravinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba responderam à inoculação e apresentaram interação IxP para massa da parte aérea seca, sendo consideradas espécies R. Entretanto, a magnitude das respostas variou muito entre as concentrações de P e as espécies. A produção de massa da parte aérea seca destas espécies foi aumentada nas plantas Ma já na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e apenas na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  nas plantas Ni, evidenciando a forte interação entre estes fatores. Gravinga, aroeira e trema, quando Ni, apresentaram grande resposta ao P na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , de forma que, nesta concentração, já não diferiam das plantas Ma. Ao contrário destas, plantas Ni de pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentaram respostas muito baixas à elevação de P, indicando o maior grau de micotrofia destas.

A taxa de crescimento diário das diversas espécies encontra-se na figura 6. A trema é a espécie de maior taxa de crescimento, acumulando quase  $50 \text{ mg.dia}^{-1}$  e a maria-mole a de menor, acumulando menos de  $1 \text{ mg.dia}^{-1}$ . Verificou-se correlação positiva entre a taxa de crescimento e CA ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,01$ ) e CT ( $r = 0,58$ ;  $P < 0,01$ ), na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . Assim, nesta concentração de P, as espécies de maior taxa de crescimento tendem a apresentar maior colonização, o que reflete a maior dependência destas espécies a micorrizas, para atender suas grandes exigências nutricionais demandadas pelo rápido crescimento, em condições de pouco P disponível e, também, devido a que, as plantas com rápido crescimento geralmente são heliófilas e apresentam altas taxas fotossintéticas, o que pode auxiliar na manutenção de colonização micorrizica mais elevada (Ferrer e Herrera, 1988). Verifica-se também relação negativa ( $r = -0,61$ ;  $P < 0,01$ ) entre a taxa de crescimento e o tempo de formação das mudas em viveiro (Tabela 3). Isto indica que a taxa de crescimento, obtida experimentalmente, reflete as condições de crescimento verificadas nos viveiros. Como a muda é considerada apta para o transplante quando atinge tamanho ideal, quanto mais rápida é a sua taxa de crescimento, menor é o tempo de formação da muda. A relação destes aspectos com a dependência micorrizica será abordada posteriormente.

A resposta da massa da parte aérea seca à elevação da concentração de P na SS encontra-se na figura 7. Na embaúba e na quaresmeira, as respostas ao P na ausência de micorrizas são consideradas máximas, devido à morte das plantas Ni na concentração  $0,002$

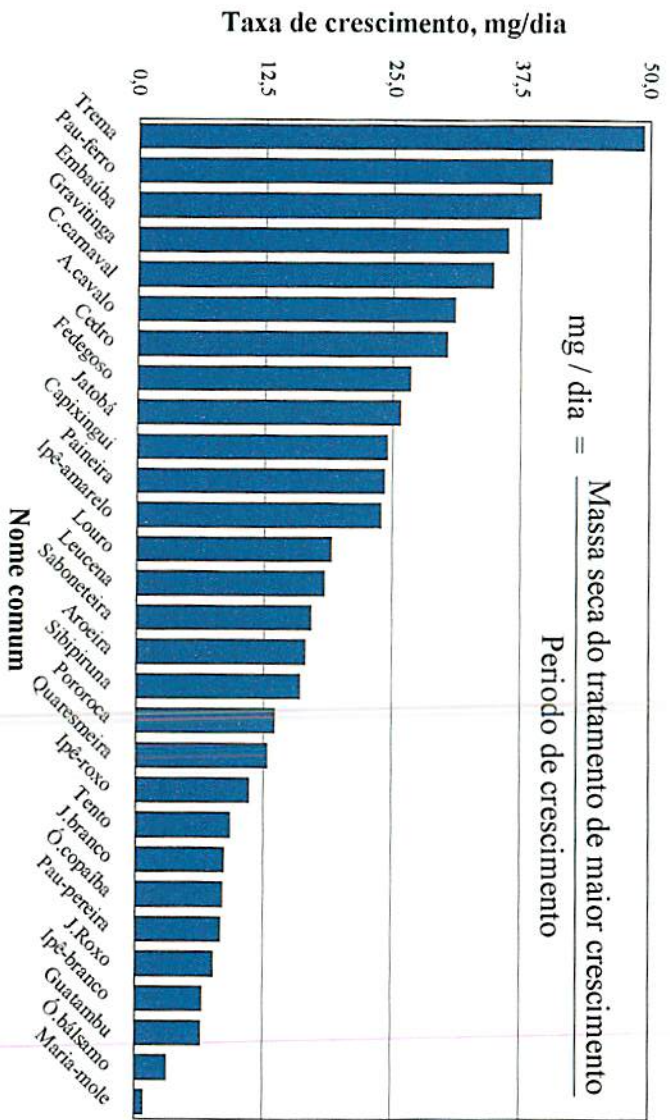


FIGURA 6. Taxa máxima de crescimento com base na massa da parte aérea seca obtida pelo tratamento de maior crescimento.

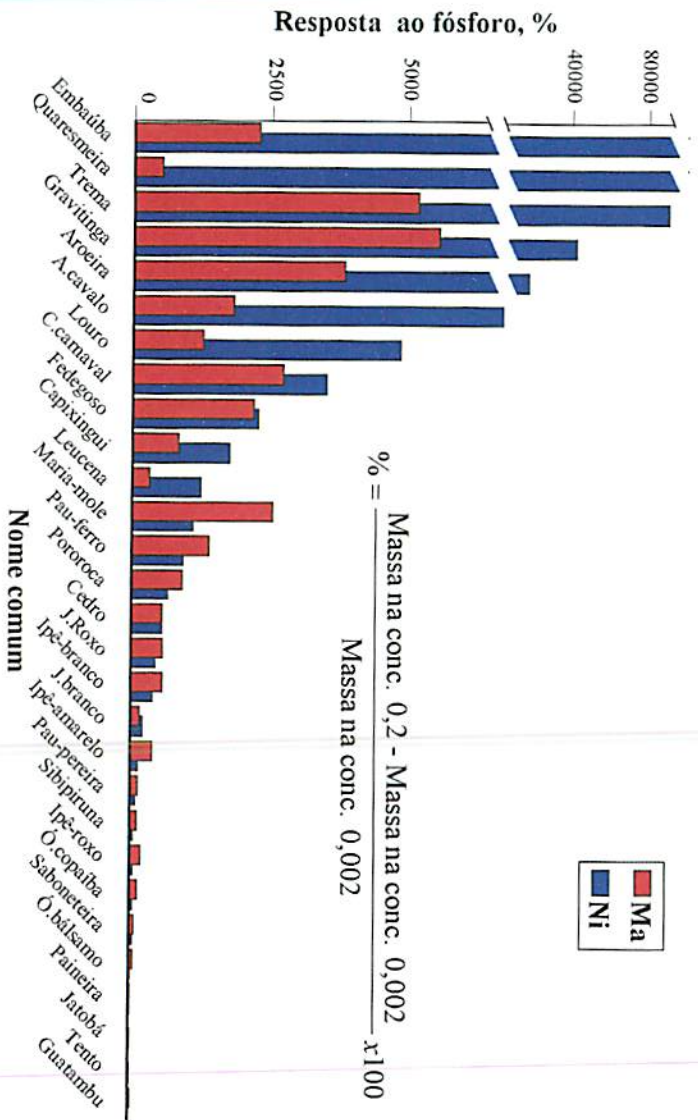


FIGURA 7. Resposta relativa à elevação da concentração de P na solução do solo para massa da parte aérea seca de mudas de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni).

mg.L<sup>-1</sup>. As maiores respostas ao P verificadas ocorreram nas plantas Ni. Isto é devido à inoculação promover o crescimento das plantas na menor concentração de P na SS (0,002 mg.L<sup>-1</sup>), reduzindo o percentual de resposta. Este efeito foi verificado em embaúba, quaresmeira, trema, gravitinga, aroeira, a.cavalo, louro, c.carnaval, fedegoso, capixingui e leucena. Isto reflete déficit de P externo mais elevado quando estas plantas não são micorrizadas. Espécies cujas respostas ao P são de menor magnitude (maria-mole, pau-ferro, pororoca, ipê-amarelo, ipê-roxo e ó.copaíba) tenderam a apresentar comportamento contrário, apresentando maiores respostas ao P nas plantas Ma, ou apresentando diferenças muito pequenas entre as respostas ao P de plantas Ma e Ni. A resposta ao P das plantas Ma apresenta uma correlação positiva com a taxa de crescimento das espécies ( $r = 0,59$ ;  $P < 0,01$ ). Isto indica que espécies que apresentam maiores taxas de crescimento possuem maiores respostas ao P, mesmo quando micorrizadas, porque apresentam mais demanda de P, como será discutido posteriormente. No entanto, a resposta ao P de plantas Ni não está relacionada à taxa de crescimento das plantas, devendo esta resposta estar associada, também, a outras características das espécies, como morfologia do sistema radicular, eficiência de absorção e demanda interna de P (Föhse, Claassen e Jungk, 1991; Baon, Smith e Alston, 1993; Blair, 1993).

A resposta da massa da parte aérea seca à inoculação encontra-se na figura 8. Em embaúba e quaresmeira, nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, estas respostas são consideradas máximas devido à morte das plantas Ni. A resposta à inoculação é notavelmente maior na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> e menor na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Considerando a resposta à inoculação na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, dentre as espécies R, embaúba, quaresmeira, gravitinga, louro, a.cavalo, trema, pororoca, aroeira, c.carnaval, cedro, leucena e capixingui são as mais responsivas, apresentando incrementos superiores a 1000% na produção de massa da parte aérea seca, enquanto que as menos responsivas à inoculação foram ó.copaíba (99%) e saboneteira (57%). As espécies N, as quais não responderam significativamente à inoculação, apresentaram incrementos na produção de massa da parte aérea seca muito baixos, excetuando-se maria-mole (834%) e ó.bálsamo (77%).

Análise de correlação revelou relação positiva entre a resposta ao P das plantas Ni com a resposta à inoculação nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, porém não se verifica esta relação na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 9). Isto indica que, apenas em condições de baixo fósforo disponível no solo, as plantas responsivas ao P são também responsivas à

inoculação. Em condições de alto suprimento de fósforo, plantas responsivas ao P não dependem de micorrizas. Correlação positiva entre a resposta ao P e a resposta à inoculação também foi observada em cultivares de trigo (Hetrick, Wilson e Todd, 1996), cevada (Baon, Smith e Alston, 1993), ervilha (Estaún, Calvet e Hayman, 1987) e em variedades de caupi (Ollivier et al., 1983). Diferenças na resposta ao P são determinadas pela demanda do metabolismo da planta ao P, pela alocação de P nos tecidos e pela capacidade da planta em absorver P no solo (Chapin, 1980; Blair, 1993). Assim, quando plantas responsivas ao P encontram-se em condições que limitem sua capacidade de absorver este nutriente do solo, como por exemplo baixa disponibilidade, estas plantas apresentam grandes respostas à inoculação.

Embora existam relações entre resposta ao P de plantas Ni e resposta à inoculação nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, não se verificam correlações entre a resposta ao P e a colonização micorrízica das raízes nestas condições de fertilidade. Isto deve-se ao fato de, também, não existirem correlações entre a resposta à inoculação e a colonização micorrízica nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> e entre a resposta ao P de plantas Ma e a resposta à inoculação. Entretanto, verificam-se correlações entre a resposta à inoculação e a colonização micorrízica na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 10). Provavelmente, a resposta à inoculação não se correlaciona com a colonização micorrízica em baixa disponibilidade de P no solo devido a que, nestas condições, a colonização deva ser máxima e seja pequeno o grau de controle desta pela planta. Em condições de alto fósforo disponível no solo, a maioria das espécies apresenta certa redução na colonização micorrízica (Tabela 4), exercendo, assim, maior controle sobre a colonização e permitindo o estabelecimento de nível de colonização de acordo com a sua necessidade e dependência a micorrizas (Koide e Schreiner, 1992). Portanto, na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, quanto mais colonizadas são as raízes, maiores são as respostas à inoculação para crescimento. A concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de fósforo na solução do solo é suficiente para que as plantas controlem e reduzam a colonização micorrízica, porém na maioria das espécies, não é suficiente para tornar a simbiose de natureza parasítica, o que causaria uma redução significativa da produção de massa vegetativa na presença de micorrizas (Siqueira e Colozzi-Filho, 1986; Saggin Júnior et al., 1994).

A massa total seca e área foliar encontram-se na tabela 6. Verifica-se que estas variáveis comportaram-se semelhantemente à massa da parte aérea (Figura 5). Pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não

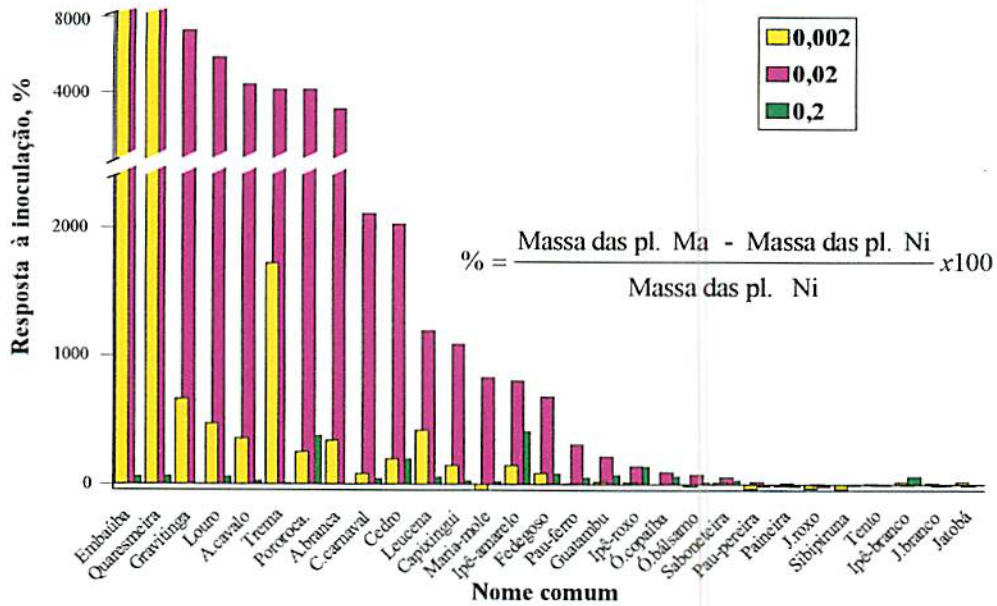


FIGURA 8. Resposta relativa à inoculação para massa da parte aérea seca de mudas de espécies arbóreas em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo.

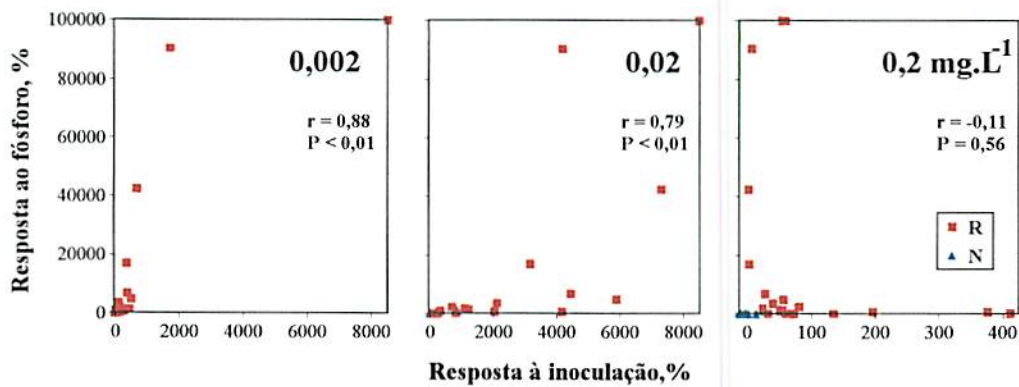


FIGURA 9. Correlação entre resposta ao P das plantas Ni e resposta à inoculação nas três concentrações de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem a inoculação.

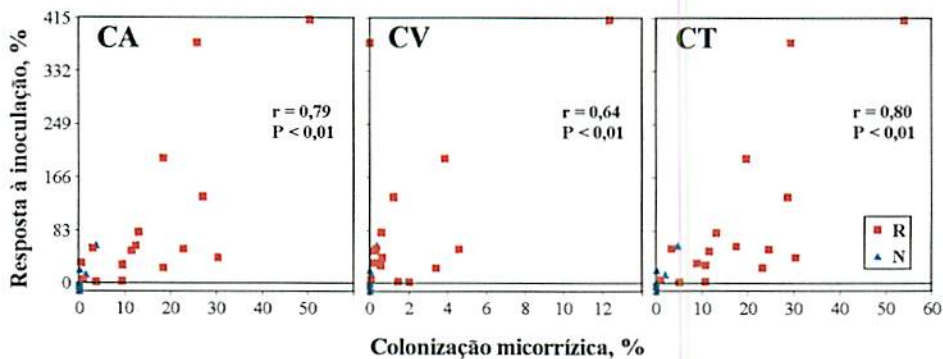


FIGURA 10. Correlações entre resposta à inoculação e colonização micorrízica por arbuscúlos (CA), vesícula (CV) e total (CT) na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem a inoculação.

TABELA 6. Massa total seca e área foliar de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie		Massa total seca			Área foliar			
		0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	
		g/planta			cm <sup>2</sup> /planta			
Pau-pereira	EP(1)	1,99 b	2,05 b	4,40 a	Ma	47 a A	134 a A	114 a A
					Ni	78 ab A	67 b A	165 a A
Tento	EP	1,88 a	1,70 a	1,67 a	EP	159 b	143 b	225 a
Sibipiruna	EP	1,70 a	1,65 a	2,52 a	EP	142 b	144 b	298 a
J.branco	EP	0,68 b	0,90 b	1,78 a	EP	40 b	47 b	133 a
J.roxo	EP	0,34 b	0,41 b	1,24 a	EP	18 b	27 b	201 a
Ó.bálsamo	EP	0,59 a	0,61 a	0,71 a	EP	35 a	50 a	49 a
Jatobá	EP	4,06 a	4,64 a	3,94 a	EP	248 a	328 a	225 a
Maria-mole	EP	0,02 a	0,09 a	0,24 a	EP	1 b	2 b	32 a
Paineira	Ma	1,94 a A	2,14 a A	2,00 a B	Ma	184 a A	94 a A	94 a B
	Ni	2,15 a A	1,97 a A	2,35 a A	Ni	218 ab A	181 b A	322 a A
Ipê-branco	Ma	0,13 b A	0,13 b A	0,87 a A	EP	25 b	23 b	143 a
	Ni	0,11 b A	0,14 b A	0,57 a B				
Gravitinga	Ma	0,06 c A	1,72 b A	3,89 a A	Ma	6 c A	193 b A	433 a B
	Ni	0,01 b A	0,03 b B	3,61 a A	Ni	1 b A	2 b B	498 a A
Arocira	Ma	0,05 c A	0,40 b A	1,98 a A	Ma	4 c A	51 b A	178 a A
	Ni	0,01 b A	0,02 b B	1,99 a A	Ni	0 b A	1 b B	163 a A
Trema	Ma	0,09 c A	1,72 b A	4,73 a A	Ma	31 c A	398 b A	565 a A
	Ni	0,01 b A	0,04 b B	4,30 a B	Ni	2 b A	7 b B	549 a A
A.cavalo	Ma	0,22 c A	1,46 b A	3,80 a A	Ma	58 c A	344 b A	890 a A
	Ni	0,05 b A	0,04 b B	3,03 a B	Ni	9 b A	10 b B	763 a B
C.carnaval	Ma	0,19 c A	2,25 b A	5,05 a A	Ma	21 c A	197 b A	367 a A
	Ni	0,13 b A	0,13 b B	3,44 a B	Ni	7 b A	8 b B	276 a B
Capixíngui	Ma	0,72 c A	3,21 b A	5,19 a A	Ma	39 c A	221 b A	337 a A
	Ni	0,32 b B	0,36 b B	4,74 a B	Ni	11 b A	13 b B	239 a B
Quaresmeira	Ma	0,53 b A	2,26 a A	2,60 a A	Ma	36 c A	190 b A	280 a A
	Ni	0,00 b A	0,00 b B	2,02 a A	Ni	0 b A	0 b B	188 a B
Embaúba	Ma	0,28 c A	2,83 b A	6,21 a A	Ma	47 c A	452 b A	718 a A
	Ni	0,00 b A	0,00 b B	4,10 a B	Ni	0 b A	0 b B	572 a B
Louro	Ma	0,23 c A	1,71 b A	3,78 a A	Ma	18 c A	146 b A	252 a A
	Ni	0,06 b A	0,05 b B	2,53 a B	Ni	1 b A	1 b B	194 a B
Leucena	Ma	1,30 c A	4,23 b A	6,74 a A	Ma	29 c A	69 b A	93 a A
	Ni	0,36 b B	0,40 b B	4,23 a B	Ni	10 b B	9 b B	60 a B
Fedegoso	Ma	0,28 b A	1,02 b A	4,57 a A	Ma	21 b A	96 b A	460 a A
	Ni	0,16 b A	0,17 b A	2,69 a B	Ni	9 b A	9 b A	274 a B
Cedro	Ma	0,62 b A	3,49 a A	3,71 a A	Ma	123 b A	638 a A	707 a A
	Ni	0,27 b A	0,23 b B	1,43 a B	Ni	27 b A	25 b B	190 a B
Pau-ferro	Ma	0,52 c A	2,06 b A	5,99 a A	Ma	24 c A	146 b A	328 a A
	Ni	0,58 b A	0,68 b B	3,99 a B	Ni	19 b A	19 b B	164 a B
Pororoca	Ma	0,25 b A	2,24 a A	2,55 a A	Ma	29 b A	239 a A	250 a A
	Ni	0,06 a A	0,05 a B	0,56 a B	Ni	4 a A	4 a B	48 a B
Ipê-roxo	Ma	0,88 b A	1,24 b A	1,82 a A	Ma	110 b A	161 ab A	221 a A
	Ni	0,63 a A	0,57 a B	0,97 a B	Ni	72 a A	72 a B	95 a B
Saboneteira	EP	2,01 b	2,27 ab	2,76 a	Ma	166 b A	287 a A	346 a A
					Ni	156 a A	142 a B	215 a B
Ipê-amarelo	Ma	1,50 c A	4,12 b A	4,81 a A	Ma	158 c A	424 b A	569 a A
	Ni	0,84 a B	0,82 a B	1,38 a B	Ni	66 a B	58 a B	131 a B
Guatambu	Ma	1,17 a A	1,94 a A	1,31 a A	Ma	52 b A	122 a A	47 b A
	Ni	0,92 a A	0,81 a B	0,76 a A	Ni	36 a A	33 a B	37 a A
Ó.copaíba	Ma	2,50 b A	4,37 a A	4,77 a A	Ma	122 b A	239 a A	258 a A
	Ni	2,74 a A	3,14 a B	3,14 a B	Ni	103 a A	123 a B	153 a B

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação não foi significativa

Em cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.

responderam à inoculação. A paineira apresentou massa total seca e área foliar reduzidas pela inoculação na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Essas espécies apresentaram baixa resposta ao P. A área foliar mostrou-se mais sensível que a produção de massa em evidenciar estas respostas. Apenas pau-pereira e paineira micorrizadas e ó.bálsamo, jatobá (Ma e Ni) não responderam ao P em área foliar. Dentre as espécies R, a saboneteira não apresentou interação IxP para a massa total seca, porém respondeu favoravelmente à inoculação (Tabela 5). Nas espécies onde houve interação IxP, verifica-se que a resposta à inoculação foi significativa nas concentrações  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , tanto para a massa total seca quanto para a área foliar (Tabela 6). Este efeito também é significativo na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  na variável número de folhas (Tabela 3A), fato este notado visualmente durante o desenvolvimento dos experimentos. Gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, cedro, pau-ferro pororoca, saboneteira, ipê-amarelo e ó.copaíba, quando inoculadas, apresentaram maior massa total seca e área foliar na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  em relação àquelas plantas que não receberam adição de P ( $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ ), enquanto ipê-branco, fedegoso e ipê-roxo inoculados apresentaram este efeito apenas na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba não responderam ao P quando não foram inoculadas, indicando sua reduzida capacidade de responder a este nutriente na ausência de micorrizas.

Observando-se o comportamento geral das espécies quanto ao crescimento vegetativo, verifica-se que as espécies N não apresentam interação IxP, resposta à inoculação e apresentam resposta ao P de pequena magnitude. Além disto, estas espécies apresentam baixa CT, menor que 10% (média = 2%) na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS. As espécies R apresentaram interação IxP e responderam favoravelmente à inoculação e ao P quando inoculadas. Quando não inoculadas, gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro e pau-ferro apresentam respostas ao P de grande magnitude, enquanto que pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentam resposta ao P de baixa magnitude ou ausente, evidenciando grande dependência a micorrizas para a absorção de P. As espécies R apresentaram CT maior que 17% (média = 40%) na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS.

### 4.3 Características morfológicas de raízes secundárias

O resumo das ANAVAs para comprimento, diâmetro e densidade máxima de pêlos radiculares e de diâmetro das raízes secundárias encontra-se na tabela 7. Depreende-se que a maior parte das espécies estudadas não apresentou efeitos significativos dos tratamentos sobre estas características do sistema radicular. O teste F indica efeito dos tratamentos em algumas espécies, porém, com nível de significância geralmente baixo, com probabilidades variando entre 1 e 9% na maior parte delas. A baixa significância dos efeitos dos tratamentos é evidenciada quando aplica-se o teste de médias (Tabela 8). Apenas verifica-se redução significativa pela inoculação no comprimento de pêlos radiculares de aroeira e cedro, e no diâmetro de raízes do pau-ferro e, de aumento pela inoculação no diâmetro de pêlos radiculares do louro. A elevação na concentração de P na SS apenas aumentou a densidade de pêlos radiculares nas raízes de c.carnaval. Em relação aos efeitos interativos entre os fatores, verifica-se que a inoculação aumenta o diâmetro das raízes do j.roxo na concentração 0,002 mg.L<sup>-1</sup>, da aroeira na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> e da c.carnaval na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>; aumenta o diâmetro de pêlos do ipê-amarelo na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> e reduz o comprimento dos pêlos de leucena na concentração 0,002 mg.L<sup>-1</sup>. O aumento da concentração de P reduziu o comprimento dos pêlos das plantas Ni de leucena, e o diâmetro de pêlos radiculares das plantas Ni de c.carnaval; e aumentou a densidade de pêlos radiculares das plantas Ma de leucena e o diâmetro de raízes das plantas Ma de c.carnaval.

Estes efeitos, embora tenham ocorrido em poucas espécies, e sejam em alguns casos contraditórios entre si, apresentam uma tendência geral de que a inoculação ou o aumento de fósforo disponível no solo reduzam o comprimento de pêlos radiculares e aumentem o diâmetro das raízes. Isto pode indicar que o aumento de pêlos radiculares e a redução do diâmetro das raízes sejam mecanismos utilizados por algumas plantas para aumentar a eficiência de absorção em condições de ausência de micorrizas ou de baixo P disponível, conforme considerado por Föhse e Jungk (1983). Estes autores verificaram reduções no número e comprimento de pêlos radiculares de tomate, espinafre e nabo com a melhoria da nutrição de P e N. Modificações morfológicas nas raízes devido à micorrização são também conhecidas (Fitter, 1985). Com a micorrização, Berta et al. (1990) verificaram reduções no comprimento médio das raízes, enquanto que Price, Roncadori e Hussey (1989) e

TABELA 7. Resumo das ANAVAs de comprimento, diâmetro e densidade de pêlos radiculares e de diâmetro de raízes secundárias

Espécie	Comprimento de pêlos			Diâmetro de pêlos			Densidade máx.de pêlos			Diâmetro de raízes		
	I	P	I x P(1)	I	P	I x P	I	P	I x P	I	P	I x P
Pau-pereira	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tento	...(2)	...	...	...	...	...	...	...	...	ns	ns	ns
Sibipiruna	...	...	...	...	...	...	...	...	...	ns	ns	ns
J.branco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
J.Roxo	...	...	...	...	...	...	...	...	...	*	ns	*
Ó.bálsamo	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Jatobá	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Maria-mole	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Paineira	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ipê-branco	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Gravitinga	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Arocira	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
Trema	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns
A.cavalo	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
C.carnaval	ns	*	ns	ns	ns	*	*	**	ns	*	*	*
Capixingui	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quaresmeira	...	...	...(3)	...	...	—	...	...	—	ns	ns	—
Embaúba	ns	ns	—	ns	ns	—	ns	ns	—	ns	ns	—
Louro	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Leucena	*	*	*	ns	**	ns	*	**	*	ns	ns	ns
Fedegoso	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
Cedro	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*
Pau-ferro	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Pororoca	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns
Ipê-roxo	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Saboneteira	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ipê-amarelo	ns	*	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Guatambu	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Ó.copaíba	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns

ns = não significativo ( $p \geq 10\%$ ). \* =  $1 \leq p \leq 9\%$ . \*\*:  $p < 1\%$ , onde p é a probabilidade de erro de rejeitar a hipótese  $H_0$  pelo teste F.

(1): I= efeito de inoculação; P= efeito de concentração de fósforo na solução do solo; IxP= efeito da interação dos fatores

(2): Dificuldade de obter a análise de variância devido as variáveis terem sido observadas em poucas repetições.

(3): Na análise de variância não se avaliou o efeito IxP devido à morte de plantas em alguns tratamentos.

