

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO, CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO E MICORRIZAS EM MIRTÁCEAS NATIVAS**

GREICE MATTEI

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, novembro de 2013.

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO, CRESCIMENTO,
NUTRIÇÃO E MICORRIZAS EM MIRTÁCEAS NATIVAS**

GREICE MATTEI

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, novembro de 2013.



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

"Disponibilidade de fósforo do solo, crescimento, nutrição e micorrizas em mirtáceas nativas"

Elaborada por

Greice Mattei

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
"Doutora em Agronomia – Área de Produção Vegetal"

Aprovada em: 01/11/2013
Pela Comissão Examinadora

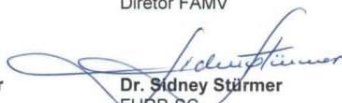

Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador


Dra. Simone Meredith Scheffer Basso
Coordenadora PPGAgro


Dr. Alexandre Nienow
FAMV/UPF


Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV


Dr. José Pereira da Silva Júnior
Embrapa Trigo


Dr. Sidney Stürmer
FURB-SC


Dr. Carlos Gustavo Tornquist
UFRGS

CIP – Catalogação na Publicação

- M435d Mattei, Greice
 Disponibilidade de fósforo do solo, crescimento,
 nutrição e micorrizas em mirtáceas nativas/ Greice
 Mattei. – 2013.
 125f. : il., color.; 25 cm.
- Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de
 Passo Fundo, 2013.
 Orientador: Prof. Dr. Pedro Alexandre Varella
 Escosteguy.
1. Plantas – Efeito do fósforo. 2. Solos – Teor de
 fósforo. 3. Fungos micorrízicos. I.Escosteguy, Pedro
 Alexandre Varella, orientador. II. Título.

CDU: 633.2

Veja!
Não diga que a canção
Está perdida
Tenha fé em Deus
Tenha fé na vida
Tente outra vez!...

....

Queira!
Basta ser sincero
E desejar profundo
Você será capaz
De sacudir o mundo
Vai!
Tente outra vez!

Tente!
E não diga
Que a vitória está perdida
Se é de batalhas
Que se vive a vida
Tente outra vez!...

Raul Seixas

AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem acredito acima de tudo, e, tenho certeza, está sempre comigo, iluminando meu caminho.

À minha família: mãe Neusa, pai José e irmã Graciane, que possibilitou o que sou, onde estou e o que tenho. Em especial à minha mãe, pelo amor, dedicação, educação e apoio “teórico e prático” nas atividades do decorrer do curso. Por estar sempre presente.

Ao meu orientador Pedro, não apenas pela excelente orientação na graduação e no doutorado, mas pela pessoa e profissional que és.

Aos colegas da pós-graduação, Adriana, Sandra, Ana Paula, Ana Cláudia, Lucas e Jacson, por toda a ajuda, pelas ideais, e pela parceria.

Às amigas de longa e de curta data, que ao longo do curso tornaram melhores os momentos ruins, e mais felizes os bons. Pelas tantas “sessões de terapia” vividas.

A toda equipe do Laboratório de Solos, em especial à Andressa e ao Marcelo, pela realização e colaboração em tantas análises.

Aos funcionários da granja, Itamar e Marcelo, que durante o experimento me auxiliaram no cuidado das plantas.

A todos os funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UPF, pelo excelente trabalho.

À UPF, pela bolsa concedida, pelos recursos humanos e físicos.

Àqueles que, no decorrer do curso e da vida, por meio de palavras, e, principalmente, por meio de ações - positivas ou negativas - deixaram algum ensinamento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO	12
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1 Família Myrtaceae	22
2.2 Crescimento de espécies arbóreas	24
2.3 Nutrição de espécies arbóreas	26
2.3.1 Macronutrientes	29
2.3.1.1 Fósforo em solos tropicais.....	32
2.3.1.2 Fósforo em plantas	34
2.3.2 Micronutrientes	36
2.4 Fungos micorrízicos arbusculares	39
2.4.1 Caracterização geral	39
2.4.2 Benefícios da associação	41
2.4.3 Disponibilidade de fósforo do solo e da planta e micorrizas arbusculares	42
2.4.4 Micorrizas arbusculares e mirtáceas nativas	44
2.5 Fungos <i>dark septate endophytes</i>	46
 CAPÍTULO I - DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO, CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MIRTÁCEAS	
RESUMO	48
ABSTRACT	49
1 INTRODUÇÃO	50

2 MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1 Caracterização do experimento	52
2.2 Crescimento e massa seca de plantas	56
2.3 Teores e quantidades acumuladas de nutrientes.....	57
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.1 Crescimento e massa seca de plantas	58
3.2 Teores e quantidades acumuladas de nutrientes.....	61
3.2.1 Macronutrientes.....	61
3.2.2 Micronutrientes	65
4 CONCLUSÕES	70

CAPÍTULO II - DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO E MICORRIZAS ARBUSCULARES EM MIRTÁCEAS

RESUMO	71
ABSTRACT	72
1 INTRODUÇÃO	73
2 MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1 Caracterização do experimento	76
2.2 Avaliação da colonização micorrízica em raízes	79
2.2.1 Coleta e coloração	79
2.2.2 Estimativa da colonização	80
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1 Efeito de níveis de fósforo e de espécies.....	82
3.2 Estruturas micorrízicas	91
3.3 Fungos <i>dark septate endophytes</i>	101
4 CONCLUSÕES	102
CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS	1035

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Teores de macronutrientes foliares de espécies em geral e arbóreas nativas da Mata Atlântica.....	31
2	Teores de micronutrientes foliares de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica.....	38
3	Colonização de fungos micorrízicos arbusculares em mirtáceas nativas da região Sul do Brasil.....	45
4	Atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento em campo.....	55
5	Atributos químicos do substrato utilizado na produção das mudas.....	55
6	Taxa de crescimento absoluto e relativo da altura (TCAA, TCRA) e do diâmetro do colo (TCADC, TCRDC) de espécies de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo.....	60
7	Massa seca da parte aérea (MSPA), de folhas (MSF) e de galhos (MSG) de espécies de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo.....	62
8	Teores de macronutrientes foliares em mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados.....	63
9	Quantidades acumuladas de macronutrientes foliares e massa seca de folhas (MSF) de mirtáceas, após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados.....	66

10	Teores de micronutrientes foliares de espécies de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados.....	67
11	Quantidades acumuladas de micronutrientes foliares e massa seca de folhas (MSF) de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados.....	70
12	Atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento em campo.....	78
13	Atributos químicos do substrato utilizado na produção das mudas.....	79
14	Correlação de Pearson entre percentual e índices de colonização micorrízica e variáveis de crescimento e massa seca de plantas.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em níveis de fósforo extraível do solo (média de espécies de mirtáceas).....	84
2	Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em raízes de espécies de mirtáceas (média de níveis de fósforo).....	90
3	Estruturas micorrízicas em raízes de cerejeira: (a) hifas; (b,c) vesículas intraradiciais; (d) células auxiliares.....	93
4	Estruturas micorrízicas em raízes de guabijuzeiro: (a,b) vesículas intraradiciais; (c) hifas intraradiciais e vesículas; (d) microesclerócios.....	94
5	Estruturas micorrízicas em raízes de guabirobeira: (a,b) hifas e vesículas intraradiciais; (c,d) arbúsculos.....	95
6	Estruturas micorrízicas em raízes de pitangueira: (a) arbúsculos; (b) vesículas intraradiciais; (c,d) microesclerócios.....	96
7	Estruturas micorrízicas em raízes de sete-capotes: (a,b,c) hifas e vesículas intraradiciais; (c,d) microesclerócios; (e,f) arbúsculos.....	98
8	Estruturas micorrízicas em raízes de uvalheira: (a,b,c) arbúsculos; (d,e) hifas e vesículas intraradiciais; (f) microesclerócios.....	99

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO, CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E MICORRIZAS EM MIRTÁCEAS NATIVAS

Greice Mattei¹

RESUMO – O conhecimento das exigências nutricionais e das relações ecológicas de espécies arbóreas nativas é importante em projetos de restauração florestal. Avaliou-se o efeito da disponibilidade de fósforo (P) do solo no crescimento de mirtáceas nativas do Sul do Brasil, no acúmulo de nutrientes foliares e na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), além das estruturas micorrízicas predominantes. O experimento foi em campo, em Mato Castelhano, Rio Grande do Sul, de setembro de 2010 a abril de 2012, utilizando mudas com oito meses de idade. O delineamento experimental foi completamente casualizado. O arranjo dos tratamentos foi bifatorial: seis espécies (cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira, pitangueira, sete-capotes e uvalheira) x três níveis de fósforo (baixo, alto e muito alto), com três repetições. A acidez e a disponibilidade dos outros nutrientes foram corrigidas, em todos os tratamentos. Após 20 meses de cultivo, foram avaliadas as massas úmidas e secas da parte aérea das plantas, separadas em galhos e folhas. Foram avaliadas a altura e o diâmetro do colo das plantas e calculadas as taxas de crescimento e determinados os teores e as quantidades acumuladas de macro e micronutrientes foliares. As raízes foram

¹ Bióloga, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

coletadas, para avaliação da colonização micorrízica e caracterização das estruturas micorrízicas predominantes. As variáveis de crescimento e os teores e as quantidades acumuladas de macro e micronutrientes não foram influenciadas pela interação entre os níveis de P e as espécies, embora estas variáveis tenham sido influenciadas por este último fator. Os teores foliares de P aumentaram com a disponibilidade de P do solo. Esse fator também aumentou o percentual de colonização micorrízica, que ainda variou com a espécie, sendo maior em pitangueira, uvalheira e sete-capotes. As estruturas micorrízicas predominantes foram hifas e vesículas intraradiciais.

Palavras-chave: adubação fosfatada, *Campomanesia*, espécies arbóreas, *Eugenia*, nutrição mineral, fungos micorrízicos.