TABELA 8. Comprimento, diâmetro e densidade de pêlos radiculares e diâmetro de raízes secundárias de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002, 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécies	Comprimento de pêlos															Diâmetro de pêlos															Densidade de pêlos															Diâmetro de raízes																													
	Ni					Ma					0,002					0,02					0,2					Ni					Ma					0,002					0,02					0,2					Ni					Ma					0,002					0,02					0,2				
	μm					μm					μm					μm					n° por nun de raiz					μm					μm					μm					μm					μm					μm																								
Pau-pereira	38 A	42 A	38 a	41 a	40 a	19 A	18 A	18 a	17 a	21 a	5 A	10 A	8 a	5 a	8 a	680 A	687 A	691 a	683 a	676 a																																																							
Tento	(1)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	590 A	613 A	646 a	549 a	610 a																																																							
Sibipiruna	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	366 A	368 A	363 a	376 a	362 a																																																							
J. branco	24 A	19 A	24 a	19 a	22 a	14 A	15 A	16 a	13 a	14 a	8 A	7 A	6 a	7 a	9 a	545 A	522 A	512 a	569 a	520 a																																																							
J. roxo	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(2)	...	Ma	380 a A	347 a A	347 a A	347 a A	347 a A																																																				
Jatobá	59 A	68 A	74 a	51 a	63 a	15 A	15 A	15 a	16 a	15 a	24 A	29 A	30 a	26 a	22 a	347 A	363 A	347 a	340 a	373 a																																																							
Maria-mole	100 A	94 A	104 a	92 a	93 a	14 A	15 A	15 a	15 a	13 a	27 A	29 A	23 a	26 a	37 a	427 A	401 A	415 a	372 a	446 a																																																							
Paineira	99 A	115 A	90 a	123 a	109 a	8 A	7 A	8 a	8 a	8 a	126 A	155 A	139 a	141 a	140 a	458 A	438 A	424 a	394 a	527 a																																																							
Aroeira	141 A	86 B	128 a	107 a	102 a	6 A	6 A	6 a	6 a	7 a	133 A	114 A	104 a	127 a	138 a	...	...	Ma	313 a A	339 a A	284 a A	284 a A																																																					
Trema	143 A	147 A	140 a	149 a	144 a	9 A	9 A	9 a	9 a	10 a	123 A	108 A	137 a	115 a	102 a	218 A	276 A	197 a	215 a	308 a																																																							
A. cavalo	118 A	129 A	116 a	114 a	137 a	8 A	9 A	9 a	8 a	9 a	127 A	149 A	138 a	150 a	121 a	229 A	336 A	270 a	247 a	308 a																																																							
C. carnaval	179 A	171 A	145 a	161 a	218 a	...	...	Ma	14 a A	13 a A	16 a A	35 A	46 A	23 b	35 ab	70 a	...	...	Ma	296 b A	436 ab A	669 a A	669 a A																																																				
Capixingui	89 A	77 A	75 a	79 a	96 a	14 A	13 A	14 a	14 a	13 a	17 A	16 A	13 a	20 a	16 a	627 A	660 A	654 a	628 a	649 a																																																							
Quaresmeira(3)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	411 A	460 A	378 a	549 a	460 a																																																							
Embaúba(3)	142 A	120 A	119 a	112 a	120 a	8 A	8 A	8 a	8 a	8 a	93 A	62 A	59 a	59 a	62 a	233 A	298 A	249 a	276 a	298 a																																																							
Louro	91 A	82 A	140 a	37 a	83 a	11 B	16 A	12 a	12 a	16 a	10 A	20 A	17 a	9 a	20 a	473 A	525 A	530 a	451 a	514 a																																																							
Leucena	...	...	Ma	121 a B	138 a A	127 a A	15 A	15 A	18 a	13 a	14 a	...	...	Ma	9 b A	42 a A	42 a A																																																										
Fedegoso	58 A	66 A	62 a	68 a	54 a	...	...	Ma	16 a A	18 a A	17 a A	...	...	Ma	18 a A	22 a A	23 a A																																																										
Cedro	90 A	57 B	79 a	81 a	75 a	7 A	7 A	7 a	7 a	7 a	64 A	49 A	51 a	80 a	47 a	391 A	381 A	357 a	387 a	417 a																																																							
Pau-ferro	43 A	43 A	...	39 a	47 a	14 A	10 A	...	12 a	11 a	19 A	9 A	...	10 a	15 a	377 A	297 B	348 a	325 a	337 a																																																							
Pororoca	78 A	94 A	70 a	90 a	99 a	7 A	7 A	7 a	7 a	8 a	51 A	64 A	55 a	56 a	61 a	325 A	392 A	294 a	322 a	464 a																																																							
Saboneteira	72 A	86 A	57 a	89 a	86 a	10 A	10 A	9 a	11 a	10 a	57 A	47 A	48 a	52 a	58 a	286 A	274 A	272 a	269 a	302 a																																																							
Ipê-amarelo	166 A	161 A	151 a	186 a	153 a	...	...	Ma	7 a A	8 a A	8 a A	154 A	150 A	146 a	162 a	148 a	440 A	480 A	441 a	449 a	488 a																																																						
Guatambu	108 A	129 A	131 a	112 a	112 a	...	...	Ma	7 a A	6 a B	7 a A	...	...	...	...	...	600 A	620 A	625 a	605 a	598 a																																																						
Ó.copaiba	76 A	68 A	74 a	64 a	78 a	...	...	Ma	8 a A	9 a A	8 a A	...	...	...	...	...	437 A	501 A	426 a	443 a	541 a																																																						
						...	...	Ni	9 a A	8 a A	9 a A																																																																
						...	...	Ni	13 a A	16 a A	18 a A	30 A	28 A	36 a	25 a	26 a																																																											
						...	...	Ni	18 a x	19 a x	15 a x																																																																

(1) ...= Não realizada a análise de variância

(2) ...= Efeito significativo da interação entre os fatores. Médias desdobradas são apresentadas na seqüência.

(3) Comparação de inoculação apenas dentro de 0,2 mg/L, e de concentração de P na solução do solo dentro de Ma, devido à morte das plantas Ni nas concentrações 0,002 e 0,02. Dentro de cada espécie, letras iguais indicam diferença não significativa por Tukey 1%. Maiúsculas comparam inoculação e minúsculas concentração de P na solução do solo.

Hetrick, Wilson e Leslie (1991) verificaram reduções no comprimento específico de raízes, o que concorda com os presentes resultados.

Valores médios das características morfológicas são apresentados na figura 11. O comprimento dos pêlos radiculares variou de 21  $\mu\text{m}$  no j.brancos até 265  $\mu\text{m}$  na gravitinga (Figura 11a). O diâmetro médio dos pêlos radiculares variou de 6  $\mu\text{m}$  na aroeira até 28  $\mu\text{m}$  no ó.bálsamo (Figura 11b). A densidade máxima de pêlos radiculares variou de 5 pêlos. $\text{mm}^{-1}$  de raiz no ó.bálsamo até 152 pêlos. $\text{mm}^{-1}$  de raiz no ipê-amarelo (Figura 11c). O diâmetro médio das raízes variou de 247  $\mu\text{m}$  na trema até 683  $\mu\text{m}$  no pau-pereira (Figura 11d). Portanto, entre as espécies estudadas, não se verifica sistema radicular do padrão graminóide, que como definido por Baylis (1975), deve possuir o diâmetro médio das raízes menor que 100  $\mu\text{m}$  e apresentar densa cobertura de pêlos radiculares com 1000 a 2000  $\mu\text{m}$  de comprimento. Desta maneira, os resultados do presente estudo concordam com os de St. John (1980a), que também não encontrou sistema radicular do tipo graminóide nas espécies da Amazônia, e os de Herrera (1988) em espécies de floresta tropical em Cuba, sendo, portanto, raras as raízes graminóides nas espécies arbóreas tropicais, tendo, a maioria destas, sistema radicular do tipo intermediário.

No presente estudo, apenas as raízes de pau-pereira, capixingui, guatambu e tento podem ser consideradas magnolióides (Baylis, 1975), pois possuem diâmetro de raízes maior que 600  $\mu\text{m}$  e comprimento de pêlos variando entre 40 e 119  $\mu\text{m}$ , portanto próximos à definição de diâmetro médio de raízes maior que 560  $\mu\text{m}$  e comprimento de pêlos radiculares menor que 100  $\mu\text{m}$ . Entretanto, o diâmetro de pêlos radiculares nestas espécies variou de 8 a 21  $\mu\text{m}$ , uma faixa mais ampla que a considerada por Baylis (15 - 20  $\mu\text{m}$ ) para raízes magnolióides. O fato de que nenhuma das espécies estudadas pertence à ordem Magnoliales ou mesmo à subclasse Magnoliidae (Tabela 3) contribuiu para a baixa ocorrência de raízes magnolióides dentre as espécies estudadas.

As amplitudes de variação das medidas de diâmetro de raízes (247 - 683  $\mu\text{m}$ ) e comprimento de pêlos radiculares (21 - 265  $\mu\text{m}$ ), obtidas no presente estudo, estão próximas das obtidas por St. John (1980a), 80 - 553  $\mu\text{m}$  e 97 - 368  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Deve-se salientar que este autor incluiu, também, espécies herbáceas em seu estudo. Exceto trema, embaúba, a.cavalo, saboneteira e aroeira, o diâmetro de raízes das demais espécies situa-se acima do limite de 300  $\mu\text{m}$ . Segundo Peat e Fitter (1993), as espécies que nunca, rara ou ocasionalmente formam micorrizas possuem diâmetros de raízes menores que este limite.

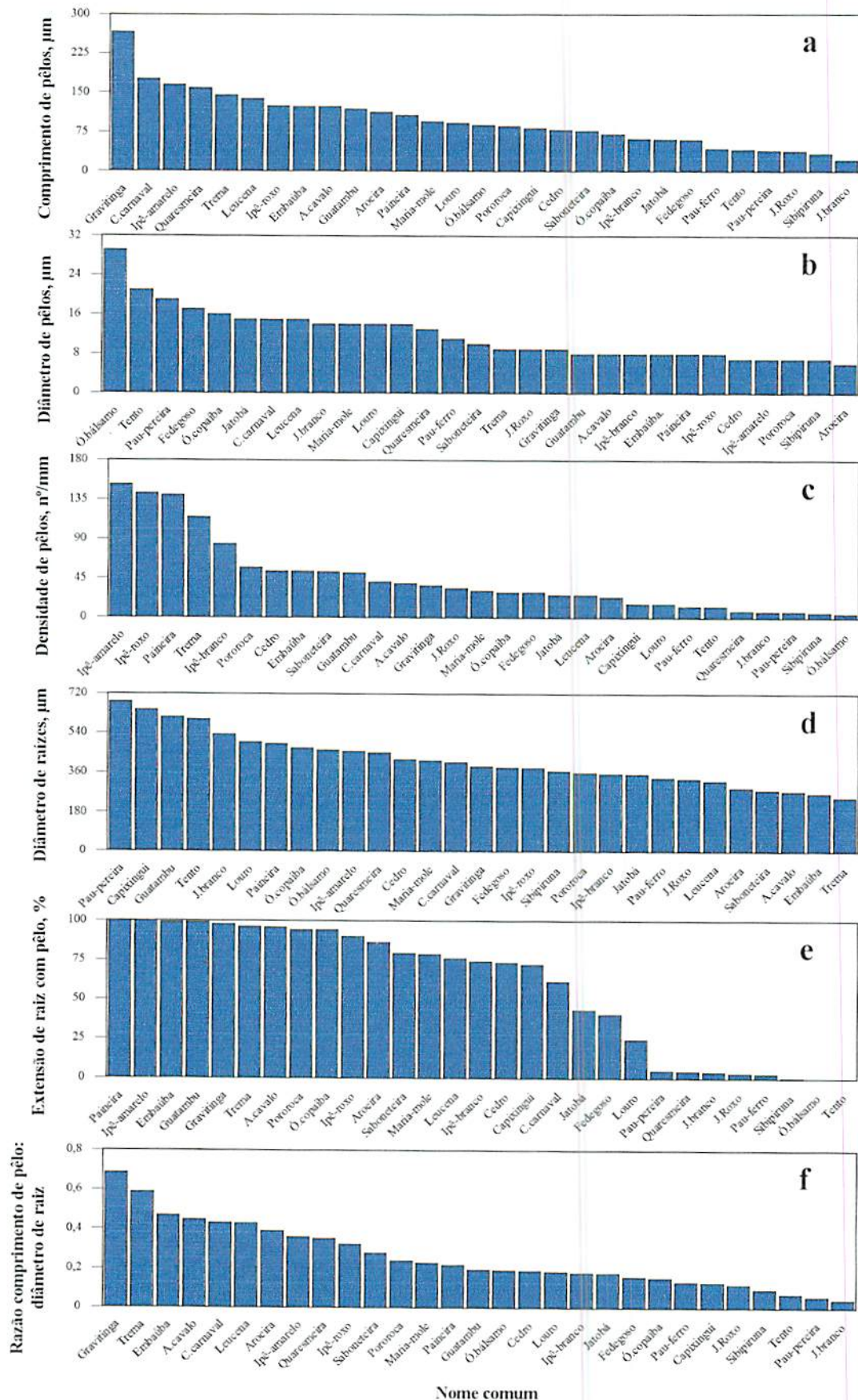


FIGURA 11. Valores médios de características morfológicas das raízes secundárias de mudas de espécies arbóreas.

Entretanto, entre as espécies que estão acima deste limite, estão as espécies N, que não colonizaram ou que se apresentaram pouco colonizadas, contradizendo a afirmação destes autores.

A maior parte das espécies possui mais de 75% do comprimento de suas raízes com pêlos radiculares (Figura 11e). Apenas c.carnaval, jatobá, fedegoso e louro apresentaram incidências intermediárias de pêlos, sendo 61, 43, 41 e 25% do comprimento das raízes com pêlo, respectivamente. Pau-pereira, quaresmeira, j.branco, j.roxo, pau-ferro, sibipiruna, ó.bálsamo e tento apresentaram menos de 5% do comprimento de suas raízes com presença de pêlos. Entre as espécies com sistema radicular do tipo magnolióide, o pau-pereira e o tento apresentaram baixa extensão das raízes com pêlos, tal como caracterizado para este tipo de raiz por Baylis (1975), porém, o guatambu e o capixingui apresentaram mais de 75% do comprimento de suas raízes cobertos com pêlos.

Entre as características morfológicas do sistema radicular avaliadas, apenas o comprimento de pêlos apresentou correlações significativas com a resposta ao P para produção de massa da parte aérea seca (Figura 7), porém, apresentando baixos coeficientes de correlação, de apenas 0,59 ( $P < 0,01$ ) e 0,46 ( $P = 0,01$ ) para plantas Ma e plantas Ni, respectivamente. Assim, várias razões entre as características morfológicas do sistema radicular foram testadas. A que melhor se relacionou com a resposta ao P foi a razão comprimento de pêlos radiculares:diâmetro de raízes (cp:dr), que encontra-se na figura 11f. Esta razão correlacionou-se com a resposta ao P das plantas Ma ( $r = 0,73$ ;  $P < 0,01$ ) e das plantas Ni ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ). O aumento da razão cp:dr expressa incremento da superfície de absorção, pois maiores pêlos radiculares ou raízes mais finas aumentam a superfície radicular (Itoh e Barber, 1983). De fato, quando se considera os pêlos radiculares na estimativa de superfície de absorção, obtém-se melhores estimativas do influxo de P (Föhse, Claassen e Jungk, 1991). Portanto, o aumento da razão cp:dr representa, também, melhor eficiência morfológica para a absorção de P. Assim, as relações positivas entre esta e a resposta ao P de plantas Ma e Ni, indicam que plantas que apresentam maior razão cp:dr são mais eficientes em absorver esse nutriente do solo, tanto na presença quanto na ausência de micorrizas, representando uma estratégia de aquisição deste nutriente. Respostas diferenciadas ao P, de acordo com a micorrização, ocorreram apenas em espécies com menor razão cp:dr.

Há também correlações positivas entre a resposta à inoculação na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 8) com o comprimento de pêlos ( $r = 0,61$ ;  $P < 0,01$ ) e a razão cp:dr ( $r =$

0,66;  $P < 0,01$ ). Porém, isto contraria a hipótese de Baylis (1975) de que espécies com sistema radicular mais fino e com maiores pêlos são menos responsivas à micorrização. Estas relações observadas também são opostas às relações inversas entre o comprimento de pêlos e o benefício da micorrização, verificadas por Baon, Smith e Alston (1994), em centeio, e por Schweiger, Robson e Barrow (1995), em espécies forrageiras de clima temperado, que concordam com a hipótese de Baylis (1975). Entretanto, corroboram as observações de Saif (1987) de que entre espécies forrageiras tropicais, as gramíneas, que possuem longos pêlos radiculares, dependem mais de micorrizas que as leguminosas, que possuem pêlos radiculares mais curtos. Portanto, verifica-se a existência de resultados conflitantes, os quais indicam que a morfologia radicular não afeta a resposta à micorrização igualmente em todas as espécies vegetais, como sugerido e discutido por Baon, Smith e Alston (1994). Em espécies arbóreas, além da morfologia das raízes e da disponibilidade de fósforo no solo, a reserva das sementes pode influenciar na resposta à micorrização (Jasper e Davy, 1993). Esta relação será discutida mais adiante. O comprimento de pêlos radiculares também correlaciona-se positivamente com a colonização micorrízica por vesículas na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ) e com a colonização micorrízica por arbúsculos ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ) e total ( $r = 0,59$ ;  $P < 0,01$ ) na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . Isto também contraria a hipótese de Baylis (1975), pois entre as espécies estudadas, aquelas com pêlos radiculares mais longos tenderam a apresentar maior colonização micorrízica. Porém, concorda com a hipótese de Peterson e Faquhar (1996) de que espécies com menos e menores pêlos radiculares tornam-se menos colonizadas devido à desvantagem no provimento de metabólitos que atraem o fungo e iniciam a manifestação da colonização.

As espécies florestais estudadas aqui diferem das espécies de pradaria temperada estudadas por Reinhardt e Miller (1990), que concordam com a hipótese de Baylis (1975), isto é, apresentam redução da colonização com a redução do diâmetro das raízes. É possível que a seleção natural tenha imposto comportamentos contrários entre as espécies de pradaria temperada e as de floresta tropical quanto a estratégias adaptativas ao ecossistema. Nas pradarias, onde predominam solos de alta fertilidade, as espécies apresentam relação inversa entre o aumento de superfície radicular e a colonização por FMAs, já que num solo fértil, a ampliação da área de absorção pode melhorar a nutrição, diminuindo a dependência das plantas aos FMAs. Nas florestas tropicais, onde predominam solos de baixa fertilidade, as espécies apresentam relação direta entre o aumento de superfície radicular e o aumento da

colonização micorrízica. Portanto, aparentemente, estas são estratégias adaptativas que se complementam, num ecossistema de solos pouco férteis.

Ferrer e Herrera (1988), reavaliando a hipótese de Baylis (1975) nas espécies de floresta tropical de Cuba, não encontraram correlações entre a colonização micorrízica e a presença de pêlos radiculares. Os autores atribuem este resultado à alta proporção de espécies vegetais na floresta tropical pertencentes ao grupo de raízes do tipo intermediário, proposto por Baylis (1975). Esta é, também, uma das diferenças básicas entre as espécies de floresta tropical e as de pradarias. Nas pradarias, predominam espécies com raízes do tipo graminóide (Hetrick, Kitt e Wilson, 1988; Reinhardt e Miller, 1990; Hetrick, Wilson e Todd, 1990) e nas florestas tropicais, este tipo de raiz está praticamente ausente (Janos, 1980a; Herrera, 1988). Mesmo nas pradarias, aspectos como grossura e ramificação de raízes de dicotiledôneas não são bons indicadores de dependência micorrízica, como são os de raízes das gramíneas (Hetrick, Kitt e Wilson, 1988) e, embora confirmem a hipótese de Baylis (1975), as diferenças na dependência micorrízica, devido à morfologia radicular, são bem mais sutis do que sugerido por este autor (Hetrick, Wilson e Todd, 1992).

#### 4.4 Teores e quantidades de fósforo na parte aérea

O resumo das ANAVAs para teores e quantidades acumuladas de fósforo na parte aérea e para eficiência de absorção de P das plantas encontra-se na tabela 9. Várias espécies apresentaram crescimento pequeno nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> de P, principalmente no tratamento Ni, impedindo a análise de nutrientes por insuficiência de material. Neste caso, a análise de variância não pode ser avaliada em esquema fatorial, sendo analisada como DIC simples. Observa-se, entre as espécies que foram analisadas em esquema fatorial, que pau-pereira, tento, sibipiruna e ipê-branco não apresentaram interação IxP em nenhuma destas variáveis. Verifica-se efeito semelhante no teor de P para j.roxo, fedegoso, cedro e guatambu, na quantidade acumulada de P para j.branco, j.roxo e ó.bálsamo e na eficiência de absorção de P para c.carnaval e guatambu. Dentre estas espécies sem interação IxP, a inoculação não influenciou os teores e quantidades de P na parte aérea e nem a eficiência de absorção em pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá e ipê-branco, confirmando para estas, o caráter não responsivo à inoculação (espécies N). O guatambu, também, não apresentou significância da inoculação para o teor de P e eficiência de

TABELA 9. Resumo das ANAVAs de teor e quantidade acumulada de P na parte aérea e eficiência de absorção de P

Espécie	Teor de P			(1)	P acumulado			Eficiência de absorção		
	I	P	IxP		I	P	IxP	I	P	IxP
Pau-pereira	ns	ns	ns		ns	**	ns	ns	ns	ns
Tento	*	**	ns		ns	**	ns	ns	**	ns
Sibipiruna	ns	**	ns		ns	**	ns	ns	**	ns
J.branco	ns	**	*		ns	**	ns	ns	**	*
J.roxo	ns	**	ns		ns	**	ns	ns	**	*
Ó.bálsamo	ns	ns	*		ns	ns	ns	ns	ns	*
Jatobá	ns	ns	*		ns	*	*	ns	ns	*
Paineira	**	**	**		**	**	**	**	**	**
Ipê-branco	ns	**	ns		ns	**	ns	ns	*	ns
C.carnaval	**	**	*		**	**	**	**	**	ns
Capixingui	**	**	**		**	**	**	**	**	**
Leucena	**	**	**		**	**	**	**	**	**
Fedegoso	**	**	ns		**	**	**	**	**	**
Cedro	**	*	ns		**	**	**	**	**	*
Pau-ferro	*	ns	*		**	**	**	**	**	*
Ipê-roxo	**	**	**		**	**	**	*	**	**
Saboneteira	**	**	**		**	**	**	**	**	**
Ipê-amarelo	**	**	**		**	**	**	**	**	**
Guatambu	ns	ns	ns		**	ns	*	ns	ns	ns
Ó.copaiba	**	**	**		**	**	*	**	**	**

	Tratamentos(2)	Tratamentos	Tratamentos
Maria-mole	ns	ns	**
Gravitinga	**	**	**
Aroeira	**	**	*
Trema	**	**	**
A.cavalo	**	**	**
Quaresmeira	**	**	**
Embaúba	ns	**	ns
Louro	**	**	**
Pororoca	**	**	**

ns = não significativo ( $p \geq 10\%$ ). \* =  $1 \leq p \leq 9\%$ . \*\*:  $p < 1\%$ , onde p é a probabilidade de erro de rejeitar a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) pelo teste F.

(1): I= efeito de inoculação; P= efeito de concentração de fósforo na solução do solo; IxP= efeito da interação dos fatores

(2): Tratamentos que tiveram ANAVAs realizadas em DIC simples.

TABELA 10. Teor e quantidade acumulada de P na parte aérea e eficiência de absorção de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrizico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie		Teor de P			Quantidade acumulada de P			Eficiência de absorção de P				
		g/kg			mg/planta			mg de P acumulado/g de raiz				
		0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2		
Pau-pereira	EP(1)	0,45 a	0,50 a	0,52 a	EP	0,34 b	0,43 ab	0,74 a	EP	0,44 a	0,38 a	0,32 a
Tento	EP	0,43 b	0,45 b	0,80 a	EP	0,58 b	0,54 b	1,01 a	EP	1,07 b	1,09 b	3,25 a
Sibipiruna	EP	0,80 b	0,78 b	1,45 a	EP	0,70 b	0,67 b	2,23 a	EP	0,91 b	0,86 b	2,55 a
J.branco	Ma	0,69 a	0,81 a	0,95 a	EP	0,27 b	0,29 b	0,92 a	Ma	0,93 a	0,88 a	1,09 a
	Ni	0,76 ab	0,53 b	0,90 a					Ni	0,89 ab	0,58 b	1,36 a
J.roxo	EP	0,58 ab	0,51 b	0,87 a	EP	0,08 b	0,09 b	0,70 a	Ma	0,51 b	0,55 ab	1,11 a
									Ni	0,37 b	0,31 b	1,48 a
Ó.balsamo	Ma	0,90 a	1,06 a	0,85 a	EP	0,30 a	0,42 a	0,43 a	Ma	1,36 a	1,94 a	1,58 a
	Ni	0,84 a	0,86 a	1,03 a					Ni	1,24 a	1,29 a	2,24 a
Jatobá	Ma	0,99 a	1,08 a	1,44 a	Ma	2,38 a	2,80 a	3,09 a	Ma	1,63 a	1,58 a	2,12 a
	Ni	1,19 a	1,63 a	1,07 a	Ni	2,41 b	4,53 a	2,32 b	Ni	1,35 a	2,36 a	1,14 a
Paineira	Ma	0,91 c	1,25 b	1,84 a	Ma	1,32 c	2,04 b	2,91 a	Ma	2,99 b	4,33 b	7,26 a
	Ni	0,89 b	0,93 b	1,27 a	Ni	1,47 b	1,40 b	2,27 a	Ni	3,05 a	3,22 a	4,29 a
Ipê-branco	EP	0,59 a	0,55 a	0,95 a	EP	0,05 b	0,05 b	0,46 a	EP	1,21 a	0,98 a	1,74 a
C.camaval	Ma	0,94 b	1,12 b	1,54 a	Ma	0,11 c	1,54 b	4,80 a	EP	1,19 b	1,13 b	2,25 a
	Ni	0,83 ab	0,60 b	0,98 a	Ni	0,05 b	0,04 b	2,15 a				
Capixinguí	Ma	0,83 b	1,01 b	1,73 a	Ma	0,22 c	1,49 b	4,32 a	Ma	0,48 c	0,86 b	1,62 a
	Ni	0,63 b	0,56 b	1,00 a	Ni	0,07 b	0,07 b	1,95 a	Ni	0,32 b	0,29 b	0,70 a
Leucena	Ma	0,47 c	0,72 b	1,66 a	Ma	0,30 c	1,19 b	4,13 a	Ma	0,47 b	0,47 b	0,99 a
	Ni	0,35 ab	0,15 b	0,54 a	Ni	0,04 b	0,02 b	0,87 a	Ni	0,17 b	0,07 b	0,34 a
Fedegoso	EP	0,53 a	0,63 a	0,92 a	Ma	0,08 b	0,42 b	3,80 a	Ma	0,54 b	0,93 b	3,11 a
					Ni	0,04 b	0,04 a	1,25 a	Ni	0,47 a	0,48 a	1,37 a
Cedro	EP	0,69 a	0,94 a	1,15 a	Ma	0,33 c	2,91 b	4,64 a	Ma	2,07 b	3,90 a	5,53 a
					Ni	0,08 a	0,06 a	0,75 a	Ni	0,81 a	0,63 a	1,69 a
Pau-ferro	Ma	0,96 a	0,84 a	1,07 a	Ma	0,24 c	1,13 b	4,18 a	Ma	1,04 b	1,61 ab	2,09 a
	Ni	0,93 a	0,85 a	0,72 a	Ni	0,24 b	0,27 b	1,86 a	Ni	0,84 a	0,79 a	1,34 a
Ipê-roxo	Ma	0,57 c	1,39 b	2,14 a	Ma	0,19 c	0,78 b	1,96 a	Ma	0,39 b	1,26 b	2,25 a
	Ni	0,88 a	0,74 a	0,77 a	Ni	0,24 a	0,18 a	0,33 a	Ni	1,22 a	0,64 a	0,54 a
Saboneteira	Ma	0,74 c	1,37 b	1,81 a	Ma	0,91 c	2,36 b	3,56 a	Ma	1,07 c	2,58 b	3,51 a
	Ni	0,70 a	0,67 a	0,88 a	Ni	0,75 a	0,72 a	1,35 a	Ni	1,03 a	0,88 a	1,41 a
Ipê-amarelo	Ma	0,68 c	1,06 b	1,53 a	Ma	0,42 c	2,48 b	4,70 a	Ma	0,59 b	1,54 b	3,13 a
	Ni	0,57 a	0,57 a	0,69 a	Ni	0,15 a	0,14 a	0,42 a	Ni	0,26 a	0,27 a	0,72 a
Guatambu	EP	0,66 a	0,58 a	0,61 a	Ma	0,33 a	0,65 a	0,38 a	EP	0,60 a	0,65 a	0,52 a
					Ni	0,27 a	0,20 a	0,20 a				
Ó.copaiba	Ma	0,55 c	0,89 b	1,43 a	Ma	0,54 c	1,99 b	3,34 a	Ma	0,36 b	0,96 a	1,30 a
	Ni	0,41 a	0,41 a	0,51 a	Ni	0,40 a	0,47 a	0,69 a	Ni	0,23 a	0,24 a	0,41 a
Maria-mole	Ma	...	0,76 a	0,98 a	Ma	...	0,16 a	0,16 a	Ma	...	0,72 b	1,44 a
	Ni	...	...	1,08 a	Ni	...	...	0,15 a	Ni	...	...	1,59 a
Gravitinga	Ma	...	2,20 b	3,04 a	Ma	...	1,88 b	6,35 a	Ma	...	2,25 b	3,70 a
	Ni	...	...	3,34 a	Ni	...	...	6,61 a	Ni	...	...	4,29 a
Aroeira	Ma	1,20 a	1,71 a	2,08 a	Ma	0,05 b	0,55 b	3,04 a	Ma	3,96 a	5,34 a	7,15 a
	Ni	...	...	1,02 b	Ni	...	...	1,51 b	Ni	...	...	3,14 b
Trema	Ma	...	2,66 b	4,78 a	Ma	...	3,21 b	16,47 a	Ma	...	7,46 a	13,62 a
	Ni	...	...	5,04 a	Ni	...	...	16,51 a	Ni	...	...	16,57 a
A.cavalo	Ma	1,23 a	1,59 a	2,02 a	Ma	0,18 c	1,50 b	5,80 a	Ma	3,26 b	3,92 b	7,06 a
	Ni	...	...	1,50 a	Ni	...	...	3,26 b	Ni	...	...	4,33 a
Quaresmeira	Ma	0,30 c	0,74 b	1,85 a	Ma	0,10 c	1,13 b	3,33 a	Ma	0,42 c	1,74 b	4,69 a
	Ni	...	...	1,20 b	Ni	...	...	1,38 b	Ni	...	...	1,61 b
Embaúba	Ma	...	...	2,14 a	Ma	...	...	8,25 a	Ma	...	...	3,56 a
	Ni	...	...	2,08 a	Ni	...	...	5,17 b	Ni	...	...	3,36 a
Louro	Ma	1,21 b	1,27 b	2,26 a	Ma	0,15 c	1,12 b	3,78 a	Ma	1,54 a	1,42 a	1,87 a
	Ni	...	...	1,19 b	Ni	...	...	1,31 b	Ni	...	...	0,94 b
Pororoca	Ma	0,03 b	0,09 ab	0,12 a	Ma	0,01 b	0,11 a	0,17 a	Ma	0,05 b	0,13 ab	0,17 a
	Ni	...	...	0,05 b	Ni	...	...	0,02 b	Ni	...	...	0,06 b

(1): EP= Efeito de concentração de P na SS, quando a interação não foi significativa

(2): ... = Não determinado por insuficiência de material vegetal para análise química.