SOIL PHOSPHORUS AVAILABILITY, GROWTH, NUTRITION AND MYCORRHIZAS IN MYRTACEAE SPECIES

ABSTRACT - Knowledge of nutritional requirements and ecological relationships of native tree species is of great importance in forest restoration projects. The effects of soil phosphorus (P) availability on growth of native Myrtaceae of southern Brazil and the interaction of this factors on nutrient concentration of leaves and the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), and the prevailing mycorrhizal structures were evaluated. A field experiment was carried out in Mato Castelhanao, Rio Grande do Sul state, Brasil, from september 2010 to april 2012, by using plants with eight months after germination. A completely randomized design with tree repetitions was used in a 6 x 3 factorial arrangement, involving six species (*Eugenia uniflora*, *Eugenia pyriformis*, *Eugenia involucrata*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Campomanesia guazumifolia* and *Myrcianthes pungens*) and tree levels of soil P availability (low, high and very high). Soil acidity and other nutrients availability were corrected for all treatments. After twenty months of cultivation, the wet and dry matter of the shoot was evaluated. It was evaluated the height and stem diameter of plants, calculated the growth rate and analyzed the content and accumulation of macro and micronutrient on leaves. Mycorrhizal levels and prevailing mycorrhizal structures were evaluated. Growth variables, content and accumulation of macro and micronutrients were not influenced by the interaction between P levels and species, but varied with the latter factor. The P

content of leaves was greatest with the increased of the soil availability of this nutrient. This factor and the plant specie influenced mycorrhizal colonization, which was highest at *Eugenia uniflora*, *Eugenia pyriformis* and *Campomanesia guazumifolia*. The prevailing mycorrhizal structures were hyphae and intraradical vesicles.

Key words: *Campomanesia*, *Eugenia*, phosphate application, mineral nutrition, mycorrhizal fungi, tree species.

1 INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas, impulsionados pela conscientização da sociedade e por exigências legais brasileiras, têm sido crescentes os incentivos e as demandas por projetos de restauração florestal utilizando espécies nativas. Estas ações, além de contribuir para recuperar as funções ambientais das áreas florestais, principalmente das matas ciliares, atuam na preservação da biodiversidade e na redução da concentração de gás carbônico na atmosfera, pelo seqüestro de carbono (ANDRADE, 2010).

Em projetos de restauração florestal, o sucesso da revegetação depende em grande parte da capacidade das plantas em obter os recursos necessários ao seu desenvolvimento, água e nutrientes, além de possuir o vigor necessário para resistir a doenças e a estresses climáticos impostos pelo ambiente. No entanto, pouco ainda se conhece sobre as necessidades nutricionais das diferentes espécies nativas indicadas nestes projetos (CARNEIRO et al., 2004).

Entre as espécies mais comumente indicadas em projetos de restauração florestal destacam-se as da família Myrtaceae, que é uma das mais importantes de Magnoliophyta (angiospermas) no Brasil e representativas na Mata Atlântica, estando entre as que apresentam o maior número de espécies em levantamentos florísticos (LEITÃO-FILHO, 1987; ANDREAZZA et al., 2008; ROCHELLE et al., 2011).

O fósforo (P) pode ser o nutriente essencial mais limitante ao crescimento das plantas (SHEN et al., 2011). Embora presente em diferentes formas no solo (orgânicas e inorgânicas), em solos intemperizados, ácidos, predominantes no Brasil, a maior parte do P forma complexos de baixa solubilidade, com óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al), sendo indisponível às plantas (NOVAIS et al., 2007). Por essa razão, em projetos de restauração florestal e/ou recuperação de áreas degradadas, assim como em áreas agrícolas, torna-se necessário o fornecimento deste nutriente via fertilização.

Diversos trabalhos que avaliaram os efeitos da deficiência de diferentes nutrientes sobre o crescimento de espécies arbóreas tiveram o P como o elemento mais limitante (VENTURIN et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; MISSIO et al., 2004; SOUZA et al., 2006; SORREANO, 2006; GONÇALVES et al., 2008; SOUZA et al., 2009). Estes efeitos ocorreram por limitações no crescimento em altura, no diâmetro do caule, na massa seca da parte aérea e de raízes (VENTURIN et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; GONÇALVES et al., 2008), além de efeitos visuais de deficiência em folhas, como coloração verde-azulada, manchas arroxeadas e/ou clorose (SORREANO, 2006).

Entre os fatores que determinam a demanda por nutrientes e a capacidade de absorção e acúmulo de nutrientes nos tecidos vegetais está a taxa de crescimento das plantas (SANTOS et al., 2008). Em espécies arbóreas, o crescimento é influenciado em grande parte pelos requerimentos de luz, tanto na germinação quanto no estabelecimento

das plantas, o que caracteriza os diferentes grupos sucessionais. Espécies arbóreas que necessitam de condições de luz plena a intermediária pertencem a grupos sucessionais típicos do início do processo de sucessão florestal, que apresentam maiores taxas de crescimento, e têm, por essa razão, maiores demandas nutricionais (SILVA et al., 1997). Espécies típicas de condições de sombreamento, mais tardias no processo sucessional de substituição de espécies, tem crescimento mais lento e apresentam baixa resposta ao fornecimento de nutrientes (RESENDE et al., 1999).

A fim de aumentar a capacidade de absorção de nutrientes presentes em baixas concentrações, como o P, em grande parte dos solos tropicais, as espécies, no decorrer de suas histórias evolutivas, desenvolveram diversos mecanismos de adaptação (LAMBERS et al., 2006). Assim, as plantas aumentaram a eficiência em absorver P, principalmente, através de modificações no sistema radicial e maior exploração de volume de solo, ou, ainda, pelo aumento da eficiência em utilizar o P absorvido para a produção de biomassa (VANCE et al., 2003). Neste sentido, destacam-se as associações micorrízicas, representam o modo mais ancestral entre estas estratégias adaptativas (BRUNDRETT, 2002).