Dentro de cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.

Exceções a este comportamento foram verificadas em tento, sibipiruna, j.roxo, ó.balsamo e guatambu, cuja plantas Ni não diferiram das Ma ou apresentaram maior incremento, indicando pouca resposta destas espécies à micorrização para a nutrição fosfática. Devido à insuficiência de material para análise de teor de P, a variação no teor deste nutriente não foi calculada para embaúba, gravitinga, maria-mole e trema, e para quaresmeira, pororoca, louro, aroeira e a.cavalo, foi calculada apenas nas plantas Ma. A variação no teor de P nos tecidos das plantas Ma correlaciona-se com a resposta à inoculação (Figura 8) na concentração 0,002 ( $r = 0,75$ ;  $P < 0,01$ ) e 0,02  $\text{mg.L}^{-1}$  ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ), porém, não correlaciona-se na concentração 0,2  $\text{mg.L}^{-1}$  ( $r = 0,35$ ;  $P = 0,08$ ). Como a resposta à micorrização é resultante do benefício nutricional, como amplamente documentado (Gerdemann, 1968; Mosse, 1973; Siqueira e Colozzi-Filho, 1986; Bolan, 1991; Saccin Júnior e Siqueira, 1995).

A elevação do P na SS aumentou os teores e quantidades acumuladas de P na parte aérea e a eficiência de absorção deste nutriente na maioria das espécies, exceto em ó.bálsamo, guatambu e em outras espécies, como o pau-pereira, jatobá e ipê-branco, as quais não apresentaram efeitos do aumento das concentrações de fósforo nos teores de P na parte aérea e na eficiência de absorção, porém apresentaram aumento na quantidade acumulada de P na parte aérea. Fedegoso, cedro e pau-ferro não apresentaram este efeito apenas nos teores de P na parte aérea. Em ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo e ó.copaíba, o efeito do aumento da concentração de P na SS em incrementar os teores, quantidades acumuladas e eficiência de absorção de fósforo foi observado apenas em plantas micorrizadas. Isto indica a importância das MAs para a absorção de P, nestas espécies, processo este que não conseguem incrementar apenas com o aumento da disponibilidade deste nutriente no solo. Este efeito também foi observado em fedegoso, cedro e pau-ferro, na eficiência de absorção, e no cedro na quantidade acumulada de P na parte aérea. Entretanto, no j.branco, verificou-se efeito inverso, sendo que o incremento no teor e na eficiência de absorção de P, devido ao aumento da disponibilidade deste nutriente, ocorreu apenas nas plantas Ni.

As variações nos teores de P na parte aérea devido ao aumento na concentração deste nutriente na SS de 0,002 para 0,2 mg.L<sup>-1</sup> são apresentadas na figura 12. O incremento no teor de P foi muito superior nas plantas Ma em relação às Ni, atingindo valores de até 500%. Exceções a este comportamento foram verificadas em tento, sibipiruna, j.roxo, ó.bálsamo e guatambu, cuja plantas Ni não diferiram das Ma ou apresentaram maior incremento, indicando pouca resposta destas espécies à micorrização para a nutrição fosfática. Devido à insuficiência de material para análise de teor de P, a variação no teor deste nutriente não foi calculada para embaúba, gravitinga, maria-mole e trema, e para quaresmeira, pororoca, louro, aroeira e a.cavalo, foi calculada apenas nas plantas Ma. A variação no teor de P nos tecidos das plantas Ma correlaciona-se com a resposta à inoculação (Figura 8) na concentração 0,002 ( $r = 0,75$ ;  $P < 0,01$ ) e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ), porém, não correlaciona-se na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> ( $r = 0,35$ ;  $P = 0,08$ ). Como a resposta à micorrização é resultante do benefício nutricional, como amplamente documentado (Gerdemann, 1968; Mosse, 1973; Siqueira e Colozzi-Filho, 1986; Bolan, 1991; Saggin Júnior e Siqueira, 1995), verifica-se maior importância das MAs em promover o crescimento e nutrição das espécies nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> e confirma que os efeitos no crescimento são nutricionais.

As variações nos teores de P nos tecidos devido à inoculação encontram-se na figura 13. Verifica-se que o efeito da inoculação foi maior nas concentrações 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS na maioria das espécies. Na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, leucena, ó.copaíba, ipê-roxo, pororoca, ipê-amarelo, saboneteira, aroeira, cedro, louro, capixingui, fedegoso, c.carnaval, quaresmeira, pau-ferro, paineira, jatobá e a.cavalo apresentaram maior incremento no teor de P devido à inoculação (média = 97%), enquanto que nas espécies pau-pereira, guatambu, ipê-branco, j.brancos, sibipiruna, embaúba, trema, tento, gravitinga, maria-mole, ó.bálsamo e j.roxo, esta variação foi grandemente reduzida (média = -2%). Isto se deve a estas espécies serem não responsivas à micorrização (espécies N) ou serem espécies que não respondem à micorrização com alta disponibilidade de P no solo. Em pororoca, aroeira, louro, quaresmeira, a.cavalo, embaúba, trema, gravitinga e maria-mole, esta variação não foi calculada nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> devido à insuficiência de material para análise do teor de P. Devido a isto, estas espécies não foram incluídas nas análises de correlação entre a variação no teor de P devido à inoculação e a resposta à inoculação em crescimento (Figura 8), nestas concentrações de P na SS. Isto ocasionou o abaixamento dos coeficientes de correlação entre estas variáveis ( $r = 0,50$ ;  $P = 0,02$ , em ambas as concentrações de P na SS), pois estas espécies foram muito responsivas à inoculação nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS (Figura 8). O incremento devido à inoculação na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> se correlaciona com a razão cp:dr ( $r = 0,63$ ;  $P < 0,01$ ). Isto, novamente, confirma que, entre as espécies estudadas, a micotrofia e o aumento da superfície de absorção podem ser estratégias nutricionais utilizadas simultaneamente, em condições de médio e baixo P disponível, contrariando a hipótese de Baylis (1975).

Os teores médios de P na parte aérea na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS para as diferentes espécies encontram-se na figura 14. Verifica-se que as espécies que apresentaram maiores teores de fósforo na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> (trema, gravitinga, louro, embaúba, aroeira, a.cavalo e quaresmeira) apresentaram crescimento reduzido nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> na ausência de micorrizas e, assim, nestas condições, as respostas à inoculação foram altas (Figura 8). Exceções a esta relação ocorreram com maria-mole e pororoca, as quais não apresentaram teores de P altos, em comparação com as demais espécies. Os teores médios de fósforo da parte aérea nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup> de P na SS não foram obtidos para trema, gravitinga, louro, embaúba, aroeira, a.cavalo, quaresmeira, maria-mole e pororoca, devido à falta de material para análise. Provavelmente

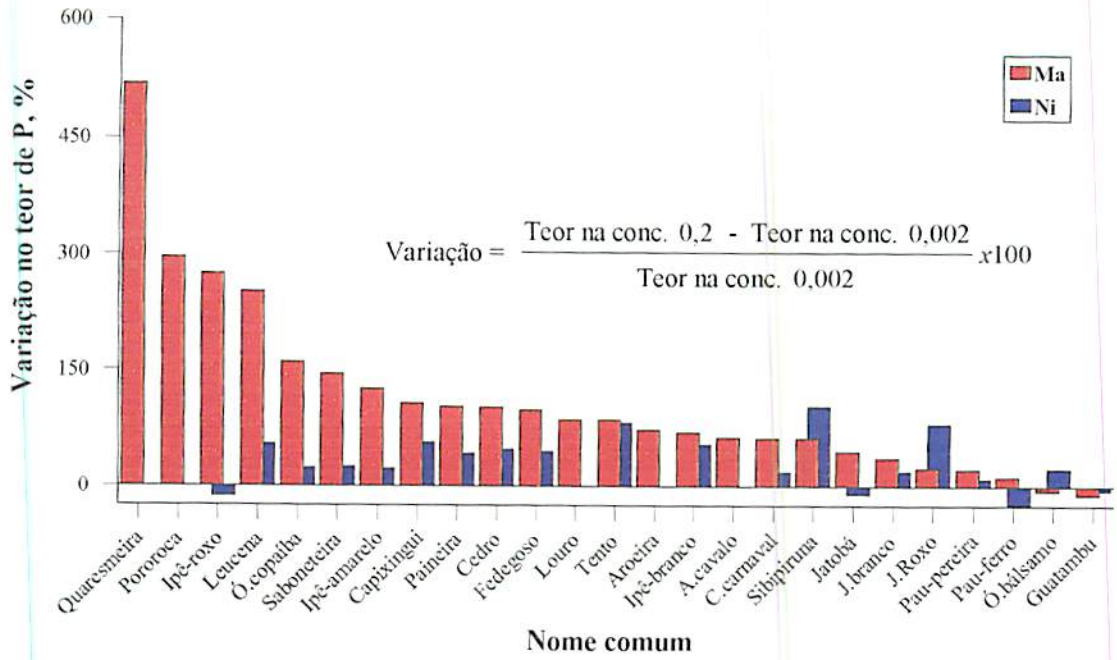


FIGURA 12. Variação no teor de P nos tecidos da parte aérea devido à elevação na concentração de P na solução do solo de 0,002 para 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, em mudas de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrizico.

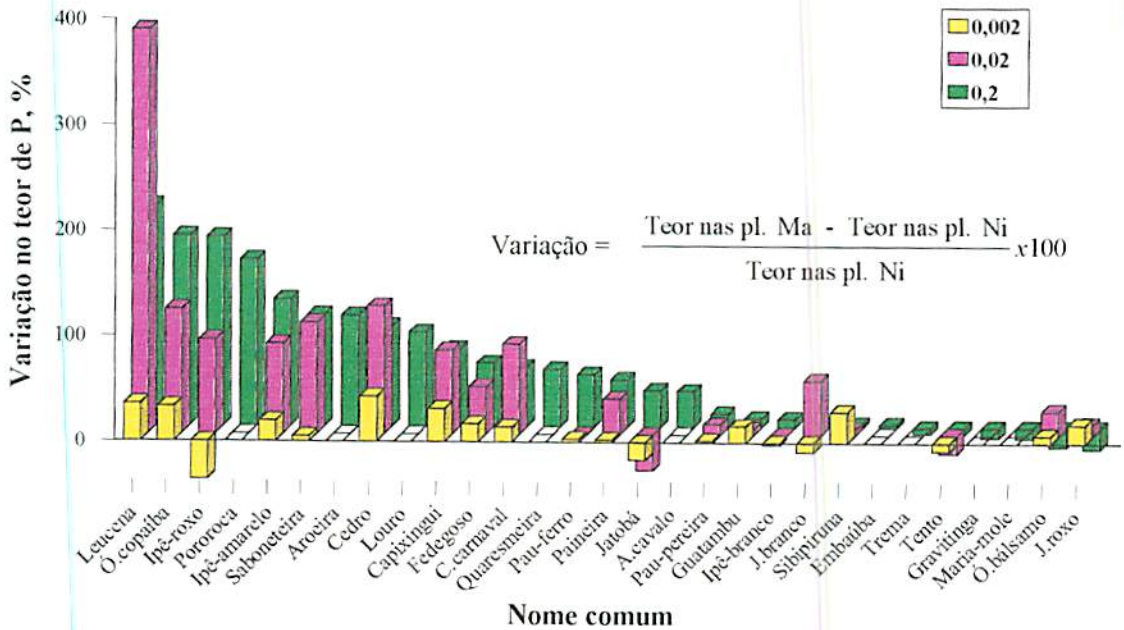


FIGURA 13. Variação no teor de P nos tecidos da parte aérea devido à inoculação de mudas de espécies arbóreas em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo.

devido a isto, não foram obtidas correlações entre estes teores e nenhuma outra variável avaliada, sendo, assim, omitidos estes dados no presente trabalho.

O comportamento geral indica que as espécies que exigem maiores teores de fósforo nos tecidos tendem a ser as mais prejudicadas em crescimento em condições de baixa fertilidade e ausência de micorrizas. Verificam-se correlações entre o teor de P na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e a resposta ao P em crescimento (Figura 7), taxa de crescimento (Figura 6) e razão cp:dr (Figura 11f), as quais são apresentadas na figura 15. Assim, em condições de alto P disponível no solo, verifica-se relação direta entre o aumento do teor de P nos tecidos das plantas e a resposta a este nutriente em crescimento, tanto na presença de micorrizas como na ausência (Figura 15a e 15b), sendo que esta relação é mais consistente entre as plantas Ma (Figura 15a), pois envolve a maioria das espécies, do que entre as plantas Ni (Figura 15b), nas quais apenas sete espécies aparecem como principais influenciadoras da relação. Este comportamento é distinto do das gramíneas das pradarias norte-americanas, as quais apresentam-se menos responsivas em crescimento quando apresentam maior teor de P nas plantas (Hetrick, Wilson e Schwab, 1994). A relação direta com a taxa de crescimento (Figura 15c) e com a razão cp:dr (Figura 15d) indica que espécies com altos teores de P nos tecidos apresentam crescimento mais acelerado e maior eficiência morfológica para absorção, sendo, assim, mais responsivas ao P em crescimento.

Baseando-se na taxa de crescimento (Figura 6) e no teor de P nos tecidos na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 14), calculou-se a demanda diária de absorção de fósforo das diferentes espécies, a qual encontra-se na figura 16. Espécies com crescimento rápido e alta exigência de teor de P nos tecidos, como trema, gravitinga, embaúba e a.cavalo, apresentaram grande demandas diárias deste nutriente, sendo acima de  $60 \text{ } \mu\text{g.dia}^{-1}$ . Espécies com crescimento lento e baixa exigência de P nos tecidos, como ó.copaíba, j.branco, tento, j.roxo, ipê-branco, pau-pereira, guatambu, ó.bálsamo e maria-mole, ou mesmo com taxa de crescimento razoável, mas com uma exigência muito baixa de P nos tecidos, como pororoca, apresentaram pequena demanda diária deste nutriente, sendo esta abaixo de  $10 \text{ } \mu\text{g.dia}^{-1}$ . A demanda de P correlaciona-se com a resposta ao P (Figura 7) de plantas Ma ( $r = 0,74$ ;  $P < 0,01$ ) e Ni ( $r = 0,65$ ;  $P < 0,01$ ) e com a razão cp:dr (Figura 11f) ( $r = 0,64$ ;  $P = 0,00$ ), indicando que plantas com maiores demandas de P apresentam sistema radicular morfológicamente mais adaptado à absorção e são mais responsivas ao aumento da concentração deste nutriente na SS. Porém, a demanda de P não se correlaciona com a resposta à inoculação (Figura 8),

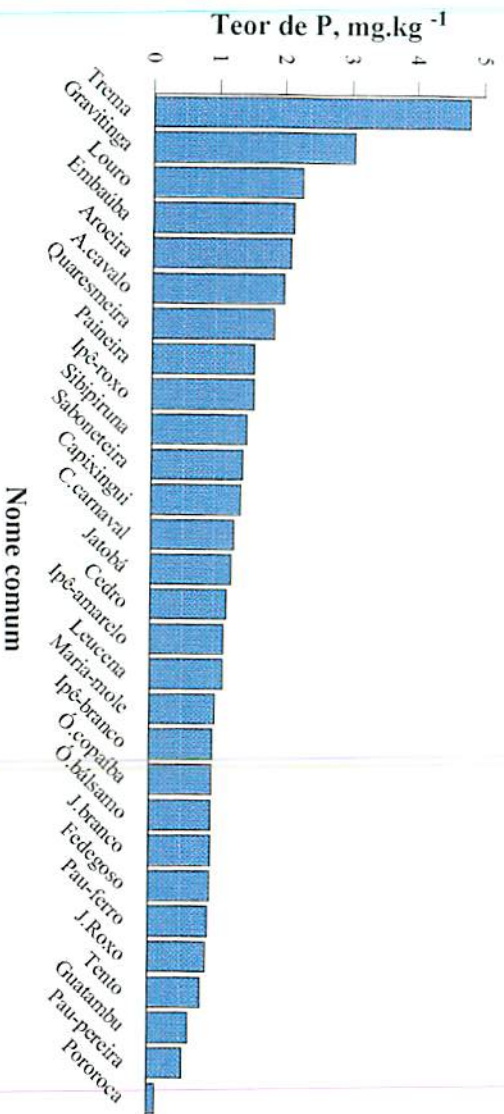


FIGURA 14. Teor médio de fósforo nos tecidos da parte aérea das espécies arbóreas em solo com 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo.

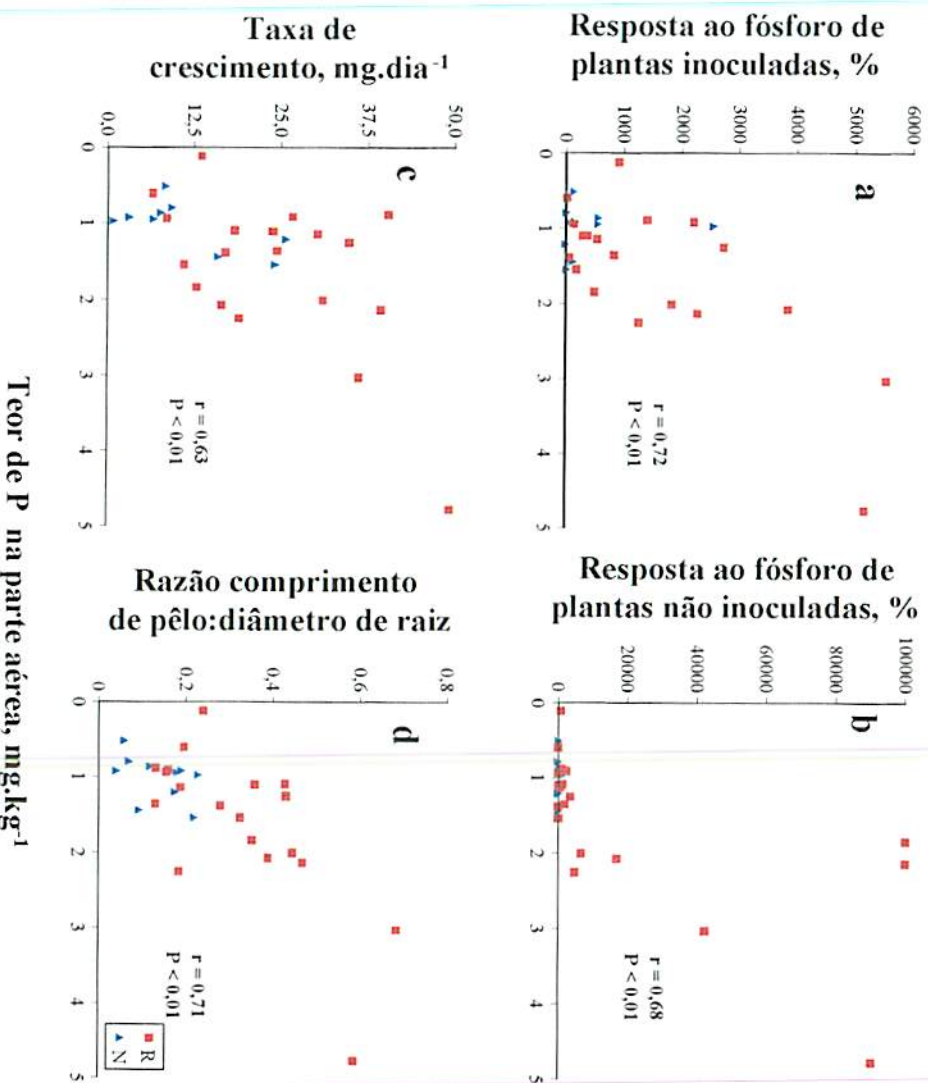


FIGURA 15. Correlações entre o teor médio de P nos tecidos da parte aérea na concentração 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo e a resposta ao fósforo de plantas inoculadas (a) ou não (b), taxa de crescimento (c) e razão comprimento de pêlo:diâmetro de raiz (d). R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação.

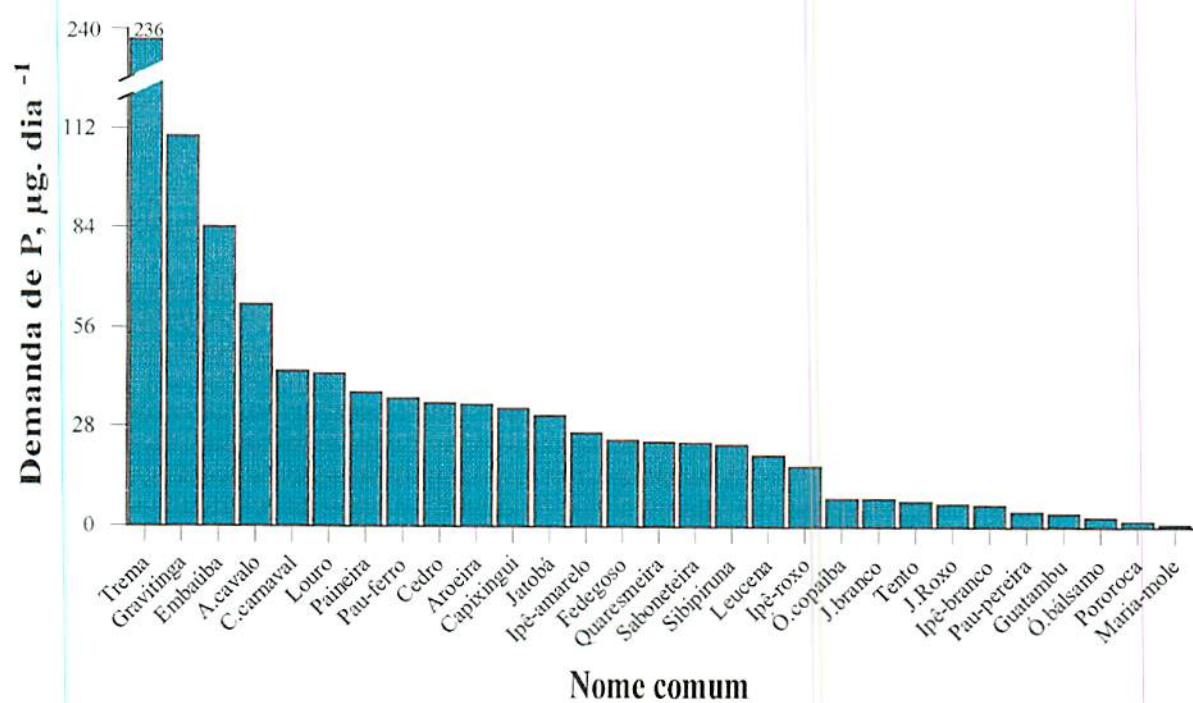


FIGURA 16. Demanda máxima de fósforo pelo tecido da parte aérea de mudas das espécies arbóreas

sugerindo que este parâmetro isolado não explica a resposta à micorrização, portanto devendo ser apenas um dos componentes que irão definir a dependência das espécies a micorrizas para a obtenção de P.

Conclui-se que embaúba, quaresmeira, trema, gravitinga, aroeira, a.cavalo e louro, que são as espécies mais responsivas ao P (Figura 7), apresentam reduzidas respostas à inoculação na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , mas mostram-se muito responsivas à inoculação em concentrações mais baixas deste nutriente no solo (Figura 8). Por apresentarem altos teores de P nos tecidos e altas taxas de crescimento apresentam grande demanda de P e, assim, dependem muito da simbiose micorrízica em condições de baixa fertilidade, porém, como apresentam um sistema radicular morfológicamente eficiente para a absorção, esta dependência é reduzida em condições de alta fertilidade.

#### 4.5 Fósforo em discos de folha

Os tratamentos exerceram efeitos diferenciados sobre a quantidade de P em discos de tecido foliar (Tabela 4A e Figura 17). As curvas para quaresmeira, pororoca, embaúba e aroeira não são apresentadas na figura 17 por não terem sido amostrados discos foliares destas espécies, nas concentrações  $0,002$  e  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , devido às plantas apresentarem reduzida área foliar. O mesmo ocorreu para trema e gravitinga, a partir da segunda amostragem. Entretanto, os resultados destas espécies na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  são comentados no texto.

Pau-pereira, tento, guatambu, sibipiruna, maria-mole e paineira não apresentaram diferenças nas quantidades de P nos discos de tecido foliar entre as plantas micorrizadas e não micorrizadas em nenhuma concentração de P (Figura 17). O j.branco, ó.bálsamo e j.roxo apresentaram, em algumas épocas de cultivo, maior quantidade de P nos discos foliares das plantas Ni, quando comparadas com plantas Ma na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Ao contrário, leucena, quaresmeira, pororoca, ipê-amarelo, ó.copaíba, aroeira, capixingui, c.carnaval, louro, embaúba, cedro, saboneteira e ipê-roxo apresentaram maiores quantidades de P nos discos foliares das plantas Ma, nas concentrações  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS. Esta resposta à micorrização, de modo geral, não foi verificada na menor concentração de P na SS ( $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Apenas a leucena e o ipê-amarelo apresentaram incremento na quantidade de P nos discos de folha na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ . Gravitinga e a.cavalo

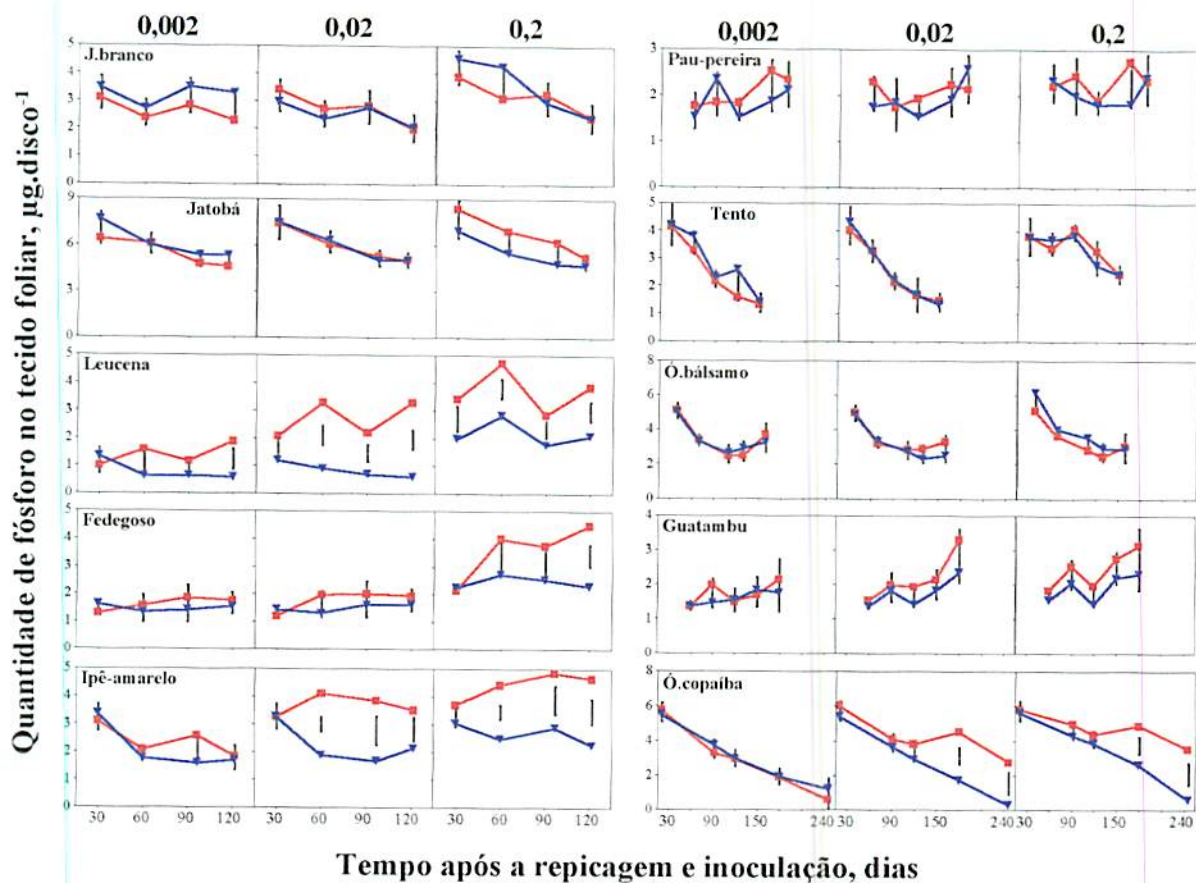


FIGURA 17. Quantidade de fósforo em discos de 0,5 cm<sup>2</sup> de tecido foliar em diferentes épocas durante o crescimento de mudas de espécies arbóreas, inoculadas ou não, em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo. Barras verticais indicam a DMS de Tukey 1%. Para leucena, é apresentada a quantidade de fósforo em um folíolo.

continua...

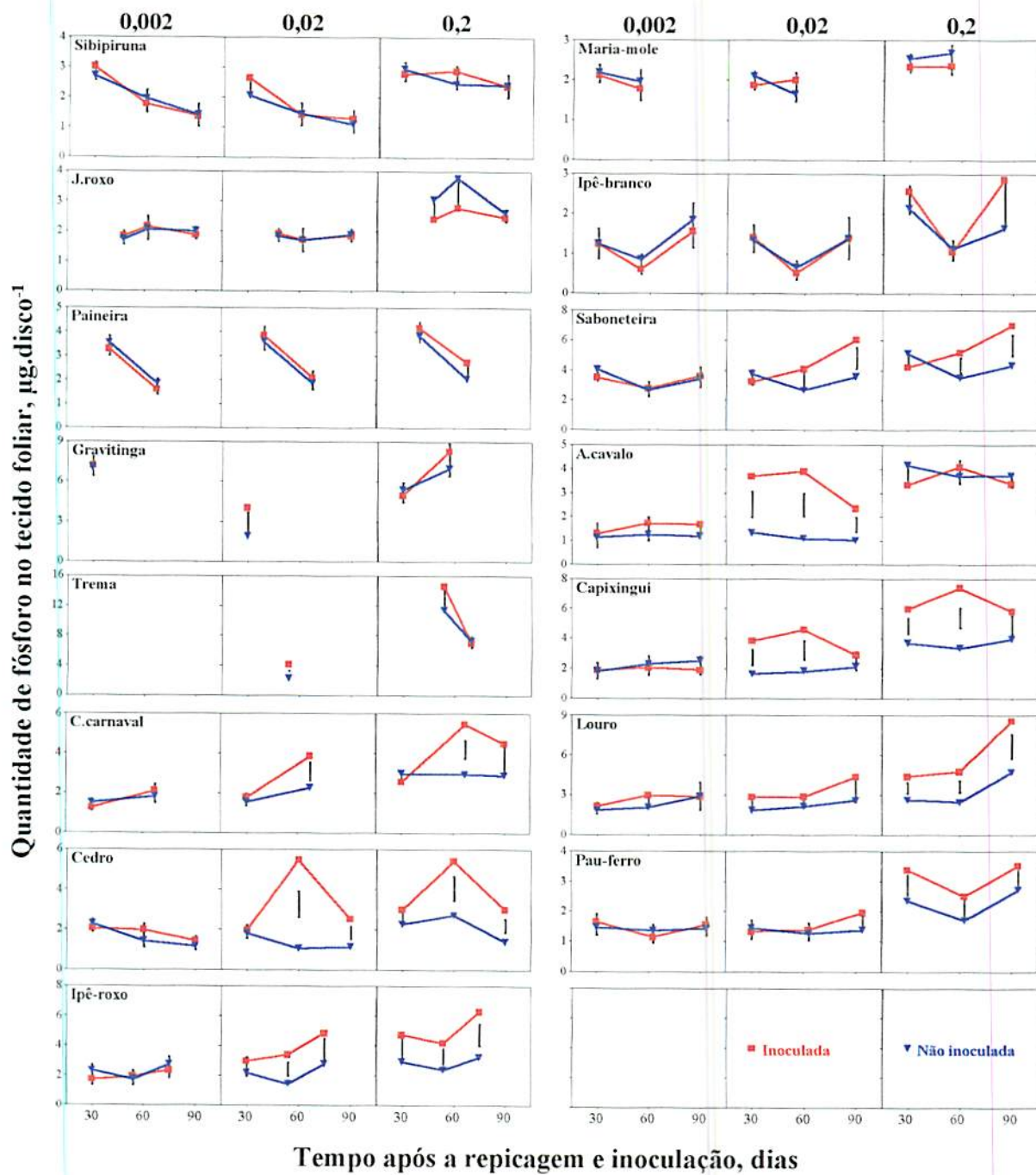


FIGURA 17. Continuação.

foram beneficiadas pela micorrização no incremento de P nos discos foliares apenas na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , enquanto que em jatobá, fedegoso, trema e pau-ferro, este efeito só foi observado na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em relação ao aumento das concentrações de P na SS, verifica-se, na maioria das espécies, uma tendência de as quantidades de P nos discos foliares serem incrementadas na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Porém, este efeito é particularmente evidente na trema que duplicou a quantidade de P na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  em relação à concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , indicando um consumo de luxo de P (Chapin, 1980).

Janos (1984) sugere que apenas espécies micotróficas facultativas apresentam acúmulo de luxo de P no tecido, enquanto que as micotróficas obrigatórias apresentam concentração constante de P no tecido em solos com diferentes níveis deste nutriente. Isto foi constatado experimentalmente por Hetrick, Wilson e Schwab (1994) e parece ser o caso da trema, que não responde à inoculação na maior concentração de P na SS. A resposta à inoculação, em geral, é detectada após 60 dias da repicagem e inoculação das plântulas, porém, em ó.copaíba isto só é verificado após 180 dias da repicagem e inoculação. Isto coincide com a resposta à inoculação em altura de plantas (Figura 3). Em ó.copaíba, a quantidade de P no tecido foliar decresce com o tempo, sugerindo sua incapacidade de absorver e translocar P do solo e um esgotamento das reservas cotiledonares. É possível que a resposta tardia à inoculação tenha ocorrido somente quando o nível nutricional mantido pelos cotilédones tenha atingido valores críticos, o qual deve variar para cada espécie. Espécies com sementes menores que as de ó.copaíba, como ipê-amarelo, leucena e cedro, apresentaram, com o tempo, reduções no P foliar apenas nas plantas Ni. Nas plantas Ma, o P foliar aumentou com o tempo, sugerindo que o limite nutricional crítico para que haja resposta à inoculação foi atingido antes que em ó.copaíba. As espécies j.branco, jatobá, tento, ó.bálsamo, sibipiruna e paineira, todas de sementes grandes, tal como ó.copaíba, também apresentaram, com o tempo, tendências de redução da quantidade de P nos discos foliares. Provavelmente, estas espécies também apresentaram um esgotamento progressivo de suas reservas cotiledonares; entretanto, não apresentaram respostas à micorrização. Porém, existe a possibilidade de que estas respostas possam vir a ocorrer quando as reservas cotiledonares destas espécies forem reduzidas além de um limite nutricional crítico. Outras espécies não apresentaram reduções evidentes de P foliar com o tempo. Estas apresentam sementes pequenas, cujas reservas de P são muito baixas ou apresentam alta eficiência de translocação deste nutriente nos tecidos, como aparentemente ocorre com pau-pereira, guatambu e saboneteira, que possuem sementes

relativamente grandes, não apresentam reduções na quantidade de P no tecido foliar novo e apresentam acentuado ressecamento e queda das folhas mais velhas (observação durante a condução dos experimentos).

Os resultados obtidos com o monitoramento periódico da quantidade de P em disco foliar indicam sua validade na avaliação da efetividade da simbiose em promover benefícios à planta, e a resposta desta ao P, sem a destruição da mesma. Os maiores benefícios foram obtidos na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , tal como os maiores benefícios da inoculação no crescimento vegetativo, concordando com os resultados de Aziz e Habte (1987) e Habte e Manjunath (1991), para outras espécies arbóreas. Verificou-se correlação entre a variação no teor de P na parte aérea devido à inoculação (Figura 13) e tal variação na quantidade de P nos discos de folha nas concentrações  $0,02$  ( $r = 0,63$ ;  $P < 0,01$ ) e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $r = 0,63$ ;  $P < 0,01$ ). Isto indica a relação entre estas duas formas de monitorar o benefício nutricional das MAs para a planta hospedeira. Correlação similar também foi observada por Aziz e Habte (1987), que sugerem que o monitoramento de P nos discos de folha, tal como o teor de P, reflete a efetividade dos FMAs em aumentar a absorção de P, tendo a técnica do disco foliar a grande vantagem de não destruir as plantas. O fato de a avaliação de P no disco de folha refletir a efetividade dos FMAs pode ser verificado através das correlações entre a variação na quantidade de P nos discos de folha devido à inoculação e a colonização micorrízica (Figura 18). Verifica-se que as espécies N, nas quais a simbiose não foi efetiva em promover o crescimento, apresentam baixa colonização e pequena variação no P dos discos de folha, enquanto as espécies R apresentam maior colonização e maior incremento no P nas folhas devido à inoculação.

#### 4.6 Outros nutrientes na parte aérea

Os resultados dos teores e quantidades acumuladas na parte aérea de outros nutrientes avaliados encontram-se em anexo. O resumo das ANAVAs dos teores de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, e Mn encontra-se na tabela 5A. Não se observa uma tendência clara dos efeitos dos tratamentos entre as diferentes espécies estudadas. Tal como no teor de P, nas espécies em que a produção de massa vegetal foi muito pequena, houve a impossibilidade da determinação química dos teores de nutrientes e as análises de variância não foram efetuadas em esquema fatorial.

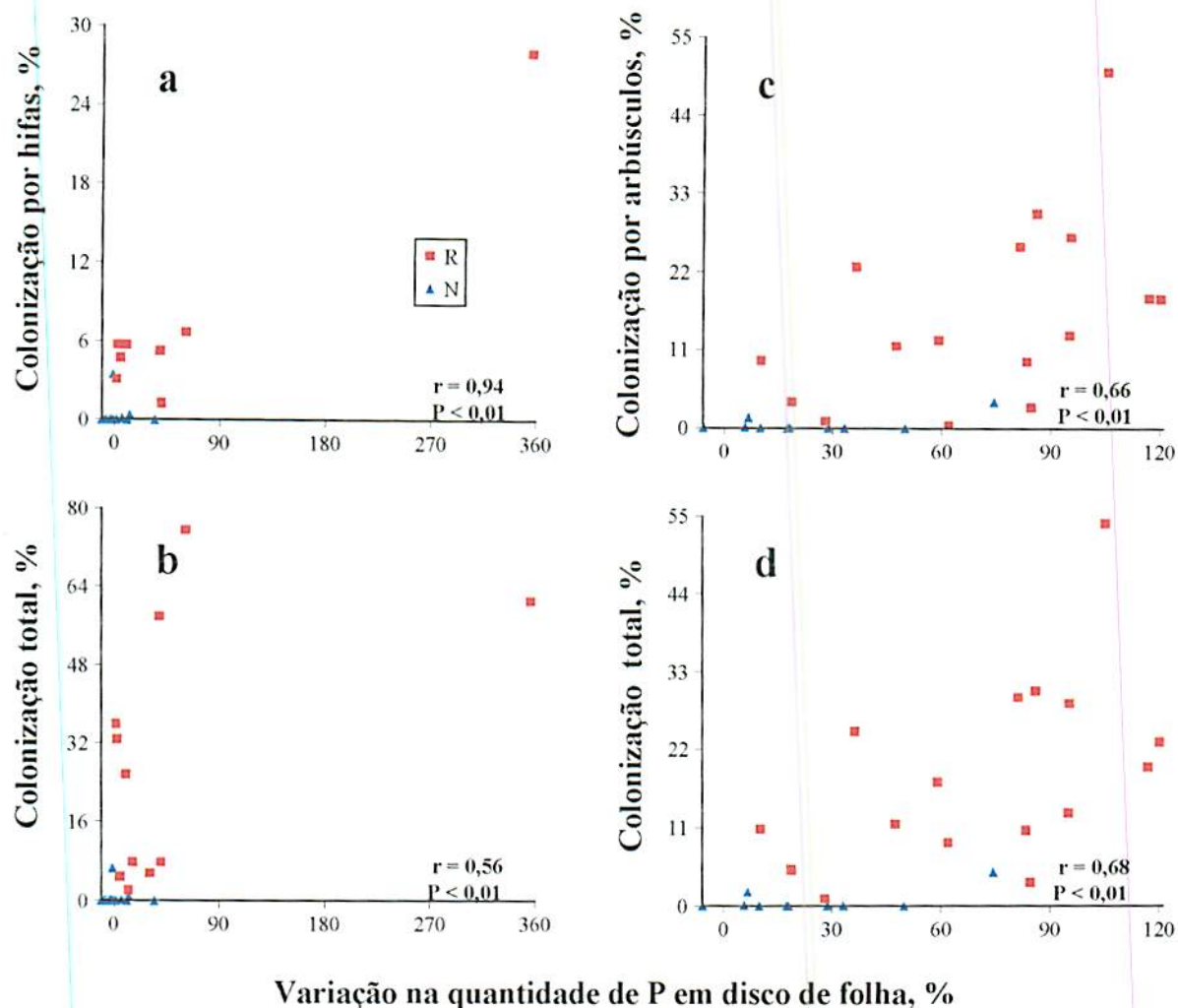


FIGURA 18. Correlações entre variação na quantidade de P em disco de folha devido à inoculação e colonização micorrizica verificada nas concentrações  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  (a e b) e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (c e d) de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação.

$$\text{Variação} = \frac{(\text{Qtí. P em disco das pl. Ma} - \text{Qtí. P em disco das pl. Ni})}{\text{Qtí. P em disco das pl. Ni}} \times 100$$

Os teores de todos os nutrientes foram influenciados pelos tratamentos de inoculação e concentração de P na SS, sendo estes efeitos diferenciados entre as espécies vegetais (Tabelas 6A e 7A). Os teores de K foram aumentados pela inoculação em sibipiruna, j.branco e cedro e, principalmente, na leucena. Porém, também verificou-se este efeito em ó.copaíba na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em j.roxo, c.carnaval e saboneteira, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em capixingui, gravitinga e quaresmeira, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Verificou-se efeito contrário apenas em paineira e ipê-roxo, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Na maioria das espécies, o teor de K foi aumentado na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS. Isto, provavelmente, deve-se ao uso de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  como fonte de P, embora houvesse sido mantido em todas as concentrações de P no solo um nível de K considerado alto ( $\geq 144 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) através da adubação básica com KCl. Entretanto, nas espécies ó.bálsamo, ipê-branco, c.carnaval micorrizada, capixingui, pau-ferro, aroeira, a.cavalo e pororoca, não se verificou este efeito.

Os teores de Ca foram aumentados pela inoculação em pau-pereira, j.branco, j.roxo e guatambu e, também, em leucena e ó.copaíba na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em jatobá, capixingui, leucena, fedegoso, pau-ferro e saboneteira, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em cedro, ipê-roxo, ó.copaíba e pororoca, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Reduções no teor de Ca pela inoculação foram verificadas apenas no ipê-amarelo, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , ó.bálsamo, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e ó.bálsamo e jatobá, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Na maioria das espécies, o teor de Ca foi reduzido na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Jatobá, j.roxo, capixingui, saboneteira, ipê-amarelo e guatambu apresentaram baixos teores de Ca nos tecidos ( $< 10 \text{ g.kg}^{-1}$ ), indicando serem espécies pouco exigentes neste nutriente, enquanto que o louro apresentou alta exigência quando micorrizado ( $> 25 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Embora o Ca apresente papel importante no crescimento dos pêlos radiculares (Peterson e Farquhar, 1996), não foi observada relação entre os teores deste nutriente e as características morfológicas dos pêlos radiculares.

Os teores de Mg foram aumentados pela inoculação no ipê-roxo e, também, na sibipiruna, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em leucena e saboneteira, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em leucena, cedro, saboneteira e quaresmeira, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Verificou-se comportamento inverso em pau-ferro e ipê-amarelo, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em ó.bálsamo, c.carnaval e pau-ferro, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em ó.bálsamo, na

concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Tal como o Ca, o teor de Mg também foi reduzido na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  na maioria das espécies.

Os teores de Cu foram aumentados pela inoculação em pau-ferro, ipê-roxo, ó.copaíba, leucena e ipê-amarelo. Também verificou-se este efeito em j.roxo, c.carnaval e cedro, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em saboneteira, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em saboneteira, aroeira, louro e pororoca, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Reduções nos teores de Cu pela inoculação foram verificadas apenas em tento e j.branco, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ . Verificou-se reduções do teor de Cu na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  em várias espécies, embora com menor frequência que as verificadas nos teores de Ca e Mg.

Os teores de Zn foram aumentados pela inoculação na leucena e, também, em c.carnaval, ipê-roxo e ipê-amarelo, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em ó.bálsamo, ipê-roxo e saboneteira, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em c.carnaval, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . O teor deste nutriente foi reduzido pela inoculação em fedegoso, cedro e j.branco, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ . Tal como o Ca, Mg e Cu, algumas espécies apresentaram menores teores de Zn na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Os teores de Fe apresentaram comportamento contrário aos demais nutrientes em relação à resposta à inoculação. A maioria das espécies onde o efeito foi significativo apresentou redução nos teores de Fe nas plantas Ma. Isto foi verificado em cedro e ipê-roxo e, também, em paineira, ipê-branco, capixingui, fedegoso e ipê-amarelo, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em c.carnaval, capixingui, pau-ferro e ipê-amarelo, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em quaresmeira e louro, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . O teor de Fe foi aumentado apenas nas plantas Ma de ó.copaíba na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , na saboneteira na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em paineira e ó.copaíba na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Embora em algumas espécies o teor de Fe também tenha sido reduzido na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , este efeito foi muito menos consistente que nos demais nutrientes em que ele ocorreu.

Os teores de Mn também tenderam a ser reduzidos pela inoculação, tal como o Fe. Este efeito foi verificado no fedegoso e, também, em capixingui e pau-ferro, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , em c.carnaval, capixingui, cedro, ipê-amarelo e ó.copaíba, na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em ipê-amarelo e ó.copaíba, na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Verificou-se efeito contrário em sibipiruna, j.branco, paineira, leucena e saboneteira, assim como, em ó.copaíba, na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em ó.bálsamo e ipê-roxo, na

concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . A maioria das espécies apresentou redução no teor de Mn na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

As quantidades de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 8A). Tal como para produção de massa da parte aérea seca, pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, paineira, ipê-branco e maria-mole, na maioria dos nutrientes, não apresentaram efeitos significativos da interação IxP e da inoculação. O teste de médias (Tabelas 9A e 10A) confirmou isto, de modo que, onde não houve interação IxP, não houve diferenças entre plantas Ma e Ni. Exceções a isto foram o j.branco e o jatobá, que apresentaram maiores quantidades acumuladas de Mn na parte aérea das plantas Ma, mesmo sem interação IxP. Nas espécies onde se verificou a interação, de maneira geral, a micorrização aumentou as quantidades acumuladas de nutrientes na parte aérea nas concentrações  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em relação às concentrações de P na SS, independente de ter havido interação, na maioria das espécies, as quantidades acumuladas de nutrientes foram maiores nas concentrações  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , principalmente nesta última. Isto indica a grande influência da produção de massa vegetativa no total de nutrientes acumulado nos tecidos. Mesmo nutrientes como Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn, cujos teores tenderam a ser reduzidos na maior concentração de P na SS, apresentaram suas quantidades acumuladas maiores na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , devido à maior produção de massa nesta concentração.

Estes resultados mostram que, de maneira geral, as micorrizas melhoram as condições nutricionais das arbóreas tropicais. Na maioria das espécies, os teores de K, Ca, Mg, Cu e Zn tendem a ser aumentados pela inoculação e os de Fe e Mn reduzidos. Estas respostas à inoculação dependem das necessidades individuais de nutrientes de cada espécie, pois não se verifica correlação entre os teores destes nutrientes e as respostas à inoculação. Entretanto, a redução dos teores de Mn com a inoculação tende a ser um efeito mais consistente, pois existem correlações negativas entre a variação no teor de Mn devido à inoculação (calculado tal como para o P na Figura 13) e CV ( $r = -0,64$ ,  $P < 0,01$ ), CA ( $r = -0,64$ ,  $P < 0,01$ ) e CT ( $r = -0,63$ ,  $P < 0,01$ ), na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e CV ( $r = -0,60$ ,  $P < 0,01$ ), CA ( $r = -0,61$ ,  $P < 0,01$ ) e CT ( $r = -0,63$ ,  $P < 0,01$ ), na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS. Não se observou nenhuma correlação entre os teores de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn e a produção de massa seca da parte aérea, confirmando que, ao contrário do P, o efeito dos teores destes nutrientes

no crescimento só poderá ser identificados dentro de cada espécie, não ocorrendo um comportamento geral, devido a diferenças individuais de exigência de nutrientes.

A redução, verificada na maioria das espécies, nos teores de Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , provavelmente, deve-se a um efeito de diluição nesta concentração de P na SS pelo maior crescimento das plantas, ou a uma competição com íons  $\text{K}^+$  durante a absorção, devido a uma maior presença destes nesta concentração de fósforo. No entanto, a existência de espécies que não apresentaram esta redução salienta as diferenças nas exigências e nas limitações nutricionais que as espécies vegetais podem apresentar nos ecossistemas naturais.

Como nas pradarias norte-americanas, onde geralmente o P não é limitante para o crescimento e sim o N (Hetrick, Wilson e Schwab, 1994), sugere-se que nas florestas tropicais os nutrientes catiônicos possam limitar o crescimento mais que o P (Burslem, Grubb e Turner, 1995). Estes autores propõem que nas florestas tropicais, as mudas de árvores tolerantes à sombra, que possuem micorrizas, não são limitadas pelo suprimento de P, devido à simbiose conseguir suprir a demanda deste nutriente e/ou devido à pequena demanda por nutrientes destas espécies quando crescem lentamente na sombra. Embora isto não tenha sido confirmado no presente trabalho, é possível que ó.bálsamo, guatambu, tento, ó.copaíba, ipê-roxo, ipê-branco, pau-pereira, j.brancos e j.roxos, que apresentam baixa taxa de crescimento (Figura 6), baixa demanda por P (Figura 16) e não respondem ou respondem muito pouco ao P em crescimento (Figura 7), possam ter seu crescimento limitado na natureza principalmente por deficiências de nutrientes catiônicos, pois os solos sob floresta tropical são geralmente velhos, ácidos e altamente lixiviados (Burslem, Grubb e Turner, 1995).

#### 4.7 Dependência micorrízica

A dependência micorrízica (DM) e o seu valor corrigido pela significância do teste F (DMc), conforme proposto por Prenchette, Fortin e Furlan (1983), a categorização de dependência de acordo com Habte e Manjunath (1991) e o valor estimado para o ponto T' de Janos (1988) são apresentados na tabela 11. A DM é maior nas concentrações  $0,002$  e  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , particularmente na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e é reduzida na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P. Baseando-se na DMc, apenas a leucena e o ipê-amarelo apresentaram dependência micorrízica na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ . Na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , a DMc é igual à DM entre as espécies R, porém é nula nas espécies N. Na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , observa-se

TABELA 11. Dependência micorrizica (DM) e DM corrigida (DMc), calculadas pela massa da parte aérea seca de acordo com Prenchette, Fortin e Furlan (1983) em três concentrações de fósforo na solução do solo (0,002; 0,02 e 0,2 mg/L), categoria de DM e valor estimado de T'.

Espécie	0,002		0,02		0,2		Categoria de DM (Habe e Manjunath, 1991)	T' (2) (Janos, 1988) mg/L.
	DM	DMc (1)	DM	DMc	DM	DMc		
-----%-----								
Espécies N								
Pau-perceira	-53	0	17	0	-15	0	Não dependente	0,002
Tento	7	0	-5	0	-2	0	Não dependente	0,002
Sibipiruna	-56	0	-4	0	-3	0	Não dependente	0,002
J.branco	12	0	-8	0	-6	0	Não dependente	0,002
J.roxo	-41	0	5	0	-13	0	Não dependente	0,002
Ó.bálsamo	-18	0	44	0	12	0	Não dependente	0,002
Jatobá	16	0	-12	0	1	0	Não Dependente	0,002
Maria-mole	-81	0	89	0	17	0	Não dependente	0,002
Paineira	-12	0	9	0	-14	0	Não dependente	0,002
Ipê-branco	16	0	-6	0	38	38	Não dependente?(3)	0,002
Espécies R								
Gravitinga	87	0	99	99	2	0	Altamente dependente ?	0,198
Aroeira	78	0	97	97	2	0	Altamente dependente?	0,202
Trema	95	0	98	98	6	0	Altamente dependente ?	0,210
A.cavalo	78	0	98	98	22	22	Extremamente dependente	0,222
C.carnaval	44	0	95	95	29	29	Extremamente dependente	0,225
Capixingui	59	0	92	92	20	20	Extremamente dependente	0,229
Quaresmeira	100	0	100	100	37	37	Extremamente dependente	0,231
Embaúba	100	0	100	100	35	35	Extremamente dependente	0,232
Louro	83	0	98	98	36	36	Extremamente dependente	0,235
Leucena	81	81	92	92	35	35	Extremamente dependente	0,246
Fedegoso	46	0	87	87	45	45	Extremamente dependente	0,293
Cedro	66	0	95	95	66	66	Extremamente dependente	0,297
Pau-ferro	3	0	76	76	34	34	Extremamente dependente	0,322
Pororoca	72	0	98	98	79	79	Extremamente dependente	0,346
Ipê-roxo	16	0	58	58	57	57	Extremamente dependente ?	0,347
Saboneteira	13	0	36	36	24	24	Extremamente dependente ?	0,395
Ipê-amarelo	59	59	89	89	80	80	Extremamente dependente	0,406
Guatambu	17	0	68	68	42	0	Altamente dependente	0,464
Ó.copaiba	2	0	50	50	38	38	Extremamente dependente ?	> 0,500

(1)DMc = Valor de DM corrigido pela significância do teste F, conforme proposto por Prenchette, Fortin e Furlan (1983)

(2) Calculado como sendo a concentração de P na solução do solo onde curvas ajustadas para plantas Ma e Ni se cruzam.

(3) ?= Categorização duvidosa devido aos dados não coincidirem com a proposta dos autores

comportamento semelhante, porém a DMc do ipê-branco, uma espécie N, é igual à DM e as DMc de gravitinga, aroeira, trema e guatambu, que são espécies R, são nulas. Pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole e paineira apresentaram a DMc nula em todas as concentrações de fósforo na solução do solo, indicando a baixa necessidade de micorrizas destas espécies. É bastante comum apresentar a DM com valores negativos (Habte e Manjunath, 1991; Habte e Turk, 1991; Habte, Muruleedhara e Ikawa, 1993; Habte e Musoko, 1994), os quais tornam-se difíceis de serem concebidos dentro do conceito de dependência micorrízica. Porém, estes valores facilitam a interpretação do que acontece em termos de resposta em crescimento. Quando se utiliza a DMc, valores de DM de até 100%, como da quaresmeira e embaúba na concentração  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ , tornam-se nulos, pois a diferença estatística (Teste F) foi não significativa ao nível de 5% de probabilidade. No presente estudo, isto ocorreu principalmente na menor concentração de P.

Pela categorização de Habte e Manjunath (1991), as espécies N foram consideradas não dependentes e as R apresentaram-se altamente ou extremamente dependentes de micorrizas (Tabela 11). Porém, vê-se nesta tabela que ipê-branco, gravitinga, aroeira, trema, ipê-roxo, saboneteira e ó.copaíba apresentaram discordância do comportamento previsto pela categorização de Habte e Manjunath (1991). O ipê-branco apresentou DMc nula na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e não nula na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que não é previsto na categorização apresentada. Optou-se por categorizar o ipê-branco como não dependente, pois embora significativa a diferença entre as massas da parte aérea seca de plantas Ma e Ni na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , esta diferença é muito pequena (Figura 5) pelo padrão de respostas deste estudo. Gravitinga, aroeira e trema apresentaram DMc  $\geq 75\%$  na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . Isto as classifica como extremamente dependentes, porém como não apresentaram DMc na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que não condiz com a definição desta classe de dependência, foram consideradas altamente dependentes, tal como considerada *Azadirachta indica*, em um caso semelhante, por Habte, Muruleedhara e Ikawa (1993). Ipê-roxo e ó.copaíba apresentaram DMc na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  entre 50 e 75%, o que os classificaria como altamente dependentes, e a saboneteira apresentou DMc na concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  entre 25 e 50%, o que a classificaria como moderadamente dependente, porém, estas espécies ainda apresentaram DMc na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de 57, 24 e 38%, respectivamente, o que é uma característica exclusiva de espécies extremamente dependentes de micorrizas pelas definições de Habte e Manjunath (1991). Assim, optou-se por considerar

estas espécies como extremamente dependentes de micorrizas, baseando-se somente na DMc em  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Desta maneira, verifica-se que, entre as espécies R, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-amarelo, ipê-roxo, saboneteira e ó.copaíba são categorizadas como extremamente dependentes (Tabela 11). As espécies gravitinga, aroeira, trema e guatambu são enquadradas como altamente dependentes. Nenhuma das espécies estudadas foi classificada nas categorias marginalmente e moderadamente dependentes de micorrizas. A leucena, incluída no estudo como referência à categorização de Habte e Manjunath (1991), apresentou-se extremamente dependente de micorrizas, o que corrobora os resultados obtidos por estes autores.