As micorrizas exercem um papel fundamental na sobrevivência e no desenvolvimento das plantas, propiciando maior capacidade de competição em solos pouco férteis, aumentando as chances de sobrevivência e crescimento das plântulas no campo

(POUYU-ROJAS & SIQUEIRA, 2000). O conhecimento sobre a capacidade das espécies vegetais em formar simbioses com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), além da grande importância para o sucesso da revegetação em solos ácidos e ricos em óxidos de Fe e de Al, serve de suporte para pesquisas de produção de mudas de espécies nativas formadas em viveiros florestais (CARNEIRO et al., 1998).

Os FMA são organismos biotróficos obrigatórios que formam relação simbiótica, caracterizadas pela presença endógena de arbúsculos nas células do córtex radicial de 80 % das plantas vasculares (SMITH et al., 2003), gimnospermas, pteridófitas e briófitas. A colonização é mediada por interações genéticas, morfológicas e funcionais entre fungo e planta, originando uma estrutura de troca de nutrientes, o arbúsculo, formada pela ramificação da hifa do fungo no espaço entre a membrana celular e a membrana plasmática da célula vegetal (CARDOSO & KUYPER, 2006).

Além dos arbúsculos, outras estruturas micorrízicas desenvolvem-se no processo de colonização micorrízica, cuja presença depende de fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, as variações sazonais, os locais e formas de manejo do solo e das culturas, a disponibilidade de propágulos de FMA no solo e a eficiência de colonização de FMA (AFEK et al., 1990).

A associação inicia com a presença de propágulos do fungo no solo, que podem ser esporos, hifas e segmentos de raízes micorrizadas. Destes formam-se as hifas infectivas, que, ao encontrarem

as raízes, aderem à sua superfície (epiderme ou pêlos radiciais) e formam um apressório, através do qual penetram as células da epiderme na zona de diferenciação e alongamento, formando a “unidade de infecção”. Após a infecção, e durante a colonização do tecido cortical da raiz, além da diferenciação de arbúsculos, pode ocorrer a formação de hifas intracelulares enoveladas, vesículas ou células auxiliares (SOUZA et al., 2006; KIRIACHEK et al., 2009).

O trabalho de tese consistiu nos seguintes capítulos:

Capítulo I – Disponibilidade de fósforo do solo, crescimento e acúmulo de nutrientes em mirtáceas.

Os objetivos deste capítulo foram o de avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes de mirtáceas nativas do Sul do Brasil (*Eugenia uniflora*, *Eugenia pyriformis*, *Eugenia involucrata*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Campomanesia guazumifolia* and *Myrcianthes pungens*), em interação com níveis de fósforo do solo. As hipóteses investigadas foram: (a) o aumento da disponibilidade de P do solo propicia maior crescimento de plantas destas espécies; (b) espécies de mirtáceas pertencentes a grupos sucessionais iniciais, por terem maiores taxas de crescimento e maior demanda por nutrientes, têm maior crescimento ao aumento da disponibilidade de P do solo;

Capítulo II - Disponibilidade de fósforo do solo e micorrizas arbusculares em mirtáceas.

Os objetivos deste capítulo foram o de avaliar o efeito da disponibilidade de P do solo e de espécies de mirtáceas nativas do Sul do Brasil (cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira, pitangueira, sete-capotes e uvalheira) na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares; o efeito destes fungos no crescimento destas plantas e as estruturas micorrízicas predominantes. As hipóteses investigadas foram: (a) FMA associam-se às espécies de mirtáceas avaliadas, sendo esta associação influenciada pela disponibilidade de P do solo e pela espécie de planta; (b) as estruturas micorrízicas predominantes nas espécies, assim como em outras estudadas da mesma família, são hifas, vesículas e arbúsculos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Família Myrtaceae

Myrtaceae origina-se do grego “myrtos”, que significa perfume, é constituída por pelo menos 133 gêneros e 3.800 espécies. Os centros de diversidade predominantes são Austrália, sudeste da Ásia, América tropical e temperada, e pouca representação na África (WILSON et al., 2001). No Brasil a família apresenta 23 gêneros e cerca de 1.000 espécies descritas (LANDRUM & KAWASAKI, 1997).

Constitui uma das famílias mais ricas em espécies da Mata Atlântica, o que foi evidenciado em levantamento de Oliveira-Filho & Fontes (2000), que demonstraram que do total de 3.545 espécies arbóreas, 495 (14%) pertencem à essa família. Na Floresta Ombrófila Mista, que pertence ao bioma Mata Atlântica *lato sensu*, a família também está entre as que apresentam maior número de espécies (RIO GRANDE DO SUL, 2002; GIEHL & JARENKOW, 2008; GRINGS & BRACK, 2009).

Esta família apresenta, ainda, grande importância por ter uma ampla variação nos padrões fenológicos, o que é fundamental para as comunidades de fauna associadas (MORI et al., 1983). Várias de suas espécies têm frutos comestíveis, os quais são muito apreciados pela fauna, especialmente a avifauna, além de morcegos e mamíferos (SANTOS et al., 2004).

Além da importância que apresenta pela ampla distribuição e representatividade nas florestas brasileiras e pelo uso em projetos de restauração florestal, esta família possui grande importância econômica, com espécies utilizadas na indústria farmacêutica, cosmética e de perfumaria. Diversas espécies apresentam potencial de uso alimentar, medicinal ou ornamental, como a goiabeira (*Psidium guajava* L.), a pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), a jaboticabeira (*Myrciaria trunciflora* O. Berg), o araçazeiro (*Psidium cattleianum* Sabine), a cerejeira-domato (*Eugenia involucrata* DC.), a uvalheira (*Eugenia pyriformis* Cambess.) e a guabirobeira (*Campomanesia xantocarpa* O. Berg) (LORENZI et al., 2006; DANNER et al., 2010).

As espécies citadas podem ser exploradas comercialmente, visando à diversificação da produção e do consumo de frutas, ou, ainda, podem ser transformadas em subprodutos pela agroindústria alimentícia (DANNER et al., 2010). Além das razões citadas, as mirtáceas constituem importantes fontes de alimentação, atraindo animais dispersores, o que é uma excelente maneira de acelerar o processo de sucessão vegetal de um determinado local, sendo então amplamente indicadas em projetos de restauração florestal (ATTANASIO et al., 2006).

2.2 Crescimento de espécies arbóreas

Crescimento, no contexto de plantas individuais, é a mudança irreversível em tamanho, forma e em alguns casos, em número, no decorrer do tempo (HUNT, 1982). As plantas têm seu crescimento determinado basicamente por dois conjuntos de fatores: (1) características genéticas; (2) condições ambientais, como os fatores climáticos (radiação, temperatura, precipitação, ventos, etc.), fisiográficos (condições topográficas, relevo, processos de sedimentação e erosão, etc.), edáficos (tipo, composição, textura, fertilidade do solo), e bióticos (relações ecológicas com outras espécies, como mutualismo, parasitismo, predação, competição, etc.) (CAMPOS, 1970).

Espécies arbóreas apresentam crescimento lento, em comparação a espécies de outros grupos de plantas vasculares, como herbáceas e arbustivas. São geralmente classificadas em dois grupos funcionais, baseada nos requerimentos de germinação e estabelecimento, havendo espécies dependentes de luz, típicas das fases mais iniciais do processo de sucessão ecológica, e espécies tolerantes a sombra, mais tardias em relação ao processo sucessional (POORTER, 1999).

As espécies iniciais, que incluem as pioneiras e as secundárias iniciais, são aquelas com preferência por luminosidade plena (heliófitas), intolerantes à sombra, que apresentam crescimento rápido, ciclo de vida curto (inferior a 8 anos), reprodução abundante e precoce, com sementes pequenas, de longa viabilidade e latência, com dispersão

geralmente anemocórica (vento) ou zoocórica (por animais, como aves e mamíferos), raízes superficiais e alta capacidade de adaptação. As espécies tardias, que incluem as secundárias tardias e as climáticas, são as que surgem nos estádios mais avançados da sucessão, necessitam de sombreamento para se desenvolver e na fase adulta (umbrófilas), apresentam crescimento lento, ciclo de vida médio a longo (até 100 anos), reprodução tardia, com pequena quantidade de sementes grandes e de curta viabilidade, sendo dispersão principalmente zoocórica (GLUFKE, 1999; BARBOSA, 2001; KAGEYAMA & GANDARA, 2001).

Considerando a relação entre crescimento de espécies e grupos sucessionais a maioria dos trabalhos relata que as que apresentam maiores taxas de crescimento, em geral as classificadas como pioneiras e secundárias iniciais, têm por essa razão maior demanda por nutrientes e também maior capacidade e eficiência de absorção acúmulo de nutrientes nos tecidos vegetais (SILVA et al., 1997; RESENDE et al., 2000). Com o avanço do grupo sucessional, o estímulo ao crescimento proporcionado pela adubação menos pronunciado e algumas vezes inexistente; tendência, em parte, atribuída ao crescimento mais lento, característico das espécies clímax (RESENDE et al., 1999). Além disso, existe comportamento distinto entre espécies dentro do mesmo grupo sucessional (RESENDE et al., 2000).

2.3 Nutrição de espécies arbóreas

O estado nutricional das plantas tem sido objeto de estudo por várias décadas, principalmente de plantas de interesse econômico. Em espécies nativas, a caracterização da composição nutricional é importante, sobretudo, com vistas à elaboração e implantação de projetos de restauração florestal. Conforme Andrade (2010), as espécies florestais têm exigências nutricionais e respostas ao estresse nutricional diferenciados, sendo que a carência ou o suprimento inadequado de nutrientes, para espécies florestais nativas, pode comprometer o sucesso de projetos de recuperação e de restauração de áreas degradadas.

O suprimento inadequado de um elemento essencial resulta em distúrbio nutricional que se manifesta por sintomas de deficiência característicos (TAIZ & ZIEGER, 2004). A deficiência pode se desenvolver se a concentração do elemento no solo é baixa, se o elemento está presente em formas químicas que o tornam indisponível para a planta ou, ainda, se há efeitos competitivos ou antagônicos entre elementos, influenciando a absorção (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Alguns elementos minerais são considerados essenciais às plantas, dadas as funções específicas que desempenham no metabolismo destas. Para tal, são assim considerados aqueles que atendem a três critérios de essencialidade: (1) o elemento participa de algum composto ou de alguma reação, sem o qual a planta não completa seu ciclo de vida; (2) o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; (3) o

elemento deve ter papel direto no metabolismo da vida da planta (constituente ou participante de um processo específico), e não exercer apenas o papel de, com sua presença no meio, neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para a planta (MARSCHNER, 2012).