O cálculo de DM de acordo com Menge, Johnson e Platt (1978) e Prenchette, Fortin e Furlan (1983), baseado na diferença entre plantas micorrizadas e não micorrizadas, tem sido criticado por refletir a resposta das plantas à inoculação, não necessariamente sua dependência micorrízica (Janos, 1988; Janos, 1993). A resposta à inoculação, obtida pela diferença entre o crescimento de plantas micorrizadas e não micorrizadas, é altamente influenciada por ambos os simbiontes e também pelo ambiente, enquanto que a dependência micorrízica deve ser uma característica genética, herdável, intrínseca à planta hospedeira (Hetrick, Wilson e Cox, 1992, 1993; Hetrick et al., 1995; Hetrick, Wilson e Todd, 1996), que se traduz em resposta à inoculação, independente do simbionte fúngico e da condição ambiental (Kormanik, Bryan e Schultz, 1981; Hetrick, Wilson e Todd, 1996).

Por isto, Janos (1988) propõe que a dependência micorrízica deva refletir a resposta ao fósforo de plantas não micorrizadas, estimada pelos chamados pontos T e T', conforme revisado no item 2.2. Observa-se que para as espécies estudadas, as plantas Ni respondem ao fósforo apenas entre as concentrações de  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 5). Portanto, o ponto T, que corresponde ao nível de fósforo no solo, abaixo do qual as plantas não micorrizadas não crescem significativamente, está situado entre estas concentrações para a maioria das espécies aqui estudadas. Desta maneira, a determinação deste ponto não é suficiente para diferenciar a dependência destas espécies, pois sempre estará próximo ao ponto médio entre  $0,02$  e  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Outra limitação deste procedimento é encontrada em espécies cujas plantas Ni não respondem ao fósforo, como tento, ó.bálsamo, maria-mole, paineira, pororoca, guatambu e ó.copaíba. Nestas espécies, o ponto T não existe dentro das concentrações estudadas de P, podendo existir ou não em concentrações mais elevadas. Além disto, espécies cujas plantas Ni não respondem ao fósforo podem ser muito dependentes de

micorrizas, de modo que, sem esta simbiose, não respondem ao incremento de P no solo ou, ao contrário, ser não dependentes de micorrizas, apresentando a baixa resposta ao P como estratégia nutricional. Assim, o uso do ponto T como indicador de dependência micorrizica, não parece ser suficiente para indicar a dependência das plantas a micorrizas, principalmente devido ao fato de que plantas com micorrizas não se comportam como plantas sem micorrizas, devido às diferenças fisiológicas e nutricionais entre elas (Smith e Smith, 1990; Koide, 1991).

Janos (1988) considera também, como indicador de dependência micorrizica, o nível de fósforo no solo, acima do qual não há resposta em crescimento para a micorrização, chamando-o de ponto T'. Porém, a sua definição pressupõe a existência de resposta em crescimento à micorrização, e que esta resposta seja reduzida com o aumento da disponibilidade de P no solo. Assim, dificuldades de se determinar T' surgem quando as plantas não apresentam respostas à micorrização e quando estas respostas não são reduzidas pelo aumento da disponibilidade de P no solo. Quanto à primeira dificuldade, pode-se considerar que T' seja a menor concentração de P encontrada no solo em estudo, e quanto à segunda, T' pode ser considerado extremamente elevado. Para as espécies N, considerou-se que o valor do ponto T' fosse a menor concentração de fósforo na solução do solo, já que, desde esta concentração, as curvas de respostas ao P das plantas Ma e Ni não diferiram entre si (Figura 5). Para as espécies R, o valor T' foi estimado como sendo o ponto de cruzamento entre as curvas de respostas ao P das plantas Ma e Ni, exceto para ó.copaíba, pois as curvas ajustadas para esta espécie não se cruzam, devido à sua resposta à inoculação não ser reduzida pelo aumento de P disponível (Figura 5). Considerou-se, portanto, que esta espécie teria o maior valor obtido para o ponto T'. Verifica-se na tabela 11 que, para a maioria das espécies R, o valor de T' é superior à maior concentração de fósforo estudada ( $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

De acordo com Janos (1988), quanto maior o T' maior será a dependência da planta a micorrizas. Assim, T' é capaz de ordenar as espécies vegetais em uma escala de dependência, de modo menos influenciado pela resposta à inoculação que a categorização proposta por Habte e Manjunath (1991). Quando as espécies estudadas foram classificadas segundo Janos (1988) e Habte e Manjunath (1991), a única diferença verificada entre estes critérios foi para o guatambu (Tabela 11). Esta espécie foi classificada apenas como altamente dependente, de acordo com Habte e Manjunath (1991), porém encontra-se no alto da escala de T', sendo assim, por este parâmetro, considerada dependente de micorrizas mais que as outras espécies. Ambas as propostas de classificação não são capazes de distinguir as diferenças de

dependência entre espécies N. Estas diferenças, embora não detectadas, devem existir, pois entre estas espécies, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco apresentaram colonização micorrízica, embora pequena, e, particularmente a paineira e o ipê-branco apresentaram efeitos significativos da micorrização para algumas variáveis de crescimento vegetativo e de nutrição avaliadas.

Correlações entre os valores de  $T'$ , DM e DMc com a colonização micorrízica são apresentadas na figura 19. Verifica-se que tanto a DM e DMc quanto o  $T'$  correlacionam-se com a CT em todas as concentrações de P, porém, as melhores relações foram obtidas nas concentrações 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Isto sugere que tanto os valores de DM e DMc quanto os de  $T'$  podem indicar a dependência micorrízica destas espécies, já que se relacionam com o grau de colonização micorrízica. Portanto, aquelas espécies em que ambas as estimativas de dependência micorrízica as classificam como não dependentes (pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco) podem ser consideradas como tal na fase de mudas. Porém, é evidente que entre estas encontram-se espécies que, pelo conceito de Janos (1980a), são não micotróficas, isto é, que viverão independentes de micorrizas até a idade reprodutiva, e espécies que manifestarão dependência micorrízica em outras condições fisiológicas depois da fase de mudas. A manifestação de dependência micorrízica após a fase de mudas depende da capacidade das espécies em responder à fertilidade do solo após o transplante, das estratégias nutricionais que apresentam e de quanto que na fase de mudas ainda estão usufruindo de suas reservas cotiledonares. Verifica-se que entre as espécies não dependentes, tento, ó.bálsamo, jatobá e paineira apresentam sensível redução na quantidade de P nos discos de folha com o tempo de crescimento (Figura 17). Isto pode indicar a incapacidade destas espécies em absorver P do solo e o esgotamento progressivo de suas reservas cotiledonares, pois essas espécies possuem sementes grandes em relação às outras; assim, poderão tornar-se dependentes de micorrizas após o esgotamento dessas reservas, como ocorreu com ó.copaíba após 180 dias de cultivo.

Entre as demais espécies, as quais apresentaram resposta à micorrização (espécies R), a pouca diferenciação entre elas pela categorização de Habte e Manjunath (1991) e a simples ordenação dos valores estimados para o ponto  $T'$  de Janos (1988), não são suficientes para clara distinção quanto ao seu grau de dependência micorrízica. A categorização de Habte e Manjunath (1991) leva em conta a DM estimada em duas condições de fertilidade do solo. Assim, espécies classificadas entre marginalmente dependentes até altamente dependentes são consideradas micotróficas facultativas (conforme Janos 1980a),

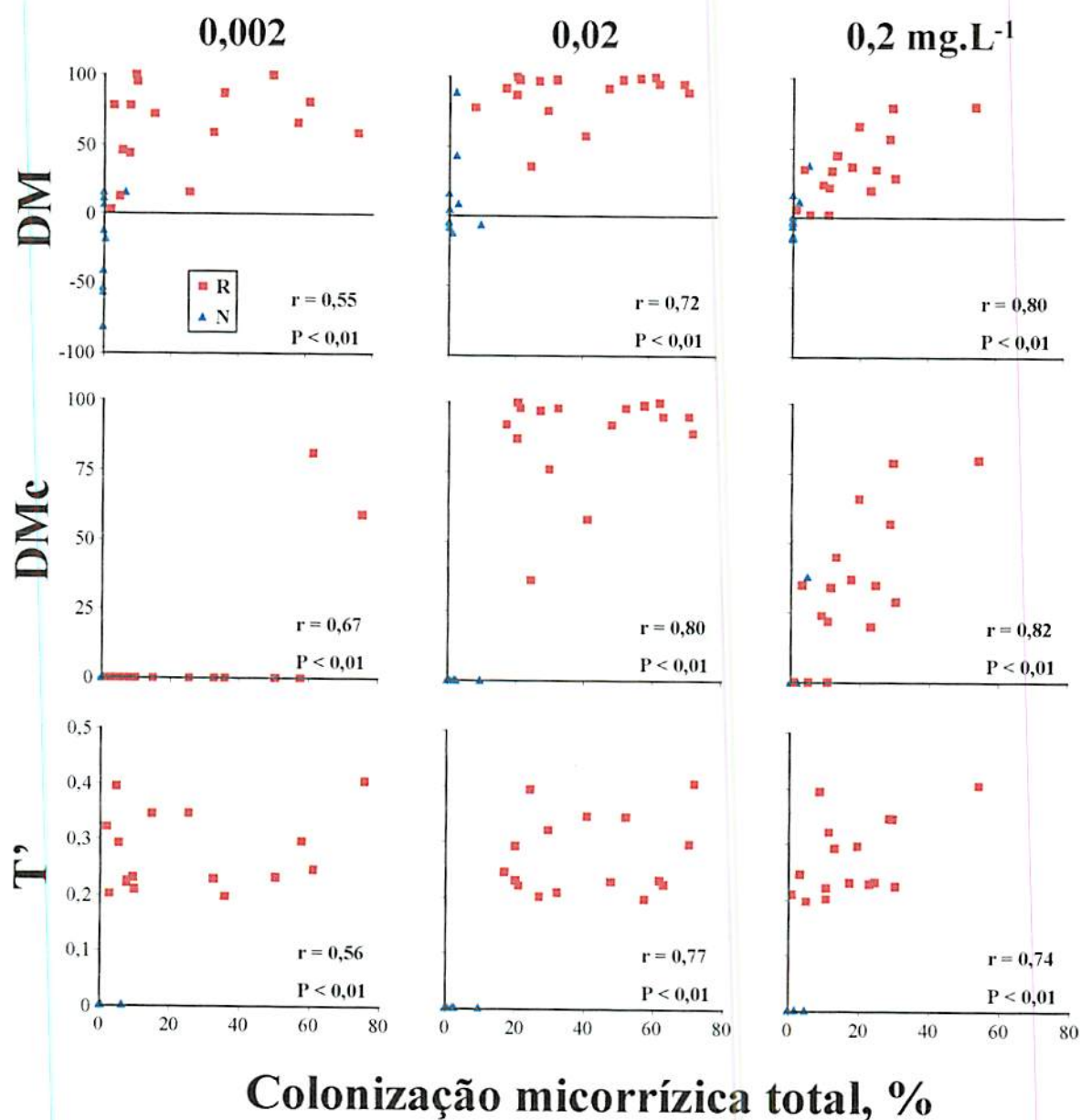


FIGURA 19. Correlações entre colonização micorrízica total e a dependência micorrízica (DM), DM corrigida (DMc) e valor estimado para T', nas concentrações 0,002, 0,02 e 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P na solução do solo. R: espécies que respondem à inoculação; N: espécies que não respondem à inoculação.

pois respondem à micorrização apenas em condições de deficiência de P, enquanto que, as espécies classificadas como extremamente dependentes são consideradas micotróficas obrigatórias, pois ainda respondem à micorrização com  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS, uma condição de fertilidade difícil de ser encontrada em solos sob floresta no Sudeste do Brasil. Pela categorização de Habte e Manjunath (1991), a maioria das espécies R pode ser considerada micotrófica obrigatória na fase de mudas. O valor estimado para o ponto T', considerado menos influenciado pela resposta à inoculação que a DM, fornece escala crescente de dependência micorrízica. Porém, serão necessários estudos mais detalhados para verificar se baseado apenas no ponto T' será possível categorizar as espécies vegetais quanto à sua dependência a micorrizas.

Entretanto, dentro das limitações dos resultados apresentados aqui, buscou-se uma tendência das espécies R quanto à dependência micorrízica. Quando as espécies dependentes de micorrizas são divididas em espécies que apresentam plantas Ni responsivas ao fósforo e espécies que apresentam plantas Ni pouco ou não responsivas ao fósforo, o grau de dependência parece melhor visualizado. Espécies cujas plantas Ni são responsivas ao fósforo, tendem a ser micotróficas facultativas, enquanto que, aquelas pouco ou não responsivas tendem a ser micotróficas obrigatórias. Assim, baseando-se na diferença entre a massa da parte aérea seca (Figura 5) das plantas Ni entre as concentrações  $0,2$  e  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  de P, foi possível dividir arbitrariamente como sendo espécies pouco ou não responsivas ao P, aquelas cuja diferença foi menor que  $0,5 \text{ g}$ , e como sendo responsivas ao P, aquelas com diferenças maiores que  $0,5 \text{ g}$ . Desta maneira, gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro e pau-ferro enquadram-se como espécies micotróficas facultativas, indicando que as micorrizas poderão ser substituídas por adubações fosfatadas pesadas. Pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba enquadram-se como espécies micotróficas obrigatórias, de forma que as micorrizas não poderão ser substituídas por adubações fosfatadas. Esta divisão está relacionada com as condições em que a planta foi avaliada, podendo ser alterada com modificação destas condições, o que geralmente ocorre durante o desenvolvimento das mudas.

Este agrupamento das espécies dependentes nas classes de micotróficas facultativas e obrigatórias não tem o objetivo de prever o seu comportamento a campo (Janos, 1980a), e nem de sugerir que as espécies consideradas micotróficas obrigatórias não sejam passíveis de serem cultivadas sem micorrizas, pois mesmo com *Liquidambar styraciflua* L.,

espécie que apresenta extrema dependência a micorrizas (Kormanik, Bryan e Schultz, 1977; 1981), têm sido obtidas mudas com crescimento comparáveis sob condições micorrízica e não micorrízica (Kormanik, 1986). Apesar disto, possivelmente, mudas com micotrofia obrigatória não conseguirão em campo atingir a maturidade reprodutiva sem a presença de FMAs, enquanto que, mudas com micotrofia facultativa estarão na dependência da fertilidade do local onde se desenvolverão. Como a fertilidade dos solos usados para reflorestamento com espécies nativas, geralmente, é baixa, deve-se evidenciar a importância da micorrização das mudas, mesmo das espécies com micotrofia facultativa.

#### 4.8 Sucessão florestal

A análise de componentes principais indicou que, entre as variáveis analisadas neste estudo, as que melhores explicam a variabilidade, podendo indicar comportamento comum entre as espécies florestais, são os valores da DM (Tabela 11) e a resposta à inoculação (Figura 8) nas concentrações 0,002 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, os valores estimados para T' (Tabela 11), a CT na concentração 0,02 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 4), a razão cp:dr (Figura 11f), a eficiência de absorção de fósforo (Tabela 10) e o número de sementes por quilograma (Tabela 3). Submetendo estas variáveis a uma análise discriminatória múltipla (ADM), obtiveram-se as matrizes de classificação das espécies nas classes de grupo ecológico de sucessão florestal (Tabelas 12 e 13). Apenas 26 das espécies estudadas foram submetidas à ADM devido à falta de dados da CT em guatambu, louro e ó.copaíba. Verifica-se que a inclusão de espécies pertencentes a uma classe em outras classes foi muito elevada, levando-se a estimativas de erro de classificação muito altas. Isto indica que as variáveis aqui estudadas não são parâmetros suficientes para a separação das espécies nos diferentes grupos sucessionais estabelecidos por Budowski (1965) e Whitmore (1988). Isto sugere que estas variáveis sejam apenas alguns dos componentes, entre outros não avaliados aqui, que definirão a classificação destas espécies nos diferentes grupos ecológicos, ou que a atual classificação das espécies em grupos ecológicos é altamente imprecisa. De fato, Oliveira Filho (1994) considera não haver limites naturais e claros para a definição de grupos ecológicos, sendo a diferenciação gradual e dependente, muitas vezes, de aspectos ou informações não contempladas no estudo. Este autor salienta que as estratégias das espécies florestais são, via de regra, conjuntos interativos e complexos de adaptações, cujas características emergentes podem extrapolar as simplificações consideradas na categorização das espécies. Além disto, o comportamento de algumas espécies pode variar

TABELA 12. Classificação das espécies nos grupos sucessionais estabelecidos por Budowski (1965), obtida por análise discriminatória múltipla (ADM)

Grupo que a espécie pertence	Número de espécie por grupo	Número de espécie classificada em cada grupo pela ADM				Porcentagem de erro de classificação
		P	SI	ST	C	
Pioneira (P)	7	<b>0</b>	5	0	2	100,00
Secundária inicial (SI)	6	1	<b>0</b>	1	4	100,00
Secundária tardia (ST)	6	1	2	<b>0</b>	3	100,00
Clímax (C)	7	1	2	3	<b>1</b>	85,71
						Média = 96,43

Em negrito estão o número de espécies classificadas pela ADM no próprio grupo ao qual ela pertence.

TABELA 13. Classificação das espécies nos grupos sucessionais estabelecidos por Whitmore (1988), obtida por análise discriminatória múltipla (ADM)

Grupo que a espécie pertence	Número de espécie por grupo	Número de espécie classificada em cada grupo pela ADM			Porcentagem de erro de classificação
		P	CL	CS	
Pioneira (P)	5	<b>0</b>	5	0	100,00
Clímax exigente em luz (CL)	17	0	<b>17</b>	0	0,00
Clímax tolerante à sombra (CS)	4	0	4	<b>0</b>	100,00
					Média = 66,67

Em negrito estão o número de espécies classificadas pela ADM no próprio grupo ao qual ela pertence.

dependendo das características locais, e as tentativas de classificação a nível de grupo ecológico podem ser falhas devido à demasiada simplificação de fatores complexos.

Existem muitos sistemas que procuram a classificação das espécies vegetais em grupos ecológicos e um grande número de termos utilizados para expressar os comportamentos e estratégias adaptativas das espécies (Piña-Rodrigues, Costa e Reis, 1990). Eles se baseiam, principalmente, na capacidade das espécies de tolerarem a sombra durante a germinação, na capacidade de ocuparem clareiras, na taxa de crescimento da planta jovem, no tipo de dispersão, intervalo de produção, quantidade produzida, dormência, reserva e longevidade das sementes. Porém, para que seja estabelecida uma classificação em grupos ecológicos, que seja útil na obtenção de informações práticas a serem utilizadas nos reflorestamentos, é fundamental a formação de um maior conjunto de informações envolvendo todas as faces da ecologia florestal. O presente estudo contribuiu para a ampliação deste conjunto de informações ecológicas, evidenciando a dependência micorrízica de 28 espécies arbóreas nativas, sendo esta uma característica de extrema importância para adaptação destas espécies aos ecossistemas.

#### 4.9 Considerações gerais

Visando alcançar melhor compreensão do comportamento das espécies estudadas na fase inicial de crescimento, as mesmas foram divididas arbitrariamente em classes de acordo com nove variáveis avaliadas (Tabela 14). Como estas variáveis se distribuíam entre as espécies em escalas exponenciais, adotou-se intervalos de classes em progressões geométricas. Baseando-se nestas classes, as espécies foram enquadradas em grupos e subgrupos com comportamentos semelhantes (Tabela 15).

O **grupo I** é formado por espécies que apresentam baixa taxa de crescimento, baixo teor de P nos tecidos e, portanto, baixa demanda de P. A maioria delas é considerada secundária tardia ou clímax (Tabela 3); portanto, tendem a ser tolerantes à sombra nas fases iniciais de crescimento, e geralmente são pouco responsivas à adição de nutrientes (Chapin, 1980; Fetcher et al., 1996). Este grupo foi subdividido em: **Subgrupo IA-** espécies que apresentam sementes grandes com alto peso, tendem a apresentar baixa eficiência de absorção de P, baixa razão cp:dr e colonização micorrízica ausente ou baixa. Assim, apresentam baixa a média resposta ao P e baixa resposta à inoculação. Desta maneira, não apresentam

TABELA 14. Limites de classe estabelecidos em progressões geométricas (PG) para a separação arbitrária das diferentes variáveis avaliadas nas classes baixa (B), média (M), alta (A) e muito alta (MA)

Variável	Unidade	Limite de classe				Razão da PG	Dado de referência
		B	M	A	MA		
Taxa de crescimento	mg/dia	≤10	11 - 20	21 - 40	> 40	2	figura 6
Teor de P nos tecidos	mg/kg	≤1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 4,0	> 4,0	2	figura 14
Demanda de P	µg/dia	≤10	11 - 40	41 - 160	> 160	4	figura 16
Peso da semente	mg	≤5	6 - 100	101 - 2000	> 2000	20	quadro 3
Eficiência de absorção de P	mg/g raiz	≤1,5	1,6 - 3,0	3,1 - 6,0	> 6,0	2	quadro 10
Razão cp:dr	—	≤0,125	0,126 - 0,250	0,251 - 0,500	> 0,500	2	figura 11f
Resposta ao P de plantas Ni	%	≤100	101 - 2000	2001 - 40000	> 40000	20	figura 7
Resposta à inoculação	%	≤100	101 - 800	801 - 6400	>6400	8	figura 8
Colonização micorrízica total	%	≤10	11 - 25	26 - 62	> 62	2,5	quadro 4

TABELA 15. Agrupamento das espécies arbóreas e recomendações para formação de mudas em solo de baixa fertilidade

Grupo/ Subgrupo	Espécies	Taxa de crescimento	Teor de P nos tecidos	Demanda de P	Peso de semente	Eficiência de absorção de P	Razão cp:dr	Resposta ao P de pl. Ni	Resposta à inoculação			Colonização total(1)			Micotrofia(2)	Recomendação(3)	
									0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2			
I	IA J.branco	B	B	B	A	B	B	M	B	B	B	---	---	---	ND	P	
	Pau-pereira	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	---	---	---	ND	sr	
	Tento	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	---	---	---	ND	sr	
	J.roxo	B	B	B	A	B	B	M	B	B	B	B	B	B	ND	P	
	Ó.bálsamo	B	B	B	A	M	M	B	B	B	B	B	B	B	ND	sr	
	IB Ó.copaíba	B	B	B	A	B	M	B	B	B	B	---	---	---	MO	I e P	
	Guatambu	B	B	B	A	B	M	B	B	M	B	---	---	---	MO	I e P	
	IC Maria-mole	B	B	B	M	M	M	M	B	A	B	B	B	B	ND	P "I"	
	Ipê-branco	B	B	B	M	M	M	M	B	B	B	B	B	B	ND	P "I"	
	II	IIA Louro	M	A	A	M	B	M	A	M	A	B	---	---	---	MF	I e P ou P+
Aroeira		M	A	M	M	A	A	A	M	A	B	B	A	M	MF	I e P ou P+	
Quaresmeir		M	M	M	B	A	A	MA	MA	MA	B	B	M	M	MF	I e P ou P+	
Leucena		M	M	M	M	B	A	M	M	A	B	A	M	B	MF	I e P ou P+	
IIB Sibipiruna		M	M	M	A	M	B	B	B	B	B	---	---	---	ND	sr "I"	
IIC Saboneteira		M	M	M	A	M	A	B	B	B	B	B	M	B	MO	I e P	
Ipê-roxo		M	M	M	A	B	A	B	B	M	M	M	A	A	MO	I e P	
Pororoca		M	B	B	M	B	M	M	M	A	M	M	A	A	MO	I e P	
III		IIIA Jatobá	A	M	M	MA	M	M	B	B	B	B	B	B	B	ND	sr "I"
		Paineira	A	M	M	A	A	M	B	B	B	B	B	B	B	ND	sr "I"
	IIIB Pau-ferro	A	B	M	M	M	M	M	B	M	B	B	A	M	MF	I e P ou P+	
	Fedegoso	A	B	M	M	M	M	A	B	M	B	B	M	M	MF	I e P ou P+	
	Capixingui	A	M	M	M	B	B	M	M	A	B	A	A	M	MF	I e P ou P+	
	Cedro	A	M	M	M	A	M	M	M	A	M	A	MA	M	MF	I e P ou P+	
	C.carnaval	A	M	A	M	M	A	A	B	A	B	B	MA	A	MF	I e P ou P+	
	Ipê-amarelo	A	M	M	M	M	A	M	M	A	M	MA	MA	A	MO	I e P	
	IIIC A.cavalo	A	A	A	B	A	A	A	M	A	B	B	M	M	MF	I e P ou P+	
	Embaúba	A	A	A	B	A	A	MA	MA	MA	B	A	MA	M	MF	I e P ou P+	
	Gravitinga	A	A	A	B	A	MA	MA	M	MA	B	A	A	B	MF	I e P ou P+	
	Trema	MA	MA	MA	B	MA	MA	MA	A	A	B	B	A	B	MF	I e P ou P+	

B: baixa; M: média; A: alta; MA: muito alta.

0,002; 0,02 e 0,2: concentrações estudadas de P na solução do solo (SS), em mg/L.

(1): --- = não colonizado; \_ : não determinado

(2): ND= não dependente; MF= micotrofia facultativa; MO= micotrofia obrigatória

(3): sr = sem recomendações; I = inoculação com FMA's; "I" = I opcional; P, P+ = adubações fosfatadas para atingir 0,02 e mais de 0,2 mg/L de P na SS( $\geq 2$  e 35 mg/dm<sup>3</sup> de P disponível por Mehlich I), respectivamente.

dependência a micorrizas na fase de mudas. Embora todas as espécies deste subgrupo pertençam à família Fabaceae, devido ao pequeno número de espécies amostradas em outras famílias, não foi possível estabelecer generalizações sobre as relações existentes entre a micotrofia e os ramos filogenéticos das espécies, como as estabelecidas por Trappe (1987). A baixa eficiência de absorção de P, baixa razão cp:dr e ausência de micorrizas, nas espécies deste subgrupo, aparentemente são compensadas pela baixa taxa de crescimento, baixo teor de P nos tecidos e grande reserva cotiledonar. Estas espécies podem apresentar outras estratégias nutricionais não avaliadas aqui, entre elas uma grande taxa de relocação de nutrientes (Chapin, 1980), pois em algumas delas observou-se, durante o estudo, um amarelecimento acentuado e progressivo nas folhas antes de sua queda; **Subgrupo IB-** espécies com praticamente as mesmas estratégias nutricionais do subgrupo IA, porém apresentando dependência micorrízica. Como apresentam baixa taxa de crescimento, baixo teor de P nos tecidos, baixa demanda de P e alto peso de sementes, apresentam baixa resposta ao P, baixa resposta à inoculação e tendem a apresentar a dependência micorrízica tardiamente, possivelmente somente após o esgotamento das reservas cotiledonares. Apesar de apresentarem baixa resposta à inoculação, apresentam dependência micorrízica obrigatória, provavelmente devido à baixa eficiência de absorção de P e à baixa razão cp:dr. As espécies deste subgrupo podem suportar a hipótese de Burslem, Grubb e Turner (1995) de que árvores tropicais de crescimento reduzido e tolerantes à sombra, suprem sua demanda de P por micorrizas e têm seu crescimento limitado por outros nutrientes; **Subgrupo IC-** espécies com baixa taxa de crescimento, baixo teor de P nos tecidos, baixa demanda de P e que não dependem de micorrizas. Diferem do subgrupo IA por apresentarem sementes pequenas e uma tendência de maior eficiência de absorção, resposta à inoculação e colonização micorrízica. Assim, é possível que as espécies deste subgrupo possam utilizar-se da estratégia de dependência micorrízica em outras condições, como por exemplo, de maior luminosidade, a qual poderia aumentar sua taxa de crescimento, demanda de P e produção de fotossintatos para o fungo, tal como sugerido ocorrer nas mudas de bancos de plântulas estudados por Ferrer e Herrera (1988) em Cuba.

O **grupo II** é formado por espécies com taxas de crescimento médias; portanto, é possível que elas sejam mais favorecidas que as espécies do grupo I por maior luminosidade na fase de mudas. Apresentam maior teor de P nos tecidos e maior demanda de P que as espécies do grupo I, excetuando-se a pororoca. Subdivide-se o grupo II em: **Subgrupo IIA-** espécies que utilizam de dependência micorrízica para compensar a deficiência de outras

estratégias nutricionais. Assim, o louro e a aroeira apresentam exigência de altos teores de P nos tecidos, a quaresmeira apresenta sementes extremamente pequenas (Quadro 3), e a leucena, uma eficiência de absorção baixa, deficiências estas que podem ser compensadas por micorrizas. As espécies deste subgrupo apresentam uma razão cp:dr e resposta ao P de média a alta, possibilitando a substituição da inoculação por adubações fosfatadas pesadas, de modo que sua dependência seja considerada facultativa; **Subgrupo IIB-** é representado apenas pela sibipiruna. Difere do subgrupo IIA por apresentar maior semente, menor razão cp:dr, baixa resposta ao P e ausência de colonização e de dependência micorrízica. É possível que após o esgotamento de suas reservas cotiledonares, apresente outras estratégias nutricionais para suprir sua baixa razão cp:dr e ausência de micorrizas e sustentar sua taxa de crescimento, teor e demanda de P médias. Entretanto, existe, também, a possibilidade que se torne dependente de micorrizas, pois já verificou-se colonização micorrízica nesta espécie (Carneiro et al., 1996; o presente estudo); **Subgrupo IIC-** difere do subgrupo IIA por tendências de menor teor de P nos tecidos e maior peso de sementes. Assim, as espécies deste subgrupo tendem a ser menos reponsivas ao P e à inoculação que as espécies do subgrupo IIA. Entretanto, tendem a apresentar maior colonização micorrízica e micotrofia mais obrigatória que aquelas das espécies do subgrupo IIA.