Assim, dezessete elementos são considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas: os obtidos da água ou dióxido de carbono: hidrogênio (H), carbono (C), oxigênio (O) e os obtidos do solo: (1) macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); (2) micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) (TAIZ & ZIEGER, 2004). A classificação em macro ou micronutrientes se dá de acordo com as quantidades exigidas pelas plantas, sendo os primeiros exigidos em maiores quantidades, da ordem de g kg^{-1} de massa seca, enquanto os micronutrientes estão presentes na biomassa na ordem de mg kg^{-1} .

Aspectos relacionados à fertilidade do solo e à nutrição mineral de espécies arbóreas nativas vêm sendo estudados nos últimos anos, considerando principalmente os efeitos da presença/ausência e diferentes doses de macro e micronutrientes no crescimento e desenvolvimento de plantas (SORREANO, 2006). Os primeiros trabalhos publicados são da década de 70 e avaliaram os efeitos da adubação de macronutrientes no crescimento de mudas florestais, como pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) (SIMÕES & COUTO,

1973; HOOGH, 1981), jatobá (*Hymenaea courbaril*) (CARPANEZZI et al., 1976) e algaroba (*Prosopis juliflora*) (HAAG et al., 1986).

Em estudo realizado por Simões & Couto (1973), foi verificado que todas as omissões de nutrientes afetaram o crescimento das plantas de araucária, com exceção da omissão de S. As omissões de N e P causaram as maiores limitações ao crescimento das plantas e ao diâmetro do caule, e, semelhantemente ao Mg, reduziram o crescimento das raízes.

Em seu trabalho com algaroba, Haag et al. (1986) observaram que a ausência de qualquer macronutriente afetou a produção de massa seca, em especial o N, K e o P, seguidos pelo Mg e pelo Ca. Trabalhando com a técnica do nutriente faltante na adubação de grápia (*Apuleia leiocarpa*), Nicoloso et al. (1999) verificaram que a omissão isolada de P, S, N e K resultaram em baixo crescimento de mudas, demonstrando, portanto, que estes nutrientes foram os mais limitantes nesse solo para o crescimento inicial dessa espécie. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2009) em mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), as quais tiveram como nutrientes mais limitantes para seu desenvolvimento, em ordem decrescente, $P > N > K > B > S > Ca > Zn > Mg$.

A grande maioria dos trabalhos publicados sobre nutrição de espécies arbóreas foi efetuada em condições de casa de vegetação (SIMÕES & COUTO, 1973; DIAS et al., 1992; RESENDE et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; NICOLOSO et al., 2001; SCHUMACHER et

al., 2004; SORREANO, 2006; CECONI et al., 2007; GONÇALVES et al., 2008; SOUZA et al., 2009), sendo raros os trabalhos experimentais feitos em condições de campo (LIMA et al., 1995; LIMA et al., 1997; DUBOC, 2005; MELOTTO et al., 2009), que representem de modo mais próximo a implantação de projetos de restauração florestal, visando a boa capacidade das plantas se desenvolverem, dado, entre outros aspectos, pelo adequado suprimento das demandas nutricionais que as espécies apresentam.

2.3.1 Macronutrientes

As principais funções dos macronutrientes nas plantas, como N e P, estão na constituição de diversos compostos orgânicos da célula, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos. O P participa, ainda, de quase todo o metabolismo de energia nas plantas, desde as seqüências de reações na fotossíntese até a respiração, sendo constituinte da molécula de ATP. O K, diferente dos outros macronutrientes, não tem função estrutural, mas atua na regulação de processos fisiológicos. O Ca é constituinte da parede celular, e regula o metabolismo da planta. O Mg é o nutriente chave na composição da molécula de clorofila, enquanto que o S é constituinte estrutural dos aminoácidos cisteína, metionina e, conseqüentemente, de várias proteínas (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012).

Entre as espécies nativas da Mata Atlântica *lato sensu* que ocorrem no Rio Grande do Sul, há dados publicados de teores

nutricionais foliares para cerca de dezessete (Tabela 1). Ao comparar as faixas de referência (valores mínimos e máximos) de cada nutriente nestas espécies aos teores considerados adequados ao desenvolvimento normal das plantas, observa-se que, em geral, a amplitude dos teores em arbóreas é maior. Isto é evidente principalmente para o P, o Mg e o S, em que os valores mínimos e máximos extrapolam aqueles descritos para plantas cultivadas.

Considerando os teores médios de macronutrientes das dezessete espécies arbóreas descritas (Tabela 1), em comparação aos comumente encontrados no tecido vegetal (principalmente folhas) de plantas cultivadas (Epstein & Bloom, 2006), os nutrientes estão em concentrações mais elevadas nas espécies arbóreas. Essa diferença é ainda maior considerando o Ca, o Mg e o S, cujos valores são duplicados nestas últimas, o que demonstra a maior demanda destes nutrientes por estas espécies.

Com o objetivo de estudar as exigências nutricionais no desenvolvimento inicial de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*), Venturin et al. (1999) concluíram que os nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas foram P, N, S e Ca, seguidos de Mg, K e pelo B, enquanto que as omissões de K, Ca e de Mg afetaram a absorção de S pelas plantas.

Tabela 1 - Teores de macronutrientes foliares de espécies em geral e arbóreas nativas da Mata Atlântica

Autor	Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
		-----g kg ⁻¹ -----					
Epstein & Bloom (2006) ¹	-	15,0	2,0	10,0	5,0	2,0	1,0
Dechen & Nachtigal (2007) ²	-	20,0-50,0	1,0-1,5	10,0-30,0	10,0-50,0	3,0-5,0	1,0-3,0
Gonçalves et al. (1992)	<i>Peltophorum dubium</i>	9,0	2,5	7,8	7,4	-	-
Venturin et al. (1999)	<i>Peltophorum dubium</i>	16,2	0,8	5,5	4,6	1,0	0,4
Venturin et al. (2000)	<i>Trema micrantha</i>	31,2	1,1	13,8	18,4	4,1	0,6
Zampier (2001)	<i>Ilex paraguariensis</i>	18,6	3,2	13,8	6,1	4,6	-
Sorreano (2006)	<i>Ceiba speciosa</i>	16,6	3,8	15,4	18,8	5,0	4,2
	<i>Cecropia pachystachya</i>	10,0	2,3	9,2	14,2	2,1	1,1
	<i>Enterolobium</i>	17,5	2,5	14,0	11,8	4,5	2,2
	<i>Lonchocarpus</i>	20,2	2,8	14,8	17,3	5,0	1,5
Lima et al. (2008)	<i>Euterpe edulis</i>	18,8	1,4	4,4	11,8	3,4	0,7
Souza et al. (2009)	<i>Cedrela fissilis</i>	16,0	1,4	12,0	7,8	1,5	1,5
Andrade (2010)	<i>Schinus terebinthifolius</i>	13,0	3,6	16,5	6,1	1,8	2,0
Mattei et al. (2010)	<i>Psidium cattleianum</i>	12,1	3,3	-	10,2	2,8	2,4
	<i>Eugenia involucrata</i>	14,4	1,4	11,4	15,0	5,9	2,9
	<i>Myrcianthes pungens</i>	14,4	1,2	18,5	10,0	2,4	2,6
	<i>Campomanesia</i>	16,8	3,0	16,3	11,0	4,6	2,9
	<i>Eugenia uniflora</i>	22,1	2,1	11,4	14,4	4,3	2,5
	<i>Campomanesia</i>	21,6	1,8	20,7	19,5	2,4	3,2
Bastos et al. (2013)	<i>Eugenia pyriformis</i>	11,6	3,0	7,0	12,6	5,0	2,4
	<i>Ilex paraguariensis</i>	14,4	2,8	7,3	7,0	5,9	-
Média ³	-	16,5	2,3	12,2	11,8	3,7	2,1
Faixa de referência ⁴	-	9,0-31,2	0,8-3,8	4,4-20,7	4,6-19,5	1,0-5,9	0,4-4,2

¹Teores comumente encontrados no tecido vegetal (principalmente folhas) de plantas cultivadas; ²Teores considerados adequados em tecido vegetal para o desenvolvimento normal das plantas; ³Média e ⁴Faixa de referência: valores mínimos e máximos do nutriente obtidas a partir dos teores de macronutrientes avaliados em 17 espécies arbóreas.

O enxofre foi o elemento mais limitante ao crescimento de mudas de jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), pau-ferro (*Caesalpinea*

ferrea), cedro (*Cedrela fissilis*) e cássia-verrugosa (*Senna multijuga*), em estudo realizado por Renó et al. (1997), resultando em menor crescimento em altura e diâmetro, bem como menor biomassa de folhas.

2.3.1.1 Fósforo em solos tropicais

Os teores de P disponível às plantas, na maioria dos solos tropicais brasileiros, são, em geral, muito baixos. Isto em razão de que uma parcela muito pequena (menos de 0,1%) do teor total do solo, que varia entre 200 e 3.000 mg kg⁻¹ (NOVAIS et al., 2007), está na solução do solo, cujos valores variam entre 2,0 µg L⁻¹ e 2,0 mg L⁻¹ (FARDEAU, 1996). Essa desproporção entre os teores totais e disponíveis ocorre devido aos mecanismos físico-químicos de adsorção específica do fosfato (PO₄³⁻) pelos oxihidróxidos de Fe e Al presentes, principalmente, em solos altamente intemperizados, como os Latossolos (ROLIM NETO et al., 2004; NOVAIS et al., 2007).

Em ecossistemas naturais, não perturbados pelo homem, vários processos biológicos e químicos permitem que as plantas, mesmo em condições de baixa disponibilidade, utilizem-no de maneira eficiente, podendo haver absorção direta de formas orgânicas de P, sem que haja passagem desse nutriente para a fase mineral do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999). Assim, quando apresenta características nutricionais (reservas) favoráveis à planta, seja naturalmente, por ser fértil, ou através da adição de fertilizantes, o solo pode atuar como fonte de P. No entanto, com o aumento do grau de intemperismo, principalmente em

condições tropicais, os solos passam gradualmente de fonte para dreno, competindo, dessa maneira, com as plantas, pela absorção do nutriente. Neste processo, o solo se torna mais eletropositivo e, conseqüentemente, aumenta a adsorção (retenção) de ânions, como fosfato, sulfato, molibdato, etc., diminui a CTC efetiva e a saturação por bases (NOVAIS et al., 2007).