O **grupo III** é representado por espécies com taxas de crescimento altas; portanto, são espécies pioneiras heliófilas ou espécies que possivelmente se adaptam a condições de maior luminosidade. Dentro deste grupo, mesmo as espécies consideradas de vegetação clímax, como jatobá, cedro e ipê-amarelo, são facilmente encontradas crescendo a pleno sol. Devido à alta taxa de crescimento, apresentam demanda de P de média a muito alta. Subdividi-se este grupo em: **Subgrupo IIIA-** representado por jatobá e paineira, é caracterizado pelo teor médio de P nos tecidos e peso de sementes de alto a muito alto. Não respondem ao P e à inoculação, não apresentando dependência a micorrizas. A ausência de dependência pode ser devida ao pequeno tempo de condução do estudo, aparentemente insuficiente para esgotar suas grandes reservas cotiledonares. Isto é baseado na redução da quantidade de P nos discos de folha que estas espécies apresentam durante o crescimento inicial (Figura 17). Assim, é possível que estas espécies tornem-se dependentes de micorrizas após o esgotamento das reservas cotiledonares, pois apresentam colonização micorrízica quando mais velhas (Carneiro et al., 1996; presente estudo). Esta dependência pode ser tão acentuada quanto a verificada em ó.copaíba e guatambu, devido à alta taxa de crescimento, ao

médio teor de P nos tecidos e à média a alta demanda de P que estas espécie apresentam; **Subgrupo IIIB-** difere do subgrupo IIIA por menor peso de sementes, maior colonização micorrízica e pela dependência a micorrizas na fase de mudas. Embora a maioria das espécies deste subgrupo seja considerada micotrófica facultativa, seu grau de dependência micorrízica é elevado, possuindo colonização micorrízica de média a alta mesmo na concentração  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Portanto, a dependência é uma estratégia necessária para suprir as demandas de P e altas taxas de crescimento das espécies deste subgrupo; **Subgrupo IIIC-** é formado por espécies com alta taxa de crescimento, alto teor de P nos tecidos, grande demanda de P e baixo peso de sementes. Excetuando-se a.cavalo, neste subgrupo encontram-se as espécies consideradas tipicamente heliófilas de vegetação pioneira (Tabela 3), as quais respondem consideravelmente à adição de P (Fetcher et al., 1996). Estas espécies dependem muito da formação de micorrizas em condições de média e baixa fertilidade, para suprir sua grande demanda por nutrientes, sendo muito responsivas à inoculação nestas condições. Entretanto, como apresentam alta eficiência de absorção, alta razão cp:dr e alta resposta ao P, em condições de alta fertilidade não dependem de micorrizas e apresentam grande redução na colonização micorrízica e na resposta à inoculação. São, portanto, consideradas tipicamente micotróficas facultativas.

O agrupamento proposto na tabela 15 demonstra o quanto é diversificado o comportamento das espécies arbóreas tropicais e o quanto o enquadramento destas em grupos ecológicos relaciona-se pouco com um agrupamento que busca um enfoque aplicado na formação de mudas. O agrupamento proposto tem grande valor tecnológico no setor florestal, pois fornece informações sobre a necessidade de uso dos fungos micorrízicos, como estratégia nutricional, durante o desenvolvimento da muda no viveiro e, também, durante a sucessão natural. A inoculação com FMAs pode reduzir custos com fertilizantes na formação das mudas e no reflorestamento em solos de baixa fertilidade, com poucos propágulos destes fungos.

Uma recomendação de inoculação e adubação fosfatada para a formação de mudas em solos de baixa fertilidade é apresentada na tabela 15. Para pau-pereira, tento, ó.bálsamo, sibipiruna, jatobá e paineira, não há necessidade desta recomendação na formação das mudas, por não responderem ao P e à inoculação. Para j.branco, j.roxo, maria-mole e ipê-branco, por apresentarem certa resposta ao P, recomenda-se uma adubação fosfatada de modo a atingir a concentração de  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS. No caso do solo estudado, isto equivale à aplicação de 27 mg de P por quilograma, resultando em torno de  $2 \text{ mg.dm}^{-3}$  de P disponível no

solo (Mehlich I). Para maria-mole, ipê-branco, sibipiruna, jatobá e paineira, a inoculação de FMAs é opcional, pois não demonstram resposta à inoculação na fase de mudas, porém existe a possibilidade de se tornarem dependentes em fases posteriores. Para ó.copaíba, guatambu, saboneteira, ipê-roxo, pororoca e ipê-amarelo, recomenda-se uma adubação fosfatada também para atingir  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS, porém associada com a inoculação com FMAs, pois são espécies consideradas micotróficas obrigatórias e só respondem satisfatoriamente ao P na presença de FMAs. Para louro, aroeira, quaresmeira, leucena, pau-ferro, fedegoso, capixingui, cedro, c.carnaval, a.cavalo, embaúba, gravitinga e trema, que são micotróficas facultativas e apresentam alta resposta ao P, recomenda-se a concentração  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS associada à inoculação com FMAs ou apenas uma adubação fosfatada pesada de modo a atingir mais que  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS (aproximadamente entre  $0,2$  e  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$  de P na SS). Isto deve-se a que, para estas espécies, o ponto de igualdade entre as massas da parte aérea seca das plantas micorrizadas e não micorrizadas (estimado ser o ponto T', apresentado na Tabela 11) encontra-se entre as concentrações  $0,2$  e  $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ . Para o solo estudado, isto equivale à aplicação entre  $485$  e  $526 \text{ mg.kg}^{-1}$  de P, resultando entre  $28$  e  $35 \text{ mg.dm}^{-3}$  de P disponível no solo (Mehlich I). Estes cálculos foram baseados nas curvas apresentadas na figura 1A.

Desta maneira, a inoculação de mudas das espécies micotróficas facultativas em solo de baixa fertilidade representa uma economia de P aplicado no substrato de formação. No solo estudado, em termos de superfosfato simples, esta economia é da ordem de  $5,8$  a  $6,3 \text{ kg.m}^{-3}$  (considerando superfosfato simples com  $18\%$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Esta economia é pequena em comparação com a que poderá ser feita com o plantio de mudas micorrizadas em campo, quando se pretende reflorestar solos de baixa fertilidade com as espécies micotróficas facultativas. Para estas espécies, o custo da opção com inoculação é mais barato, devido à economia de fertilizantes, enquanto que o risco da opção do uso exclusivo de altas doses de fertilizante fosfatado é maior, pois caso a muda não micorrizada seja transplantada para um local de solo de baixa fertilidade e com poucos propágulos de FMAs, esta pode morrer após o esgotamento dos fertilizantes aplicados. Além disto, a introdução no campo de FMAs adaptados, através de mudas pré-colonizadas, auxiliará na recuperação de ecossistemas degradados e no restabelecimento de relações sinérgicas e competitivas entre os vegetais, favorecendo a sucessão. E, sobretudo, mudas inoculadas apresentarão maior capacidade de suportar estresses, como déficit hídrico, alta temperatura, elementos tóxicos e ataques de pragas e patógenos do sistema radicular, aumentando a probabilidade de sobrevivência destas quando transplantadas para o campo.

## 5 CONCLUSÕES

- Mudas de pau-pereira, tento, sibipiruna e j.branco não apresentaram formação de micorrizas arbusculares;
- Mudas de j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco apresentaram apenas traços de colonização micorrízica nas raízes;
- Mudas de gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentaram formação de micorrizas com *Glomus etunicatum*;
- Pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não apresentaram resposta à inoculação, apresentaram resposta ao P ausente ou de pequena magnitude e não apresentaram interação entre o fósforo no solo e a micorrização;
- Gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentaram interação entre o fósforo no solo e a micorrização, respondendo favoravelmente à inoculação e ao P, quando inoculadas;
- As espécies pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não apresentaram DM, sendo categorizadas como não dependentes de micorrizas;

•As espécies gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro, pau-ferro, pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba apresentaram DM, sendo consideradas dependentes de micorrizas;

•A categorização de DM de Habte e Manjunath (1991) e o T' de Janos (1988) concordaram na separação das espécies em dependentes e não dependentes, porém não permitiram uma separação mais detalhada do grau de dependência micorrízica;

•Mudas de pororoca, ipê-roxo, saboneteira, ipê-amarelo, guatambu e ó.copaíba só responderam ao P quando micorrizadas, sendo, desta maneira, consideradas micotróficas obrigatórias;

•Mudas de gravitinga, aroeira, trema, a.cavalo, c.carnaval, capixingui, quaresmeira, embaúba, louro, leucena, fedegoso, cedro e pau-ferro responderam ao P sem micorrizas, sendo, assim, consideradas micotróficas facultativas;

•Espécies micotróficas facultativas foram muito responsivas à inoculação sob condição de baixo fósforo disponível no solo, porém, em condições de alto fósforo disponível apresentaram altos teores de P nos tecidos e redução da colonização micorrízica;

•Espécies não dependentes de micorrizas apresentaram de baixo a médio teor de P nos tecidos, reduzida demanda de P e razão comprimento de pêlo:diâmetro de raiz (cp:dr), sementes mais pesadas e a maioria delas teve baixa taxa de crescimento e baixa ou ausente resposta ao P;

•Espécies micotróficas obrigatórias tenderam a apresentar comportamento semelhante, porém responderam ao P quando micorrizadas;

•Espécies micotróficas facultativas, em comparação aos grupos anteriores, apresentaram alta taxa de crescimento, elevado teor e eficiência de absorção de P, maior demanda nutricional, alta razão cp:dr e sementes menores, sendo responsivas ao P;

- A classificação das espécies estudadas em grupos sucessionais não se relacionou estatisticamente com as respostas obtidas aos diversos parâmetros estudados;

- Mudas de pau-pereira, tento, sibipiruna, j.branco, j.roxo, ó.bálsamo, jatobá, maria-mole, paineira e ipê-branco não necessitam ser micorrizadas durante a formação, porém, opcionalmente, pode-se inocular mudas de maria-mole, ipê-branco, sibipiruna, jatobá e paineira devido à possibilidade de se tornarem dependentes de micorrizas após a fase de formação;

- Mudas de louro, aroeira, quaresmeira, leucena, pau-ferro, fedegoso, capixingui, cedro, c.carnaval, a.cavalo, embaúba, gravitinga e trema necessitam ser micorrizadas quando se pretende cultivá-las em solo de baixa fertilidade;

- É necessária a inoculação das mudas de ó.copaíba, guatambu, saboneteira, ipê-roxo, pororoca e ipê-amarelo durante sua formação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADJOUND, D.; PRENCHETTE, C.; HALLI-HARGAS, R.; LAPEYRIE, F. Response of 11 eucalyptus species to inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.6, n.2, p.129-135, Mar. 1996.
- ALLEN, M.F. The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peek into the 21st. **Mycological Research**, Cambridge, v.100, n.7, p.769-782, July 1996.
- ANTUNES, V.; CARDOSO, E.J.B.N. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.131, n.1, p.11-19, Feb. 1991.
- ANTUNES, V.; CARDOSO, E.J.B.N. O fósforo e a micorriza vesículoarbuscular no crescimento de porta-enxertos de citros cultivados em solo natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.259-390, set./dez. 1990.
- AMARANTHUS, M.P.; TRAPPE, J.M. Effects of erosion on ecto- and VA-mycorrhizal inoculum potential of soil following forest fire in southwest Oregon. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.150, n.1, p.41-49, Mar. 1993.
- AMJEE, F.; TINKER, P.B.; STRIBLEY, D.P. The development of endomycorrhizal root systems VII. A detailed study of effects of soil phosphorus on colonization. **The New Phytologist**, Oxford, v.111, n.3, p.435-446, Mar. 1989.
- ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests. **The New Phytologist**, Oxford, v.124, n.4, p.561-582, Aug. 1993.
- AZIZ, T.; HABTE, M. Determining vesicular-arbuscular mycorrhizal effectiveness by monitoring P status of leaf disks. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.33, n.12, p.1097-1101, Dec. 1987.
- BÂ, A.M.; DALPÉ, Y.; GUISSOU, T. Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium* **Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v.250, n.4, p.5-18, oct./dec. 1996.
- BAON, J.B.; SMITH, S.E.; ALSTON, A.M. Growth response and phosphorus uptake of rye with long and short root hairs: Interactions with mycorrhizal infection. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.167, n.2, p.247-254, Dec. 1994.

- BAON, J.B.; SMITH, S.E.; ALSTON, A.M. Mycorrhizal responses of barley cultivars differing in P efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.157, n.1, p.97-105, Nov. 1993.
- BAYLIS, G.T.S. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p.373-389.
- BÉCARD, G.; PICHÉ, Y. New aspects on the acquisition of biotrophic status by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. **The New Phytologist**, Oxford, v.112, n.1, p.77-83, May 1989.
- BÉCARD, G.; PICHÉ, Y. Physiological factors determining vesicular-arbuscular mycorrhizal formation in host and nonhost Ri T-DNA transformed roots. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, n.6, v.68, p.1260-1264, June 1990.
- BERTA, G.; FUSCONI, A.; TROTTA, A.; SCANNERINI, S. Morphogenetic modifications induced by the mycorrhizal fungus *Glomus* strain E<sub>3</sub> in root system of *Allium porrum* L. **The New Phytologist**, Oxford, n.2, v.114, p.207-215, Feb. 1990.
- BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, Oxford, n.1, v.84, p.71-82, Feb. 1996.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency- what do we really mean?. In: RANDALL, P. J. et al. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**, The Hague: Kluwer Academic, 1993. p.205-213.
- BONONI, V.L.R.; TRUFEM, S.F.B. Endomicorrizas vesículo-arbusculares do cerrado da Reserva Biológica de Moji-Guaçu, SP, Brasil. **Rickia**, São Paulo, v.10, p.55-84, dez. 1983.
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.134, n.2, p.189-207, July 1991.
- BOWEN, G.D.; BEVEGE, D.I.; MOSSE, B. Phosphate physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizas. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p.241-260.
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances on Ecological Research**, London, v.21, p.171-313, 1991.
- BRUNDRETT, M.; KENDRICK, B. The mycorrhizal status, root anatomy, and phenology of plants in a sugar maple forest. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.66, n.6, p.1153-1173, June 1988.
- BRUNDRETT, M.; KENDRICK, B. The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants I. Quantitative aspects of morphology. **The New Phytologist**, Oxford, v.114, n.3, p.457-468, Mar. 1990a.

- BRUNDRETT, M.; KENDRICK, B. The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants II. Structural aspects of morphology. **The New Phytologist**, Oxford, v.114, n.3, p.469-479, Mar. 1990b.
- BRUNDRETT, M.; MURASE, G.; KENDRICK, B. Comparative anatomy of roots and mycorrhizae of common Ontario trees. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.68, n.3, p.551-578, Mar. 1990.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of sucessional processes. **Turrialba**, Turrialba, v.15, n.1, p.40-42, ene./mar. 1965.
- BURSLEM, D.F.R.P.; GRUBB, P.J.; TURNER, I.M. Responses to nutrient addition among shade-tolerant tree seedlings of lowland tropical rain forest in Singapore. **Journal of Ecology**, Oxford, v.83, n.1, p.113-122, Feb. 1995.
- CAMARGO, A.F.; OLIVEIRA, E. de; ROSADO, S.C.S. Micorrizas vesicular-arbusculares em óleo copaíba (*C. langsdorffii* - Caesalpinioideae). In: CONGRESSO FLORESTAL DO PARANÁ, 2, Curitiba, 1988. **Anais...** Curitiba: Instituto Florestal do Paraná, 1988. p.669-678.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C.; GOMES, L.J.; CURI, N.; VALE, F.R. do. Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.50, p.21-36, dez. 1996.
- CARRENHO, R.; BONONI, V.L.R. Efeito de inundações periódicas sobre populações nativas de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) em áreas degradadas de matas ciliares em Mogi-Guaçu-SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 4, Mendes, 1991. **Programas e resumos...** Mendes: EMBRAPA-CNPBS/UFRRJ, 1991. p.161.
- CHAGAS, C. da S. **Associação de Latossolo variação Una e Latossolo vermelho-escuro: efeito diferencial da orientação dos estratos de rochas pelíticas pobres**. Lavras: ESAL, 1994. 124p. (Dissertação de Mestrado).
- CHAPIN, F.S. III. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review on Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.11, p.233-260, 1980.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Response of leucaena to vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization. **Leucaena Research Reports**, Taipei, v.11, p.42-44, 1990.
- CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. Boston: Houghton Mifflin, 1968. 296p.
- CUENCA, G.; HERRERA, R.; MENESES, E. Las micorrizas vesiculo arbusculares y el cultivo del cacao en Venezuela. **Acta Cientifica Venezolana**, Caracas, v.42, n.3, p.153-159, 1991.
- DAVIDE, A.C. **Index seminum do Laboratório de Sementes Florestais**. Lavras: ESAL/DCF, 1993. n.p.

- DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R.; BOTELHO, S.A. **Propagação de espécies florestais**. Belo Horizonte: CEMIG; Lavras: UFLA, 1995. 41p.
- DECLERCK, S.; PLENCHETTE, C.; STRULLU, D.G. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.176, n.1, p.183-187, Sep. 1995.
- DIXON, R.K.; GARRETT, H.E.; COX, G.S. Boron fertilization, vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and growth of *Citrus jambhiri* Lush. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.12, n.6, p.687-700, June, 1989.
- DOUDS JR., D.D.; GALVEZ, L.; JANKE, R.R.; WAGONER, P. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.52, n.2-3, p.111-118, Feb. 1995.
- EL-ATRACH, F.; VIERHEILIG, H. ; OCAMPO, J.A. Influence of non-host plants on vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of host plants and on spore germination. **Soil, Biology and Biochemistry**, Oxford, v.21, n.1, p.161-163, 1989.
- ESTAÚN, V.; CALVET, C.; HAYMAN, D.S. Influence of plant genotype on mycorrhizal infection: Response of three pea cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.103, n.2, p.295-298, 1987.
- FERRER, R.L.; HERRERA, R.A. Micotrofia en Sierra del Rosario. In: HERRERA, R.A.; MENÉNDEZ, L.; RODRÍGUEZ, M.E.; GARCÍA, E.E. **Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba: Proyecto MAB nº 1, 1974-1987**. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática/Academia de Ciencias en Cuba, 1988. p.473-484.
- FETCHER, N.; HAINES, B.L.; CORDERO, R.A.; LODGE, D.J.; WALKER, L.R.; FERNÁNDEZ, D.S.; LAWRENCE, W.T. Responses of tropical plants to nutrients and light on a landslide in Puerto Rico. **Journal of Ecology**, Oxford, v.84, n.3, p.331-341, June 1996.
- FISCHER, C.R.; JANOS, D.P.; PERRY, D.A.; LINDERMAN, R.G.; SOLLINS, P. Mycorrhiza inoculum potentials in tropical secondary succession. **Biotropica**, St. Louis, v.26, n.4, p.369-377, Dec. 1994.
- FITTER, A.H. Functional significance of root morphology and root system architecture. In: FITTER, A.H.; ATKINSON, D.; READ, D.J.; USHER, M.B. **Ecological interactions in soil: plants, microbes and animals**. London, Blackwell Scientific Publications, 1985. p.87-106.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.110, n.1; p.101-109, Aug. 1988.

- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.132, n.2, p.261-272, Apr. 1991.
- FÖHSE, D.; JUNGK, A. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.74, n.3; p.359-368, 1983.
- GANGE, A.C.; BROWN, V.K.; FARMER, L.M. A test of mycorrhizal benefit in an early successional plant community. **The New Phytologist**, Oxford, v.115, n.1, p.85-91, May 1990.
- GARRIOCK, M.L.; PETERSON, R.L.; ACKERLEY, C.A. Early stages in colonization of *Allium porrum* (leek) roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus versiforme*. **The New Phytologist**, Oxford, v.112, n.1, p.85-92, May 1989.
- GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.6, p.397-418, 1968.
- GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhizal. In: TORREY, J.G.; CLARKSON, D.T. **The development and function of roots**. London: Academic Press, 1975. p.575-591.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, Cambridge, v.46, n.2, p.235-244, June 1963.
- GIANINAZZI-PEARSON, V. Recent research into the cellular, molecular and genetical bases of compatible host-fungus interactions in (vesicular) arbuscular endomycorrhiza: Approaches and advances. In: SÉMINAIRE RÉGIONAL SUR INTERACTION PLANTES MICROORGANISMES, Dakar, 1992. **Interactions plantes microorganismes**. Stockholm: IFS/ORSTOM, 1992. p.253-263.
- GRACIOLLI, L.A.; GRACIOLLI, E.I.B. Micorrizas vesículo-arbusculares em espécies nativas utilizadas no reflorestamento ciliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE AMBIENTAL, 1, Rio Claro, 1994. **Resumos...** Rio Claro: UNESP, 1994. p.190
- GRAHAM, J.H.; SYVERTSEN, J.P. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. **The New Phytologist**, Oxford, v.101, n.4, p.667-676, Dec. 1985.
- GROSS, K.L.; MARUCA, D.; PREGITZER, K.S. Seedling growth and root morphology of plants with different life-histories. **The New Phytologist**, Oxford, v.120, n.4, p.535-542, Apr. 1992.
- HABTE, M. Impact of simulated erosion on the abundance and activity of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal endophytes in an Oxisol. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.7, p.164-167, 1989.
- HABTE, M.; FOX, R.L.; HUANG, R.S. Determining vesicular-arbuscular mycorrhizal effectiveness by monitoring P status of subleaflets of an indicator plant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.18, n.12, p.1403-1420, Dec. 1987.

- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. *Mycorrhiza*, Heidelberg, v.1, n.1, p.3-12, Sep. 1991.
- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Soil solution phosphorus status and mycorrhizal dependency in *Leucaena leucocephala*. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.53, n.4, p.797-801, Apr. 1987.
- HABTE, M.; MURULEEDHARA, B.N.; IKAWA, H. Response of Neem (*Azadirachta indica*) to soil P concentration and mycorrhizal colonization. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, West Succex, v.7, p.327-333, 1993.
- HABTE, M.; MUSOKO, M. Changes in the vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of *Albizia ferruginea* and *Enterolobium cyclocarpum* in response to soil phosphorus concentration. *Journal of Plant Nutrition*, Monticello, v.17, n.10, p.1769-1780, Sep. 1994.
- HABTE, M.; TURK, D. Response of two species of *Cassia* and *Gliricidia sepium* to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.22, n.17-18, p.1861-1872, Nov. 1991.
- HAIR JR., J.F.; ANDERSON, R.E. ; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. *Multivariate data analysis: with readings*. 3th ed. New York: MacMillan, 1992. 544p.
- HALLMARK, W.B.; BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of early growth of soybeans as affected by soil P and K. *Agronomy Journal*, Madison, v.76, n.2, p.209-212, Mar./Apr. 1984.
- HERRERA, R.A. Los sistemas radicales en los bosques tropicales. In: HERRERA, R.A.; MENÉNDEZ, L.; RODRÍGUEZ, M.E.; GARCÍA, E.E. *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba: Proyecto MAB nº 1, 1974-1987*. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática/Academia de Ciencias en Cuba, 1988. p.407-423.
- HERRERA, R.A.; MENÉNDEZ, L.; VILAMAJÓ, D. Las estrategias regenerativas, competitivas y sucesionales de los bosques siempreverdes en la Sierra del Rosario. In: HERRERA, R.A.; MENÉNDEZ, L.; RODRÍGUEZ, M.E.; GARCÍA, E.E. *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba: Proyecto MAB nº 1, 1974-1987*. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática/Academia de Ciencias en Cuba, 1988. p.296-323.
- HERRERA, R.A.; RODRÍGUEZ, M.E.; OROZCO, M.O.; FURRAZOLA, E.; FERRER, R.L. Las micorrizas y el funcionamiento de los bosques tropicales. In: HERRERA, R.A.; MENÉNDEZ, L.; RODRÍGUEZ, M.E.; GARCÍA, E.E. *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba: Proyecto MAB nº 1, 1974-1987*. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática/Academia de Ciencias en Cuba, 1988. p.627-671.

- HETRICK, B.A.D.; KITT, D.G.; WILSON, G.W.T. Mycorrhizal dependence and growth habit of warm-season and cool-season tallgrass prairie plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.66, n.7, p.1376-1380, July 1988.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; COX, T.S. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors: a synthesis. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.71, n.3, p.512-518, Mar. 1993.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; COX, T.S. Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties, landraces, and ancestors. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.70, n.10, p.2032-2040, Oct. 1992.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; GILL, B.S.; COX, T.S. Chromosome location of mycorrhizal responsive genes in wheat. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.73, n.6, p.891-897, June 1995.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; LESLIE, J.F. Root architecture of warm- and cool-season grasses: relationship to mycorrhizal dependence. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.69, n.1, p.112-118, Jan. 1991.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; SCHWAB, A.P. Mycorrhizal activity in warm- and cool-season grasses: variation in nutrient-uptake strategies. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.72, n.7, p.1002-1008, July 1994.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; TODD, T.C. Differential responses of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses to mycorrhizal symbiosis, P fertilization and soil microorganisms. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.68, n.3, p.461-467, Mar. 1990.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; TODD, T.C. Mycorrhizal responses in wheat cultivars: relationship to phosphorus. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.74, n.1, p.19-25, Jan. 1996.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; TODD, T.C. Relationships of mycorrhizal symbiosis, rooting strategy, and phenology among tallgrass prairie forbs. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.70, n.8, p.1521-1528, Aug. 1992.
- ITOH, S.; BARBER, S.A. Phosphorus uptake by six plant species as related to root hairs. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, n.3, p.457-461, May/June 1983.
- JANOS, D.P. Methods for vesicular-arbuscular mycorrhiza research in the lowland wet tropics. In: MEDINA, E.; MOONEY, H.A.; VASQUEZ-YANES, C. **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. The Hague: Dr. W. Junk N.V., 1984. p.173-187.
- JANOS, D.P. Mycorrhiza applications in tropical forestry: are temperate-zone approaches appropriate? In: NG, F.S.P. **Trees and mycorrhiza**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute, 1988. p.133-188.

- JANOS, D.P. Mycorrhizal fungi: Agents or symptoms of tropical community composition? In: **NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MYCORRHIZAE**, 6th, Bend, 1984. **Proceedings...** Bend: Forest Research Laboratory, 1985. p. 98-103.
- JANOS, D.P. VA mycorrhizas in humid tropical ecosystems. In: SAFIR, G.R. **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton: CRC Press, 1987. p.107-134.
- JANOS, D.P. Mycorrhizae influence tropical succession. **Biotropica**, Washington, v.12, n.1, p.56-64 and 83-95, Mar. 1980a.
- JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. **Ecology**, Washington, v.61, n.1, p.151-162, Feb. 1980b.
- JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of epiphytes. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.4, n.1, p.1-4, Jan. 1993.
- JANOS, D.P.; SAHLEY, C.T.; EMMONS, L.H. Rodent dispersal of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in Amazonian Peru. **Ecology**, Washington, v.76, n.6, p.1852-1858, Sep. 1995.
- JANSE, J.M. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. **Annales de Jardin Botanique Buitenzorg**, v.14, p.53-201, 1896.
- JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. **The New Phytologist**, Oxford, v.118, n.3, p.471-476, July 1991.
- JASPER, D.A.; DAVY, J.A. Root characteristics of native plant species in relation to the benefit of mycorrhizal colonization for phosphorus uptake. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, p.281-284, Oct. 1993.
- KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **The New Phytologist**, Oxford, v.117, n.3, p.365-86, Mar. 1991.
- KOIDE, R.T.; SCHREINER, R.P. Regulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.43, p.557-581, 1992.
- KORMANIK, P.P. Importance of first-order lateral roots in the early development of forest tree seedlings. In: VANCURA, V.; KUNC, F. **Interrelationships between microorganisms and plants in soil: proceedings of an International Symposium**, Liblice, 1987. Praha: Czechoslovak Academy of Sciences, 1989. p. 157-169.
- KORMANIK, P.P. Lateral root morphology as an expression of sweetgum seedling quality. **Forest Science**, Bethesda, v.32, n.3, p.595-604, Sept. 1986.
- KORMANIK, P.P.; BRYAN, W.C.; SCHULTZ, R.C. Effects of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on sweetgum seedlings from nine mother trees. **Forest Science**, Washington, v.27, n.2, p.327-335, June 1981.

- KORMANIK, P.P.; BRYAN, W.C.; SCHULTZ, R.C. Influence of endomycorrhizae on growth of sweetgum seedlings from eight mother trees. **Forest Science**, Washington, v.23, n.4, p.500-506, Dec. 1977.
- KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, Cambridge, v.92, n.4, p.486-488, June 1989.
- KVET, J.; MARSHALL, J.K. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: SESTAK, Z.; CATSKÝ, J. ; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: Manual of methods**. The Hague: Dr. W. Junk N.V., 1971. p.517-555.
- LIMA, P.C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; ZAMBOLIM, L. Efeito de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares no crescimento de *Eucalyptus grandis*, em condições de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, n.2, p.169-178, maio/ago. 1994
- LOREE, N.A.J.; WILLIAMS, S.E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and severe land disturbance. In: WILLIAMS, S.E.; ALLEN, M.F. **VA mycorrhizae and reclamation of arid and semi-arid lands**. Laramie: University of Wyoming Agricultural Experiment Station, 1984. p.1-14.
- LOUIS, I.; LIM, G. Differential response in growth and mycorrhizal colonisation of soybean to inoculation with two isolates of *Glomus clarum* in soils of different P availability. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.112, n.1, p.37-43, Nov. 1988.
- MANJUNATH, A.; HABTE, M. Establishment of soil solution P levels for studies involving vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, n.7-8, p.557-566, May 1990.
- McGONIGLE, T.P.; MILLER, M.H.; EVANS, D.G.; FAIRCHILD, G.L.; SWAN, J.A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **The New Phytologist**, Oxford, v.115, n.3, p.495-501, July 1990.
- MEDEIROS, C.A.B.; CLARK, R.B.; ELLIS, J.R. Effects of excess manganese on mineral uptake in mycorrhizal sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.18, n.2, p.201-217, Feb. 1995.
- MEDEIROS, C.A.B.; CLARK, R.B.; ELLIS, J.R. Growth and nutrient uptake of sorghum cultivated with vesicular-arbuscular mycorrhiza isolates at varying pH. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.4, n.5, 185-191, 1994
- MENGE, J.A.; JOHNSON, E.L.V.; PLATT, R.G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. **The New Phytologist**, Oxford, v.81, n.3, p.553-559, Nov. 1978.
- MIRANDA, J.C.C. de; HARRIS, P.J. The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi during the early stages of mycorrhiza formation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.166, n.2, p.271-280, Oct. 1994.

- MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, with an emendations of Glomaceae. *Mycotaxon*, Ithaca, v.37, p.471-491, 1990.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v.11, p.171-196, 1973.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.
- NAIR, M.G.; SAFIR, G.R.; SIQUEIRA, J.O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.57, n.2, p.434-439, Feb. 1991.
- NICHOLS, O.G.; KOCH, J.M.; TAYLOR, S.; GARDNER, J. Conserving biodiversity. In: AUSTRALIAN MINING INDUSTRY COUNCIL ENVIRONMENTAL WORKSHOP, Perth, 1991. *Proceedings...* Perth: Australian Mining Industry Council, 1991. p.1-20.
- OLIVEIRA FILHO, A.T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. *Cerne*, Lavras, v.1, n.1, p.64-72, 1994.
- OLIVEIRA JUNIOR., V.M.; NEPSTAD, D.C.; CHU, E.Y.; TRUFEM, S.F.B. Ocorrência natural de esporos de F.M.V.A. até 8 metros de profundidade em épocas diferentes de três ecossistemas do município de Paragominas-PA. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, V, Florianópolis, 1994. *Resumos...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p.18.
- OLLIVIER, B.; BERTHEAU, Y.; DIEM, H.G.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Influence de la variété de *Vigna unguiculata* dans l'expression de trois associations endomycorhiziennes à vésicules et arbuscules. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.61, n.1, p.354-358, Jan 1983.
- PARON, M. E.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R.do. Crescimento da copaíba e guatambú em resposta a fungo micorrízico, superfosfato, nitrogênio e fumigação do solo. *Cerne*, Lavras, v.2, n.2, p.15-30, 1996.
- PARROTA, J.A. The role of plantation forest in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.41, n.2, p.115-133, July 1992.
- PEAT, H.J.; FITTER, A.H. The distribution of arbuscular mycorrhizas in the British flora. *The New Phytologist*, Oxford, v.125, n.4, p.845-854, Dec. 1993.
- PEREIRA, E.G.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S.; PURCINO, A.A.C. Efeitos da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.8, n.1, p.59-65, 1996.
- SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em café. In: SIQUEIRA, J.O. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA, 1997.

- PERRY, D.A.; MOLINA, R.; AMARANTHUS, M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: current knowledge and research needs. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.17, n.8, p.929-940, 1987.
- PETERSON, R.L.; FARQUHAR, M.L. Root hairs: specialized tubular cells extending root surfaces. **The Botanical Review**, New York, v.62, n.1, p.1-40, Jan./Mar. 1996.
- PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; COSTA, L.G.S.; REIS, A. Estratégias de estabelecimento de espécies arbóreas e o manejo de florestas tropicais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais...** Campos do Jordão, 1990. p.676-684.
- PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A.; FURLAN, V. Growth responses of several plants species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility I. Mycorrhizal dependency under field conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v.70, n.2, p.199-209, 1983.
- PLENCHETTE, C.; MOREL, C. External phosphorus requeriment of mycorrhizal and non-mycorrhizal barley and soybean plants. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.21, n.4, p.303-308, Mar. 1996.
- POWELL, C.L. Mycorrhizal infectivity of eroded soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.12, p.247-250, 1980.
- PRICE, N.S.; RONCADORI, R.W.; HUSSEY, R.S. Cotton root growth as influenced by phosphorus nutrition and vesicular-arbuscular mycorrhizas. **The New Phytologist**, Oxford, v.111, n.1, p.61-66, Jan. 1989.
- REINHARDT, D.R.; MILLER, R.M. Size class of root diameter and mycorrhizal fungal colonization in two temperate grassland communities. **The New Phytologist**, Oxford, v.116, n.1, p.129-136, Sept. 1990.
- ROBINSON, D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrient. **The New Phytologist**, Oxford, v.127, n.4, p.635-674, Ago. 1994.
- ROCHA, M.R. da; OLIVEIRA, E. de; CORRÊA, G. de C. Efeitos de doses de fósforo e fungos MVA no crescimento e nutrição mineral da tangerineira 'Cleópatra' (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) em sementeira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.725-731, maio 1994.
- SAIF, S.R. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae I. Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.97, n.1, p.25-35, 1987.
- SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.221-228, maio/ago. 1995.
- SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA, 1997.

- SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. 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**, Campinas, v.18, n.1, p.27-36, jan./abr. 1994.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1974. 56p.
- SCHJØRRING, J.K. ; JENSÉN, P. Phosphorus nutrition of barley, buckwheat and rape seedlings. II. Influx and efflux of phosphorus by intact roots of different P status. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.61, n.4, p.584-590, Aug. 1984.
- SCHWAB, S.M.; MENGE, J.A.; TINKER, P.B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **The New Phytologist**, Oxford, v.117, n.3, p.387-398, Mar. 1991.
- SCHWEIGER, P.F.; ROBSON, A.D.; BARROW, N.J. Root hair length determines beneficial effect of a *Glomus* species on shoot growth of some pasture species. **The New Phytologist**, Oxford, v.131, n.2, p.247-254, Oct. 1995.
- 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, 1991. **Programas e resumos...** Mendes: EMBRAPA-CNPBS/UFRRJ, 1991. p.105-131.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas: forma e função. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 1, Lavras, 1985. **Anais...** Lavras: FAEPE, 1986. p.5-32.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p.207-211, set./dez. 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. de. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1499-1506, dez. 1989.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo** Fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ABEAS; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236p.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.12, p.1465-1474, dez. 1984.
- SIQUEIRA, J.O.; SAFIR, G.R.; NAIR, M.G. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **The New Phytologist**, Cambridge, v.118, n.1, p.87-93, May 1991.

- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN JÚNIOR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL STRESS, 1, Belo Horizonte, 1992. **Maize in perspective: proceedings**, Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS; Mexico: CIMMYT/UNDP, 1995. p.239-280.
- SMITH, S.E.; SMITH F.A. Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport. **The New Phytologist**, Oxford, v. 114, n.1; p.1-38, Jan. 1990.
- SOUZA, P.V.D. de; MORALES, C.F.G.; KOLLER, O.C.; BARRADAS, C.M.F.; SILVEIRA, D.F. da. Influência de substratos e fungos micorrízicos no enraizamento de estacas de laranjeiras (*Citrus sinensis* Osb. cv. Valência). **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.37-40, 1995.
- ST. JOHN, T.V. Root size, root hairs and mycorrhizal infection: a re-examination of Baylis's hypothesis with tropical trees. **The New Phytologist**, Oxford, v.84, n.3, p.483-487, Mar. 1980a.
- ST. JOHN, T.V. Uma lista de espécies de plantas tropicais brasileiras naturalmente infectadas com micorrizas vesicular-arbuscular. **Acta Amazônica**, Manaus, v.10, n.1, p.229-234, mar. 1980b.
- ST. JOHN, T.V.; COLEMAN, D.C. The role of mycorrhizae in plant ecology. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.61, n.3, p.1005-1014, Mar. 1983.
- STAHL, P.D.; SMITH, W.K. Effects of different geographic isolates of *Glomus* on the water relations of *Agropyron smithii*. **Mycologia**, New York, v.76, n.2, p.261-267, Mar./Apr. 1984.
- STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B.; RAYNER, J.H. Relation of internal phosphorus concentration and plant weight in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhizas **The New Phytologist.**, Oxford, v.86, n.3, p.261-266, Nov. 1980.
- STURMER, S.L.; BELLEI, M.M. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.72, n.3, p.359-363, Mar. 1994.
- SYLVIA, D.M.; WILLIAMS, S.E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stresses. In: BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G. **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1992. p.101-124.
- THOMAZINI, L.I. Mycorrhiza in plants of the 'Cerrado'. **Plant and soil**, The Hague, v.41, n.3, p.707-711, Dec. 1974.
- THOMAZINI-CASAGRANDE, L.I. Micorriza em plantas do cerrado: *Cassia occidentalis* L. **Oyton**, Buenos Aires, v.39, n.9, p.113-120, 1980.
- TOMAN, M.A.; ASHTON, P.M.S. Sustainable forest ecosystems and management: a review article. **Forest Science**, Bethesda, v.42, n.3, p.366-377, Ago 1996

- TRAPPE, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: SAFIR, G.R. **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton: CRC Press, 1987. p.5-25.
- TRUFEM, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v.4, n.2, p.31-45, dez. 1990.
- TRUFEM, S.F.B.; MALATINSZKY, S.M.M. Fungos micorrízicos arbusculares em Melastomataceae e outras plantas resistentes e sensíveis à poluição na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v.22, n.1/2, p.76-91, dez. 1995.
- TRUFEM, S.F.B.; VIRIATO, A. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.13, p.49-54, 1990.
- VIERHEILIG, H.; OCAMPO, J.A. Effect of isothiocyanates on germination of spores of *G. mosseae*. **Soil, Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, n.8, p.1161-1162, 1990.
- WEBER, O.B.; AMORIM, S.M.C. de. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos vesículoarbusculares em mamoeiro 'solo'. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.187-191, maio/ago. 1994.
- WEBER, O.B.; OLIVEIRA, E. de. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em citros nos Estados da Bahia e Sergipe. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.29, n.12, p.1905-1914, dez. 1994.
- WEBER, O.B.; OLIVEIRA, A.A.R.; MAGALHÃES, A.F. de J. Adubação orgânica e inoculação com *Glomus etunicatum* em porta-enxertos de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.321-326, set./dez. 1990.
- WEST, H.M. Influence of arbuscular mycorrhizal infection on competition between *Holcus lanatus* and *Dactylis glomerata*. **Journal of Ecology**, Oxford, v.84, n.3, p.429-438, June 1996.
- WHITMORE, T.C. The influence of tree population dynamics on forest species composition. In: DAVY, A.J.; HUTCHINGS, M.J.; WATKINSON, A.R. **Plant population ecology**. Oxford: Blackwell Sc., 1988. p.271-291.
- ZAMBOLIM, L.; REIS, M.A. dos; COSTA, L.M. da. Substratos para multiplicação de inóculo do fungo micorrízico vesículo-arbuscular *Glomus etunicatum*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.17, n.1, p.28-31, abr. 1992.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JUNIOR, P. **Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST)**. Pelotas: Departamento de Matemática e Estatística, 1984. 151p.

## ANEXOS

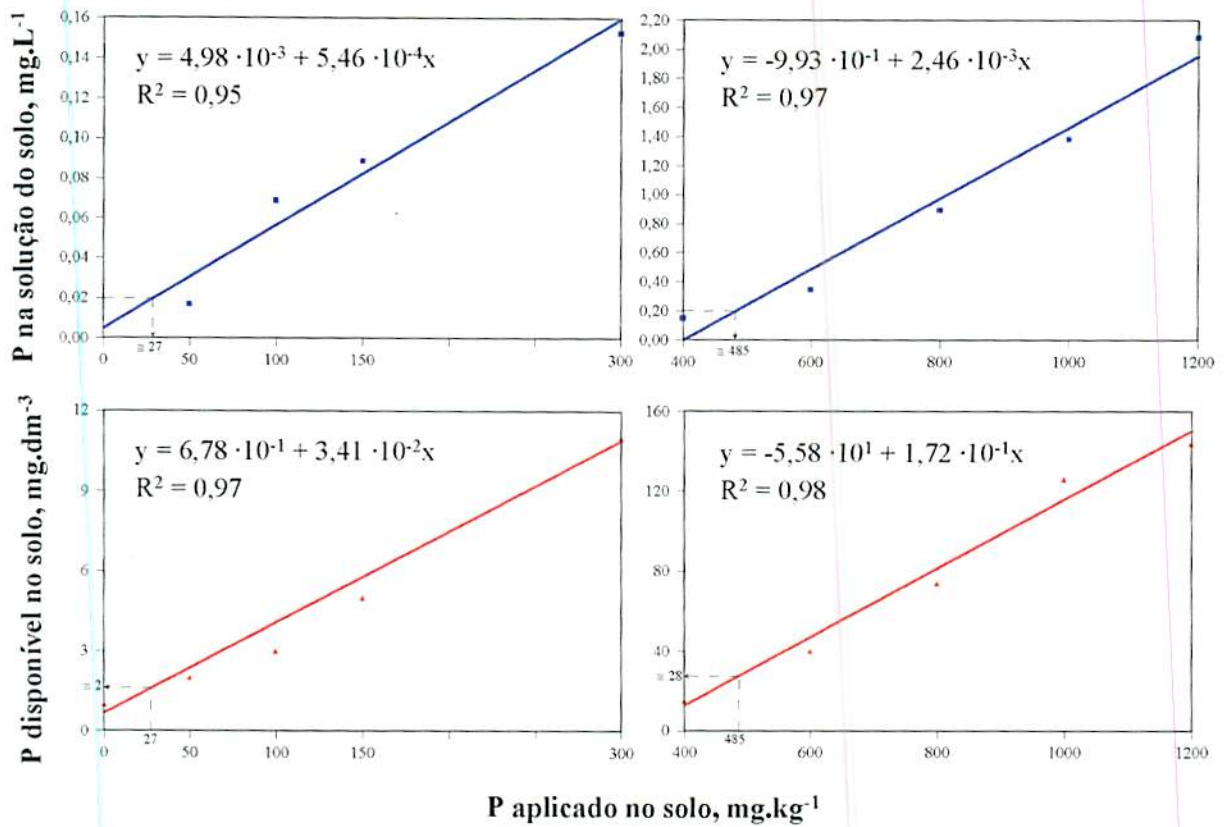


Figura 1A. Regressões lineares entre P na solução do solo e P disponível no solo (Mehlich I) em função do P aplicado no solo, determinadas em ensaio prévio realizado para o estabelecimento dos tratamentos de concentrações de fósforo na solução do solo.

TABELA 1A. Resumo das ANAVAs de colonização micorrízica por apenas hifas (CH), arbúsculos (CA), vesículas (CV) e total (CT), e densidade de esporos

Espécie	CH	CA	CV	CT	dens. esporos
J.Roxo	ns	ns	ns	ns	ns
Ó.bálsamo	ns	ns	ns	ns	ns
Jatobá	ns	*	ns	*	**
Maria-mole	ns	ns	ns	ns	ns
Paineira	**	ns	ns	**	ns
Ipê-branco	ns	ns	ns	ns	...(1)
Gravitinga	**	**	**	**	**
Aroeira	*	**	ns	**	ns
Trema	**	**	**	**	**
A.cavalo	ns	ns	**	ns	**
C.carnaval	...	**	ns	**	**
Capixingui	ns	*	**	*	**
Quaresmeira	ns	*	...	ns	**
Embaúba	ns	*	*	*	**
Louro	__(2)	__	__	__	**
Leucena	**	**	ns	**	**
Fedegoso	...	ns	*	ns	ns
Cedro	**	*	*	**	**
Pau-ferro	...	**	ns	**	*
Pororoca	ns	*	*	*	**
Ipê-roxo	ns	ns	ns	ns	ns
Saboneteira	**	*	ns	**	**
Ipê-amarelo	*	ns	ns	*	*
Guatambu	__	__	__	__	ns
Ó.copaíba	__	__	__	__	ns

(1): ... = não observada colonização ou esporulação

(2): \_\_ = não determinado por dificuldades no processo de coloração.

TABELA 2A. Regressões ajustadas para massa da parte aérea seca de arbóreas micorrizadas (Ma) ou não (Ni) em função do fósforo na solução do solo

Espécie	Equação		Coeficiente				Estatística(2)					
	n° (1)	fórmula	a	erro padrão	b	erro padrão	c	erro padrão	R <sup>2</sup>	F	p>F	
<b>Espécies que não respondem à micorrização</b>												
Pau-perceira	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	1,59512	0,17	0,16439	0,04		1,00	13,8	0,00	
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,83468	0,11	88,98931	24,53		0,97	16,0	0,00	
Tento	Ma	1147	$y=a+b\ln(x)+\ln(x^2)$	1,66402	0,28	0,26662	0,17	0,03574	0,02	1,00	1,8	0,18
	Ni	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	1,57748	0,36	0,16510	0,22	0,01901	0,03	1,00	0,2	0,65
Sibipiruna	Ma	14	$y=a+b/\ln(x)$	0,41494	0,15	-1,85776	0,39			1,00	14,2	0,00
	Ni	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	2,69427	0,57	0,81257	0,34	0,09053	0,04	1,00	5,6	0,02
J.branco	Ma	11	$y=a-bx/\ln(x)$	0,39204	0,06	-4,72421	0,77			1,00	49,5	0,00
	Ni	14	$y=a+b/\ln(x)$	0,08090	0,06	-1,53124	0,16			1,00	58,6	0,00
J.roxo	Ma	21	$y=a-b\exp(-x)$	3,53575	0,60	-3,42778	0,64			1,00	19,5	0,00
	Ni	5	$y=a-bx^2\ln(x)$	0,15534	0,09	-10,39291	2,36			1,00	23,9	0,00
Ó.bálsamo	Ma	19	$y=a-b\ln(x)/x^2$	0,49225	0,08	0,00000	0,00			0,99	2,2	0,14
	Ni	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	0,66962	0,16	0,18993	0,10	0,02309	0,01	1,00	1,2	0,27
Jatobá	Ma	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	1,50868	0,52	-0,50332	0,30	-0,05742	0,04	1,00	1,4	0,25
	Ni	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	0,64428	0,72	-1,18213	0,44	-0,15449	0,05	1,00	10,9	0,00
Maria-mole	Ma	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	-0,01072	0,33	-0,14690	0,22	-0,02321	0,03	1,00	1,1	0,30
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,01043	0,03	16,75832	4,27			1,00	1,8	0,19
Paineira	Ma	19	$y=a-b\ln(x)/x^2$	1,61464	0,06	0,00000	0,00			0,93	1,9	0,18
	Ni	1147	$y=a-b\ln(x)+\ln(x^2)$	2,30638	0,25	0,37694	0,15	0,04374	0,02	1,00	5,2	0,03
Ipê-branco	Ma	7	$y=a+bx^3$	0,08411	0,04	59,48637	7,61			1,00	53,5	0,00
	Ni	11	$y=a+bx/\ln(x)$	0,07391	0,04	-2,22271	0,52			1,00	18,6	0,00
<b>Espécies que respondem à micorrização</b>												
Gravitinga	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	2,74639	0,07	0,44616	0,02			0,99	1577,5	0,00
	Ni	6	$y=a+bx^2x^{1/2}$	0,00506	0,02	115,18507	1,99			1,00	2070,3	0,00
Aroeira	Ma	14	$y=a+b/\ln(x)$	-0,49013	0,12	-3,22888	0,30			1,00	104,5	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,00888	0,08	185,00151	17,25			1,00	114,9	0,00
Trema	Ma	12	$y=a+bx^{1/2}$	-0,12626	0,09	8,12243	0,35			0,99	608,3	0,00
	Ni	4	$y=a+bx^2$	-0,00084	0,09	81,42058	3,56			1,00	618,4	0,00
A.cavalo	Ma	12	$y=a+bx^{1/2}$	-0,05547	0,09	6,63673	0,31			0,99	416,8	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,02639	0,07	277,57519	15,47			1,00	352,0	0,00
C.carnaval	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	4,11455	0,10	0,65492	0,02			0,99	1397,5	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,06112	0,03	270,60955	6,75			1,00	942,5	0,00
Capixingui	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	3,27223	0,10	0,47816	0,02			1,00	582,1	0,00
	Ni	4	$y=a+bx^2$	0,10582	0,04	46,96539	1,75			1,00	520,7	0,00
Quaresmeira	Ma	17	$y=a+b/x$	1,81108	0,10	-0,00301	0,00			1,00	90,0	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	-0,00057	0,07	145,54023	14,55			1,00	52,5	0,00
Embaúba	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	5,08278	0,18	0,80149	0,04			1,00	497,8	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	-0,00124	0,06	313,15525	13,88			1,00	305,5	0,00
Louro	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	2,25696	0,10	0,34396	0,02			1,00	288,8	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,01796	0,04	134,12888	8,57			1,00	176,5	0,00
Leucena	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	3,17746	0,10	0,40421	0,02			1,00	450,4	0,00
	Ni	6	$y=a+bx^2x^{1/2}$	0,12163	0,03	83,31431	2,49			1,00	404,6	0,00
Fedegoso	Ma	14	$y=a+b/\ln(x)$	-1,00226	0,29	-6,73253	0,72			1,00	149,6	0,00
	Ni	6	$y=a+bx^2x^{1/2}$	0,07571	0,06	94,71384	6,01			1,00	53,3	0,00
Cedro	Ma	16	$y=a+b\ln(x)/x$	2,90341	0,14	0,00079	0,00			1,00	200,5	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,14119	0,04	105,12784	8,84			1,00	23,7	0,00
Pau-ferro	Ma	12	$y=a+bx^{1/2}$	-0,04860	0,14	8,94090	0,53			1,00	393,1	0,00
	Ni	3	$y=a+bx.x^{1/2}$	0,25084	0,07	26,16470	1,43			1,00	196,2	0,00
Pororoca	Ma	17	$y=a+b/x$	1,48836	0,10	-0,00269	0,00			1,00	112,4	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,03617	0,02	34,97791	4,61			1,00	5,7	0,02
Ipê-roxo	Ma	13	$y=a+b\ln(x)$	1,11603	0,08	0,12927	0,02			0,99	69,2	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,25618	0,03	17,26016	6,09			0,94	4,3	0,04
Saboneteira	Ma	10	$y=a+b\ln(x^2)$	2,03140	0,08	-0,02052	0,00			1,00	31,2	0,00
	Ni	5	$y=a+bx^2\ln(x)$	1,08012	0,08	-6,83293	2,10			1,00	10,6	0,01
Ipê-amarelo	Ma	15	$y=a+b/x^{1/2}$	3,27371	0,12	-0,11845	0,01			1,00	309,1	0,00
	Ni	7	$y=a+bx^3$	0,26133	0,04	42,33319	9,23			1,00	7,6	0,01
Guatambu	Ma	1147	$y=a+b\ln(x)+\ln(x^2)$	-0,48513	0,52	-0,85859	0,32	-0,11185	0,04	1,00	13,4	0,00
	Ni	15	$y=a+b/x^{1/2}$	0,33942	0,07	0,00451	0,00			1,00	0,3	0,61
Ó.copaiba	Ma	19	$y=a+b\ln(x)/x^2$	2,22934	0,11	0,00000	0,00			1,00	57,5	0,00
	Ni	13	$y=a+b\ln(x)$	1,49446	0,14	0,08686	0,03			0,98	4,6	0,04

(1): O número representa a equação ajustada no programa TableCurve 3.01 (Jandel Corporation)

(2): O valor F foi calculado utilizando como denominador o quadrado médio do resíduo da análise de variância de todos os dados da variável estudada.

TABELA 3A. Número de folhas por planta de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie		Número de folhas por planta		
		0,002	0,02	0,2
Pau-perceira	EP(1)	1 a	2 a	2 a
Tento	EP	4 a	5 a	6 a
Sibipiruna	EP	5 a	5 a	7 a
J.branco	Ma	4 a A	3 a A	5 a A
	Ni	2 b A	3 b A	7 a A
J.roxo	EP	3 b	2 b	7 a
Ó.bálsamo	EP	5 a	5 a	5 a
Jatobá	EP	6 a	7 a	6 a
Maria-mole	EP	2 a	3 a	4 a
Paineira	EP	6 b	7 ab	8 a
Ipê-branco	EP	4 b	4 b	7 a
Gravitinga	Ma	6 c A	10 b A	12 a A
	Ni	3 b B	4 b B	12 a A
Aroeira	Ma	3 c A	9 b A	14 a A
	Ni	2 b B	2 b B	14 a A
Trema	Ma	6 b A	9 b A	36 a A
	Ni	3 b A	3 b B	40 a A
A.cavalo	Ma	7 b A	11 a A	13 a A
	Ni	4 b B	4 b B	11 a A
C.carnaval	Ma	3 c A	7 b A	10 a A
	Ni	3 b A	3 b B	7 a B
Capixingui	Ma	3 b A	5 a A	6 a A
	Ni	2 b A	2 b B	6 a A
Quaresmeira	Ma	5 b A	16 a A	24 a A
	Ni	0 b B	0 b B	12 a B
Embaúba	Ma	7 c A	9 b A	11 a A
	Ni	0 b B	0 b B	10 a A
Louro	Ma	5 b A	9 a A	11 a A
	Ni	1 b B	1 b B	9 a A
Leucena	Ma	5 b A	9 a A	6 b A
	Ni	2 b B	2 b B	6 a A
Fedegoso	EP	2 b	3 b	7 a
Cedro	Ma	4 b A	10 a A	9 a A
	Ni	4 a A	3 a B	4 a B
Pau-ferro	Ma	4 b A	10 a A	12 a A
	Ni	4 b A	4 b B	10 a A
Pororoca	Ma	8 b A	12 a A	13 a A
	Ni	5 b B	5 b B	9 a B
Ipê-roxo	EP	6 a	6 a	6 a
Saboneteira	EP	16 b A	22 a A	20 a A
		16 ab A	14 b B	20 a A
Ipê-amarelo	Ma	8 b A	13 a A	14 a A
	Ni	6 ab A	5 b B	8 a B
Guatambu	EP	8 a	11 a	7 a
Ó.copaíba	EP	6 b	8 a	9 a

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação não foi significativa.

Em cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.

TABELA 4A. Resumo das ANAVAs da quantidade de P em discos de tecido foliar, amostrados em diferentes épocas de condução dos experimentos

Espécie	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4			Época 5			
	I	P	IxP (1)	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	
Sibipiruna	*	**	*	ns	**	ns	ns	**	ns	—	—	—	(2)	—	—	—
J.roxo	ns	**	**	*	**	*	ns	**	ns	—	—	—	—	—	—	—
Maria-mole	*	**	ns	ns	**	ns	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Paineira	ns	*	ns	ns	**	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ipê-branco	ns	**	ns	*	**	ns	ns	*	*	—	—	—	—	—	—	—
Gravitinga	*	**	**	...	...	...	(3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Trema	**	**	ns	...	...	...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A.cavalo	*	**	**	**	**	**	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
C.carnaval	ns	**	*	**	**	**	...	...	...	—	—	—	—	—	—	—
Capixingui	**	**	**	**	**	**	*	**	**	—	—	—	—	—	—	—
Louro	**	**	*	**	**	**	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
Cedro	*	**	*	**	**	**	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
Pau-ferro	*	**	*	*	**	*	**	**	ns	—	—	—	—	—	—	—
Ipê-roxo	*	**	*	**	**	**	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
Saboneteira	*	**	ns	**	**	*	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
J.branco	ns	**	ns	*	**	*	ns	ns	ns	—	—	—	ns	*	—	—
Jatobá	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	—	—	—	—
Leucena	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	*	*
Fedegoso	**	**	ns	*	**	ns	**	**	**	—	—	—	—	—	—	—
Ipê-amarelo	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	*	**	**	**	—	—	—	—
Pau-pereira	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	*	ns	**	ns	ns
Ó.bálsamo	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Guatambu	*	**	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns
Ó.copaiba	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	**	ns	**	**	**	**	*	**	**

Tratamentos(4)

Tratamentos

Tratamentos

Tratamentos

Tratamentos

Gravitinga	...	ns	—	—
Aroeira	ns	ns	**	—
Trema	...	**	—	—
C.carnaval	...	...	**	—
Embaúba	**	ns	*	—
Pororoca	**	**	—	—
Quaresmeira	*	*	—	—

ns = não significativo ( $p \geq 10\%$ ). \* =  $1 \leq p \leq 9\%$ . \*\* =  $p < 1\%$ , onde p é a probabilidade de erro de rejeitar  $H_0$  pelo teste F.

(1): I= efeito de inoculação; P= efeito de concentração de P na solução do solo; IxP= efeito da interação dos fatores

(2): — = Variável não determinada nesta época devido a diferenças no período de condução entre as espécies vegetais

(3): ... = Análise de variância realizada em esquema diferente.

(4): Tratamentos que tiveram ANAVAs realizadas em DIC simples.



TABELA 6A. Teores de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie	Teor de K						Teor de Ca						Teor de Mg					
	0,002			0,02			0,002			0,02			0,002			0,02		
	g/kg						g/kg						g/kg					
Pau-perceira	Ma	9 c	A 14 b	A 23 a	A	EP(1)	12 a	12 a	6 b	EP	1,4 ab	1,5 a	1,0 b					
	Ni	12 b	A 13 b	A 20 a	A													
Tento	EP	9 b	10 b	22 a	Ma	16 b	A 19 a	A 11 c	A	Ma	2,0 a	A 2,1 a	A 1,1 b	A				
					Ni	17 a	A 18 a	A 9 b	B	Ni	2,1 a	A 2,2 a	A 1,0 b	A				
Sibipiruna	EP	7 b	8 b	17 a	EP	13 a	14 a	9 b	Ma	1,1 a	A 1,0 a	A 0,6 b	A					
									Ni	0,9 a	B 1,0 a	A 0,6 b	A					
J.branco	EP	10 b	10 b	25 a	EP	12 a	13 a	10 a	EP	2,0 a	2,1 a	2,3 a						
									EP	2,1 a	1,8 a	1,8 a						
J.roxo	Ma	11 b	A 18 b	A 35 a	A	EP	8 a	8 a	6 a	EP	2,1 a	1,8 a	1,8 a					
	Ni	9 b	A 9 b	B 33 a	A													
Ó.bálsamo	Ma	40 a	A 19 b	A 25 b	A	Ma	25 a	A 12 b	B 8 b	B	Ma	3,4 a	A 1,2 b	B 0,5 b	B			
	Ni	36 a	A 31 a	A 31 a	A	Ni	24 a	A 22 a	A 18 a	A	Ni	3,1 a	A 3,9 a	A 3,1 a	A			
Jatobá	EP	9 b	10 b	16 a	Ma	7 a	A 7 a	A 4 b	B	EP	1,7 a	1,7 a	1,5 a					
					Ni	5 a	B 5 a	B 5 a	A									
Paineira	EP	24 b	28 b	34 a	EP	24 a	25 a	18 b	EP	5,3 a	5,4 a	4,9 a						
									EP	3,5 a	3,2 ab	2,5 b						
Ipê-branco	EP	24 a	22 a	34 a	EP	24 a	22 a	15 b	EP	3,5 a	3,2 ab	2,5 b						
C.carnaval	Ma	19 a	A 19 a	A 19 a	A	Ma	14 a	A 13 a	A 6 b	A	Ma	1,3 a	A 0,8 b	B 0,7 b	A			
	Ni	12 b	A 9 b	B 22 a	A	Ni	11 ab	A 15 a	A 8 b	A	Ni	1,0 ab	A 1,4 a	A 0,6 b	A			
Capixingui	Ma	9 ab	A 8 b	A 17 a	A	Ma	7 b	A 9 a	A 6 b	A	EP	3,0 ab	3,1 a	2,4 b				
	Ni	11 a	A 10 a	A 8 a	B	Ni	6 a	A 7 a	B 6 a	A								
Leucena	Ma	10 c	A 13 b	A 16 a	A	Ma	14 a	A 14 a	A 12 a	A	Ma	2,7 b	A 3,7 a	A 3,6 a	A			
	Ni	6 b	B 7 b	B 14 a	B	Ni	10 a	B 10 a	B 12 a	A	Ni	2,2 a	A 2,1 a	B 2,5 a	B			
Fedegoso	Ma	11 b	A 12 b	A 25 a	A	Ma	11 b	A 15 a	A 9 b	A	EP	1,8 a	1,4 b	0,7 c				
	Ni	8 b	A 9 b	A 27 a	A	Ni	10 a	A 10 a	B 8 a	A								
Cedro	EP	38 b	42 ab	47 a	Ma	11 a	A 10 ab	A 9 b	A	Ma	3,9 a	A 3,2 b	A 2,8 b	A				
					Ni	11 a	A 11 a	A 6 b	B	Ni	3,5 a	A 3,6 a	A 2,4 b	B				
Pau-ferro	EP	8 a	10 a	11 a	Ma	10 b	A 14 a	A 7 c	A	Ma	1,6 a	B 1,3 a	B 0,8 b	A				
					Ni	9 a	A 9 a	B 6 b	A	Ni	2,0 a	A 1,7 a	A 0,9 b	A				
Ipê-roxo	Ma	16 b	A 20 ab	A 21 a	B	Ma	12 a	A 12 a	A 9 b	A	EP	2,3 a	2,5 a	2,0 a				
	Ni	17 b	A 17 b	A 25 a	A	Ni	10 a	A 10 a	A 5 b	B								
Saboneteira	Ma	14 b	A 17 b	A 23 a	A	Ma	8 a	A 8 a	A 5 b	A	Ma	2,3 a	A 2,6 a	A 1,6 b	A			
	Ni	14 b	A 13 b	B 23 a	A	Ni	8 a	A 7 a	B 4 b	A	Ni	2,4 a	A 2,1 a	B 1,2 b	B			
Ipê-amarelo	Ma	12 b	A 13 b	A 20 a	A	Ma	6 b	B 8 a	A 5 c	A	Ma	3,0 b	B 3,6 a	A 2,4 c	A			
	Ni	8 b	A 10 b	A 24 a	A	Ni	9 a	A 9 a	A 4 b	A	Ni	3,8 a	A 3,8 a	A 2,2 b	A			
Guatambu	EP	17 b	17 b	33 a	EP	9 a	9 a	3 b	EP	6,2 a	5,4 a	3,5 b						
Ó.copaíba	Ma	10 b	A 8 b	A 16 a	A	Ma	14 a	A 12 b	A 10 b	A	EP	2,2 a	2,2 a	1,7 b				
	Ni	6 b	B 8 b	A 18 a	A	Ni	10 a	B 12 a	A 9 b	B								
Maria-mole	Ma	...	(2)	18 a	32 a	A	Ma	...	11 a	10 a	A	Ma	...	2,5 a	2,0 a	A		
	Ni	...	...	40	A	Ni	...	...	9	A	Ni	...	...	1,7	A			
Gravitinga	Ma	...	25 a	26 a	A	Ma	...	16 a	12 b	A	Ma	...	3,3 a	2,6 b	A			
	Ni	...	...	23	B	Ni	...	...	11	A	Ni	...	...	2,6	A			
Aroeira	Ma	21 a	19 a	18 a	A	Ma	15 a	12 a	10 a	A	Ma	3,4 a	3,2 a	2,6 a	A			
	Ni	...	...	20	A	Ni	...	...	13	A	Ni	...	...	3,2	A			
Trema	Ma	...	28 a	28 a	A	Ma	...	22 a	14 b	A	Ma	...	3,6 a	3,2 a	A			
	Ni	...	...	26	A	Ni	...	...	17	A	Ni	...	...	3,2	A			
A.cavalo	Ma	18 a	21 a	21 a	A	Ma	15 a	13 a	13 a	A	Ma	2,5 ab	2,6 a	1,7 b	A			
	Ni	...	...	21	A	Ni	...	...	14	A	Ni	...	...	1,8	A			
Quaresmeira	Ma	9 c	16 b	24 a	A	Ma	14 a	13 ab	11 b	A	Ma	2,4 a	2,4 a	2,6 a	A			
	Ni	...	...	21	B	Ni	...	...	10	A	Ni	...	...	2,1	B			
Embaúba	Ma	...	...	27	A	Ma	...	...	18	A	Ma	...	...	3,3	A			
	Ni	...	...	29	A	Ni	...	...	16	A	Ni	...	...	3,6	A			
Louro	Ma	24 b	29 a	29 a	A	Ma	29 ab	31 a	25 b	A	Ma	5,9 b	8,8 a	6,6 b	A			
	Ni	...	...	31	A	Ni	...	...	20	A	Ni	...	...	5,0	A			
Pororoca	Ma	22 a	21 a	22 a	A	Ma	12 ab	12 a	10 b	A	Ma	3,4 a	2,6 b	2,0 c	A			
	Ni	...	...	23	A	Ni	...	...	8	B	Ni	...	...	2,1	A			

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação não foi significativa

(2): ... = Não determinado por insuficiência de material vegetal para análise química.

Dentro de cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.

TABELA 7A. Teores de cobre, zinco, ferro e manganês na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002, 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie	Teor de Cu			Teor de Zn			Teor de Fe			Teor de Mn						
	mg/kg			mg/kg			mg/kg			mg/kg						
	0.002	0.02	0.2	0.002	0.02	0.2	0.002	0.02	0.2	0.002	0.02	0.2				
Pau-perreira	EP(1)	4 a	2 b	EP	44 a	33 ab	18 b	EP	177 a	170 a	96 a	EP	298 a	302 a	95 b	
Tento	Ma	6 a	8 a	6 a	Ni	11 a	8 ab	7 b	EP	22 a	22 a	21 a	EP	147 a	198 a	140 a
Sibipiruna	Ma	14 a	11 ab	7 b	Ni	10 a	11 a	8 a	EP	109 a	104 a	53 b	EP	126 a	195 a	150 a
Jbranco	Ma	6 a	5 a	4 a	Ni	23 a	5 b	4 b	Ma	29 a	32 a	23 a	Ma	129 a	125 a	88 a
Jroxo	Ma	9 a	6 b	5 b	Ni	7 a	6 a	5 a	EP	32 a	28 a	29 a	EP	359 a	300 a	143 b
Óbalsamo	EP	16 a	11 a	15 a	Ma	33 b	49 a	35 ab	EP	283 a	362 a	244 a	Ma	54 a	67 a	64 a
Jatobá	Ma	7 a	7 a	9 a	Ni	7 a	9 a	7 a	EP	50 a	48 a	43 a	EP	111 a	106 a	103 a
Paineira	Ma	8 a	9 a	9 a	Ni	10 a	10 a	8 a	EP	33 a	30 ab	25 b	Ma	244 a	291 a	330 a
Ipê-branco	EP	24 a	23 a	11 b	EP	69 a	67 a	37 b	Ma	566 a	813 a	244 a	EP	91 a	86 a	69 a
Carnaval	Ma	23 a	10 b	7 b	Ni	7 a	18 a	7 a	Ma	214 a	109 b	115 b	Ma	53 a	39 b	28 c
Capixinga	EP	15 a	11 a	9 a	Ma	46 a	38 ab	31 b	EP	15 a	11 a	9 a	Ma	224 a	107 b	90 b
Leucena	Ma	18 a	14 b	9 c	Ni	9 ab	10 a	6 b	EP	58 a	47 a	26 b	EP	361 a	381 a	368 a
Fedeposo	Ma	15 a	10 a	6 a	Ni	92 a	81 a	4 b	EP	38 a	35 ab	27 b	Ma	118 a	123 a	99 a
Cedro	Ma	18 a	10 b	5 c	Ni	12 a	10 a	5 b	EP	45 a	34 ab	25 b	EP	618 a	333 a	334 a
Pau-ferro	EP	16 a	12 ab	8 b	EP	35 a	35 a	28 a	Ma	163 a	192 a	148 a	Ma	58 a	53 a	42 a
Ipê-roxo	EP	13 a	13 a	11 a	Ma	74 b	96 a	51 c	EP	262 a	240 a	234 a	Ma	134 ab	174 a	85 b
Saboneteira	Ma	5 b	7 a	5 b	Ni	5 a	4 b	3 c	Ma	37 ab	43 a	26 b	Ma	114 a	134 a	107 a
Ipê-amarelo	Ma	8 a	9 a	8 a	Ni	6 a	4 b	2 c	Ma	81 a	66 a	37 b	Ma	130 a	145 a	152 a
Guatambu	EP	6 a	5 a	3 b	Ma	30 a	36 a	38 a	EP	481 a	420 a	358 a	EP	82 a	80 a	73 a
Ócopaba	EP	9 a	8 a	7 a	Ma	40 a	37 a	34 a	Ma	185 a	111 b	180 a	Ma	687 a	268 b	203 b
Mana-mole	Ma	...	10 a	21 a	Ni	...	55 a	37 a	Ma	...	506 a	410 a	Ma	...	202 a	255 a
Gravatinga	Ma	...	23 a	11 b	Ni	...	102 a	49 b	Ma	...	190 a	137 a	Ma	...	49 a	44 a
Aroeira	Ma	21 a	18 a	11 b	Ni	...	...	66 a	Ma	717 a	523 a	514 a	Ma	234 a	316 a	219 a
Trema	Ma	...	14 a	9 b	Ni	...	...	41 a	Ma	...	335 a	169 b	Ma	...	98 a	87 a
A cavalo	Ma	23 a	23 a	12 b	Ni	...	...	49 a	Ma	700 a	254 b	228 b	Ma	441 a	378 a	264 b
Quaresmeira	Ma	13 a	13 a	11 a	Ni	...	...	42 a	Ma	329 a	183 ab	111 b	Ma	129 a	103 b	88 b
Embaúba	Ma	...	10 a	...	Ni	...	...	29 a	Ma	...	243 a	249 a	Ni	...	...	149 a
Louro	Ma	38 a	34 a	15 b	Ni	...	...	31 a	Ma	696 a	296 b	245 b	Ma	47 ab	62 a	46 b
Pororoca	Ma	6 a	7 a	7 a	Ni	...	...	26 a	Ma	272 a	179 a	145 a	Ma	105 a	98 a	58 b
	Ni	...	4 b	...	Ni	...	...	26 a	Ni	...	192 a	192 a	Ni	...	...	55 a

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação ração foi significativa

(2): ... = Não determinado por insuficiência de material vegetal para análise química.

Dentro de cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença ração significativa por Tukey 1%.

TABELA 8A. Resumo das ANAVAs da quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea de mudas de espécies arbóreas nativas

Espécie	K acumulado			Ca acumulado			Mg acumulado			Cu acumulado			Zn acumulado			Fe acumulado			Mn acumulado						
	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP				
Pau-perceira	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns			
Tento	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns		
Sibiriruna	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns		
J.branc0	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	*	*	*	ns	ns	**	ns	ns	*	**	*	*	*	ns	ns		
J.roxo	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	**	**	ns	**	**	ns	ns	
Ó.balsamo	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	
Jatobá	*	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	*	*	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	
Paineira	**	**	*	ns	**	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	
Ipê-branco	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	**	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	**	ns	
C.carnaval	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Capixinguí	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Leucena	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Fedegoso	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Cedro	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Pau-ferro	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ipê-roxo	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Saboneteira	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ipê-amarelo	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Guatambu	*	ns	*	**	**	**	*	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns
Ó.copatiba	**	**	**	**	**	**	ns	ns	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Tratamentos(2)	Tratamentos			Tratamentos			Tratamentos			Tratamentos					
	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP	I	P	IxP
Maria-mole	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gravitinga	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Aroeira	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Trena	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
A.cavalo	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Quaresmeira	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Embatiba	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Louro	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Pororoca	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

ns = não significativo ( $p \geq 10\%$ ). \* =  $1 \leq p \leq 5\%$ . \*\* =  $p < 1\%$ , onde p é a probabilidade de erro de rejeitar a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) pelo teste F.

(1): I = efeito de inoculação; P = efeito de concentração de fósforo na solução do solo; IxP = efeito da interação dos fatores

(2): Tratamentos que tiveram ANAVAs realizadas em DIC simples.

TABELA 9A. Quantidades acumuladas de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002; 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie	K			Ca			Mg					
	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2	0,002	0,02	0,2			
	mg/planta			mg/planta			mg/planta					
Pau-perceira	EP(1)	8 b	12 b	32 a	EP	8 a	10 a	8 a	EP	1 a	1 a	1 a
Tento	EP	11 b	12 b	29 a	EP	22 a	22 a	13 b	EP	3 a	3 a	1 b
Sibipiruna	EP	6 b	7 b	27 a	EP	13 a	13 a	14 a	EP	1 a	1 a	1 a
J.branco	EP	4 b	5 b	25 a	EP	4 b	6 b	10 a	EP	1 b	1 b	2 a
J.Roxo	EP	1 b	2 b	26 a	EP	1 b	1 b	5 a	EP	0 b	0 b	1 a
Ó.balsamo	EP	12 a	9 a	13 a	EP	8 a	6 a	5 a	Ma	1 a	A 0 ab	B 0 b B
					Ni	1 a	A 1 a	A 1 a	Ni	1 a	A 1 a	A 1 a A
Jatobá	EP	20 b	26 ab	32 a	Ma	18 a	A 19 a	A 8 b A	EP	4 a	5 a	3 a
					Ni	10 a	B 15 a	A 11 a A				
Paineira	Ma	34 b	A 43 ab	A 52 a B	EP	38 a	39 a	31 a	EP	8 a	8 a	8 a
	Ni	41 b	A 43 b	A 65 a A								
Ipê-branco	EP	2 b	2 b	14 a	Ma	2 b	A 2 b	A 8 a A	EP	0 b	0 b	1 a
					Ni	2 b	A 2 b	A 5 a B				
C.carnaval	Ma	2 c	A 27 b	A 58 a A	Ma	2 b	A 18 a	A 20 a A	Ma	0 c	A 1 b	A 2 a A
	Ni	1 b	A 1 b	B 49 a B	Ni	1 b	A 1 b	B 18 a A	Ni	0 b	A 0 b	B 1 a B
Capixingui	Ma	2 b	A 12 b	A 44 a A	Ma	2 b	A 14 a	A 15 a A	Ma	1 c	A 5 b	A 7 a A
	Ni	1 a	A 1 a	A 15 a B	Ni	1 b	A 1 b	B 11 a B	Ni	0 b	A 0 b	B 4 a B
Leucena	Ma	7 c	A 22 b	A 41 a A	Ma	9 c	A 24 b	A 30 a A	Ma	2 c	A 6 b	A 9 a A
	Ni	1 b	B 1 b	B 22 a B	Ni	1 b	B 1 b	B 20 a B	Ni	0 b	B 0 b	B 4 a B
Fedegoso	Ma	1 b	A 7 b	A 75 a A	Ma	2 b	A 10 b	A 29 a A	Ma	0 b	A 1 b	A 2 a A
	Ni	1 b	A 1 b	A 48 a B	Ni	1 b	A 1 b	B 15 a B	Ni	0 b	A 0 b	B 1 a B
Cedro	Ma	18 b	A 123 a	A 150 a A	Ma	5 b	A 27 a	A 25 a A	Ma	2 b	A 9 a	A 8 a A
	Ni	5 b	A 4 b	B 42 a B	Ni	2 a	A 1 a	B 6 a B	Ni	1 a	A 0 a	B 2 a B
Pau-ferro	Ma	2 c	A 14 b	A 42 a A	Ma	3 c	A 19 b	A 27 a A	Ma	0 c	A 2 b	A 3 a A
	Ni	2 b	A 2 b	B 31 a B	Ni	2 b	A 3 b	B 15 a B	Ni	1 b	A 1 b	B 2 a B
Ipê-roxo	Ma	5 c	A 11 b	A 19 a A	Ma	4 b	A 7 a	A 8 a A	Ma	1 b	A 2 a	A 2 a A
	Ni	5 b	A 4 b	B 11 a B	Ni	3 a	A 2 a	B 2 a B	Ni	1 a	A 0 a	B 1 a B
Saboneteira	Ma	17 c	A 29 b	A 45 a A	Ma	10 b	A 15 a	A 9 b A	Ma	3 b	A 5 a	A 3 b A
	Ni	15 b	A 14 b	B 33 a B	Ni	8 a	A 7 a	B 6 a B	Ni	3 a	A 2 ab	B 2 b B
Ipê-amarelo	Ma	8 c	A 31 b	A 62 a A	Ma	4 c	A 19 a	A 14 b A	Ma	2 b	A 8 a	A 7 a A
	Ni	2 b	A 3 b	B 14 a B	Ni	2 a	A 2 a	B 3 a B	Ni	1 a	A 1 a	B 1 a B
Guatambu	Ma	9 a	A 22 a	A 18 a A	Ma	5 b	A 12 a	A 2 b A	Ma	3 b	A 7 a	A 2 b A
	Ni	10 a	A 6 a	B 10 a A	Ni	4 a	A 3 a	B 1 a A	Ni	3 a	A 2 a	B 1 a A
Ó.copaíba	Ma	10 c	A 18 b	A 34 a A	Ma	14 b	A 26 a	A 23 a A	Ma	2 b	A 5 a	A 4 a A
	Ni	6 b	A 9 b	B 23 a B	Ni	10 a	A 13 a	B 12 a B	Ni	2 a	A 2 a	B 2 a B
Maria-mole	Ma	...	(2)	4 a	Ma	...	2 a	2 a A	Ma	...	1 a	0 a A
	Ni	...	...	6 A	Ni	...	...	1 A	Ni	...	...	0 A
Gravitinga	Ma	...	22 b	54 a A	Ma	...	14 b	26 a A	Ma	...	3 b	5 a A
	Ni	...	...	48 A	Ni	...	...	21 B	Ni	...	...	5 A
Arocira	Ma	1 b	6 b	28 a A	Ma	1 b	4 b	14 a A	Ma	0 b	1 b	4 a A
	Ni	...	...	30 A	Ni	...	...	19 A	Ni	...	...	4 A
Trema	Ma	...	34 b	97 a A	Ma	...	30 b	50 a A	Ma	...	5 b	11 a A
	Ni	...	...	84 A	Ni	...	...	56 A	Ni	...	...	10 A
A.cavalo	Ma	3 c	21 b	62 a A	Ma	2 c	13 b	38 a A	Ma	0 c	2 b	5 a A
	Ni	...	...	46 B	Ni	...	...	29 B	Ni	...	...	4 A
Quaresmeira	Ma	3 c	25 b	44 a A	Ma	4 b	21 a	19 a A	Ma	1 b	4 a	5 a A
	Ni	...	...	24 B	Ni	...	...	12 A	Ni	...	...	2 B
Embaúba	Ma	...	...	105 A	Ma	...	...	69 A	Ma	...	...	13 A
	Ni	...	...	73 B	Ni	...	...	40 B	Ni	...	...	9 B
Louro	Ma	3 c	26 b	50 a A	Ma	3 c	28 b	41 a A	Ma	1 c	8 b	11 a A
	Ni	...	...	33 B	Ni	...	...	22 B	Ni	...	...	5 B
Pororoca	Ma	3 b	28 a	33 a A	Ma	2 b	16 a	15 a A	Ma	0 b	3 a	3 a A
	Ni	...	...	7 B	Ni	...	...	2 B	Ni	...	...	1 B

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação não foi significativa

(2): ... = Não determinado por insuficiência de material vegetal para análise química.

Dentro de cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.

TABELA 10A. Quantidades acumuladas de cobre, zinco, ferro e manganês na parte aérea de espécies arbóreas inoculadas (Ma) ou não (Ni) com fungo micorrízico em solo com 0,002, 0,02 e 0,2 mg/L de P na solução do solo

Espécie	Cu			EP(1)	Zn			EP	Fe			EP	Mn			
	µg/planta				µg/planta				µg/planta				µg/planta			
	0,002	0,02	0,2		0,002	0,02	0,2		0,002	0,02	0,2		0,002	0,02	0,2	
Pau-perceira	Ma	2 a	4 a	3 a	EP(1)	33 a	27 a	26 a	EP	124 a	142 a	133 a	EP	211 a	242 a	131 a
	Ni	4 a	3 a	4 a												
Tento	EP	11 a	10 a	9 a	EP	29 a	26 a	28 a	EP	198 a	232 a	180 a	EP	175 a	200 a	162 a
Sibipiruna	EP	11 a	11 a	12 a	EP	100 a	92 a	84 a	EP	116 a	170 a	246 a	EP	48 a	48 a	76 a
J.branco	Ma	2 a	2 a	4 a	EP	13 b	13 b	22 a	Ma	47 a	52 a	88 a	EP	44 a	58 a	69 a
	Ni	9 a	2 b	4 ab						Ni	98 a	51 b		93 a	Ni	98 a	51 b	93 a
J.Roxo	EP	1 b	1 b	4 a	EP	4 b	5 b	23 a	EP	49 a	54 a	124 a	EP	14 b	14 b	81 a
Ó.bálsamo	EP	5 a	4 a	5 a	EP	12 a	18 a	15 a	Ma	56 a	125 a	124 a	EP	18 a	25 a	26 a
	Ni	139 a	122 a	84 a						Ni	139 a	122 a		84 a		
Jatobá	Ma	18 a	19 a	21 a	Ma	121 a	109 a	87 a	Ma	279 a	231 a	205 a	EP	419 a	493 a	364 a
	Ni	14 b	25 a	15 b		Ni	99 b	151 a		94 b	Ni	186 a		355 a	231 a	
Paineira	EP	14 a	14 a	14 a	EP	52 a	47 a	42 a	Ma	347 b	480 ab	531 a	Ma	58 b	96 a	82 a
Ipê-branco	Ma	2 b	2 b	7 a	Ma	6 b	7 b	21 a	Ma	50 a	69 a	138 a	EP	7 b	8 b	29 a
	Ni	2 a	2 a	3 a		Ni	5 a	6 a		11 a	Ni	253 a		90 a	127 a	
C.carnaval	Ma	3 c	13 b	21 a	Ma	4 c	33 b	62 a	Ma	24 c	152 b	362 a	Ma	6 c	54 b	86 a
	Ni	0 b	1 b	15 a		Ni	1 b	2 b		31 a	Ni	14 b		17 b	268 a	Ni	3 b	4 b	55 a
Capixungui	Ma	4 b	16 a	22 a	Ma	12 c	55 b	77 a	Ma	76 c	345 b	625 a	Ma	60 c	155 b	221 a
	Ni	2 b	2 b	18 a		Ni	5 b	6 b		59 a	Ni	61 b		106 b	424 a	Ni	32 c	41 b	180 a
Leucena	Ma	12 b	23 a	22 a	Ma	38 b	84 a	74 a	Ma	217 c	574 b	857 a	Ma	63 c	193 b	330 a
	Ni	1 b	1 b	10 a		Ni	6 b	5 b		35 a	Ni	48 b		53 b	636 a	Ni	10 b	12 b	158 a
Fodagoso	Ma	2 b	5 b	19 a	EP	4 b	11 b	64 a	Ma	16 b	58 b	317 a	EP	8 b	20 b	86 a
	Ni	7 a	6 a	8 a						Ni	15 b	13 b		174 a		
Cedro	Ma	8 c	28 a	16 b	Ma	20 c	89 a	65 b	Ma	268 b	802 a	699 a	Ma	28 c	82 a	53 b
	Ni	2 a	1 a	5 a		Ni	7 b	5 b		27 a	Ni	109 a		99 a	409 a	Ni	8 a	7 a	22 a
Pau-ferro	Ma	4 c	17 b	34 a	Ma	9 c	47 b	109 a	EP	62 b	214 b	523 a	Ma	15 c	71 b	162 a
	Ni	3 b	3 b	19 a		Ni	9 b	11 b		69 a	Ni	22 b		22 b	97 a	
Ipê-roxo	Ma	5 b	10 a	10 a	Ma	24 b	54 a	46 a	Ma	68 a	116 a	132 a	Ma	43 b	93 a	77 a
	Ni	3 a	2 a	5 a		Ni	11 a	10 a		18 a	Ni	116 a		66 a	142 a	Ni	37 a	25 a	35 a
Saboneteira	Ma	6 c	13 a	9 b	Ma	45 b	73 a	52 b	Ma	140 b	229 a	212 a	Ma	39 b	57 a	52 a
	Ni	6 a	5 a	5 a		Ni	30 a	29 a		34 a	Ni	120 a		108 a	172 a	Ni	31 a	30 a	34 a
Ipê-amarelo	Ma	6 c	20 b	26 a	Ma	52 c	154 a	112 b	Ma	83 c	339 b	470 a	Ma	137 ab	173 a	117 b
	Ni	2 a	1 a	1 a		Ni	11 a	13 a		21 a	Ni	61 a		54 a	100 a	Ni	50 a	37 a	59 a
Guatambu	Ma	3 ab	6 a	2 b	Ma	15 b	35 a	20 ab	Ma	215 b	511 a	188 b	Ma	33 a	89 a	39 a
	Ni	2 a	2 a	1 a		Ni	18 a	12 a		8 a	Ni	212 a		141 a	94 a	Ni	57 a	29 a	28 a
O.copaiba	Ma	9 b	22 a	18 a	Ma	39 b	82 a	75 a	Ma	182 b	244 b	388 a	Ma	669 a	590 a	451 a
	Ni	8 a	7 a	7 a		Ni	32 a	45 a		46 a	Ni	98 a		123 a	140 a	Ni	480 a	645 a	529 a
Maria-mole	Ma	...	2 a	4 a	Ma	...	11 a	6 a	Ma	...	106 a	58 a	Ma	...	42 a	42 a
	Ni	...	...	1 a		Ni	...	...		6 a	Ni	...		...	41 a	Ni	...	...	29 a
Gravitinga	Ma	...	20 a	23 a	Ma	...	89 a	104 a	Ma	...	165 a	288 a	Ma	...	43 b	92 a
	Ni	...	...	22 a		Ni	...	...		118 a	Ni	...		...	414 a	Ni	...	...	72 b
Aroeira	Ma	1 b	6 b	16 a	Ma	4 b	31 b	92 a	Ma	28 b	165 b	762 a	Ma	10 b	106 b	304 a
	Ni	...	...	10 a		Ni	...	...		92 a	Ni	...		...	787 a	Ni	...	...	363 a
Trama	Ma	...	17 b	31 a	Ma	...	63 b	131 a	Ma	...	429 a	593 a	Ma	...	123 b	303 a
	Ni	...	...	28 a		Ni	...	...		133 a	Ni	...		...	550 a	Ni	...	...	239 a
A.cavalo	Ma	4 c	23 b	33 a	Ma	19 c	113 b	211 a	Ma	112 b	238 b	667 a	Ma	64 c	361 b	760 a
	Ni	...	...	20 b		Ni	...	...		108 b	Ni	...		...	688 a	Ni	...	...	642 a
Quaresmeira	Ma	4 b	21 a	19 a	Ma	9 c	47 b	69 a	Ma	111 a	255 a	200 a	Ma	39 b	161 a	162 a
	Ni	...	...	10 a		Ni	...	...		47 a	Ni	...		...	596 a	Ni	...	...	115 a
Embaúba	Ma	...	...	40 a	Ma	...	...	128 a	Ma	...	...	932 a	Ma	...	...	569 a
	Ni	...	...	21 b		Ni	...	...		72 b	Ni	...		...	610 b	Ni	...	...	264 b
Louro	Ma	5 c	31 a	24 b	Ma	11 b	72 a	63 a	Ma	94 a	261 a	423 a	Ma	6 b	56 a	75 a
	Ni	...	...	9 b		Ni	...	...		34 b	Ni	...		...	635 a	Ni	...	...	41 b
Pororoca	Ma	1 b	9 a	9 a	Ma	7 b	38 a	41 a	Ma	41 b	219 a	221 a	Ma	16 b	128 a	91 a
	Ni	...	...	1 b		Ni	...	...		8 b	Ni	...		...	60 b	Ni	...	...	19 b

(1): EP= Efeito de concentração de P na solução do solo, quando a interação não foi significativa

(2): ... = Não determinado por insuficiência de material vegetal para análise química

Dentro de cada espécie, letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença não significativa por Tukey 1%.