Em ambientes alterados pelo homem, a baixa disponibilidade de P do solo pode ser corrigida com a aplicação de fertilizantes inorgânicos e orgânicos (VANCE et al., 2003). No entanto, em solos tropicais, a adubação fosfática pode apresentar desvantagens, como o custo elevado, dado, entre outros fatores, pela condição das fontes de fósforo constituir recursos naturais não renováveis (BEM & DECHEN, 1998), e pela baixa eficiência do processo, em vista da grande capacidade destes solos de adsorver e reter ânions como os fosfatos, tornando rapidamente indisponível o P aplicado. A utilização de fertilizantes orgânicos ricos em fosfatos, por sua vez, tem elevado potencial poluidor, devido ao fato de estes serem aplicados na superfície do solo, em que os sítios de adsorção com maior afinidade pelo fosfato são rapidamente saturados por causa do pequeno volume de solo em contato, levando ao escoamento superficial de P (BERWANGER et al., 2008).

2.3.1.2 Fósforo em plantas

O P é um dos dezessete elementos essenciais requeridos ao crescimento das plantas, sendo, após o N, quantitativamente, o elemento mais importante à nutrição vegetal (VANCE et al., 2003). Sua concentração média na massa seca da parte aérea das plantas é de cerca de $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ (EPSTEIN & BLOOM, 2006; NOVAIS et al., 2007).

O P tem participação essencial em diversos processos vitais da planta, incluindo a geração de energia (armazenamento, transferência e utilização), síntese de ácido nucléico, divisão celular, fotossíntese, glicólise, degradação de açúcares, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação/inativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de nitrogênio (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012). Em vista das funções que tem nas plantas, a deficiência de P gera grande limitação à produtividade primária, tanto em sistemas naturais como em sistemas agrícolas, se não fornecido via fertilizantes (VANCE et al., 2003).

A demanda de P pelas espécies está associada a diversos fatores, como tamanho e conteúdo de P das sementes, grau de desenvolvimento do sistema radicial, dependência micorrízica, taxa de crescimento e estágio de desenvolvimento da planta. Maior resposta ao fornecimento de P é esperada em espécies de sementes pequenas e com baixos conteúdos de P, com sistema radicial pouco desenvolvido, com maior capacidade micotrófica e com maior taxa de crescimento e na fase

inicial de desenvolvimento, ou seja, em espécies pioneiras e secundárias iniciais (SANTOS et al., 2008).

A carência de P representa séria restrição ao desenvolvimento da grande maioria das culturas anuais e tem se mostrado limitante também para o crescimento de espécies florestais exóticas e nativas (RESENDE et al., 2000). Ao avaliar por meio de características morfológicas o efeito de doses de macronutrientes no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), Gonçalves et al. (2008) observaram que os tratamentos com aplicação de fertilizantes com N, P, K, Ca, Mg e S possibilitaram significativo aumento do crescimento das mudas de angico-vermelho, sendo que o nutriente que mais surtiu efeitos significativos foi o P.

Comportamentos semelhantes em relação à adubação fosfatada foram obtidos por Oliveira et al. (1998), avaliando a resposta de angelim-pedra (*Dinizia excelsa*) à aplicação de N e P, por Missio et al. (2004) em mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*), por Souza et al. (2009) em mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), por Ceconi et al. (2006), em mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata*). Ceconi et al. (2007) encontraram influência positiva da utilização de P no crescimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), até determinada dose, depois passou a ser negativa. Outros pesquisadores que testaram os efeitos da deficiência de diferentes nutrientes em espécies nativas também encontraram que o P foi o elemento mais limitante ao crescimento das

plantas (VENTURIN et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; SOUZA et al., 2006; GONÇALVES et al., 2008).

Considerando os estudos sobre o efeito da disponibilidade de P em *Eugenia uniflora*, Abreu et al. (2005) concluíram que a aplicação de superfosfato simples aumentou a altura das mudas desta espécie, assim como no comprimento da raiz, na matéria seca da raiz e da parte aérea.

2.3.2 Micronutrientes

Os micronutrientes tem função nas plantas como constituintes de estruturas orgânicas, predominantemente envolvidos na função catalítica de enzimas. O B, além de atuar em alguns sistemas enzimáticos, é importante na translocação e no metabolismo de carboidratos. O Cu participa de várias enzimas de oxirredução, sendo fundamental no processo de fotossíntese das plantas. O Fe tem como principal função a ativação de enzimas e participa de diversas reações de oxirredução em proteínas. O Mn é necessário à síntese de clorofila, por ser um ativador de enzimas, assim como o Zn, que atua na regulação e estabilização da estrutura protéica.

Em estudo realizado por Sorreano (2006), abordando a omissão de macro e micronutrientes no desenvolvimento inicial de 17 espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, os micronutrientes B, Fe, Cu e Zn, quando omitidos, causaram os primeiros sintomas visíveis de

anormalidades nas plantas, com alterações morfológicas, seguidos pelos macronutrientes N, P e K, para os diferentes grupos ecológicos a que as espécies pertencem.

Ao comparar os teores nutricionais de espécies arbóreas aos considerados adequados ao desenvolvimento normal das plantas (DECHEN & NACHTIGAL, 2007), observa-se que a amplitude dos teores obtidos em arbóreas é maior, com exceção do Mn e Cu (Tabela 2). Para o B, o Zn e o Fe, os valores máximos nas espécies florestais ultrapassam em até quatro vezes aqueles descritos para plantas cultivadas, de acordo com os autores citados.

Considerando os teores médios de micronutrientes nas espécies arbóreas descritas, em comparação aos comumente encontrados no tecido vegetal (principalmente folhas) de plantas cultivadas (EPSTEIN & BLOOM, 2006), observa-se que, com exceção do Cu, todos os nutrientes têm concentrações mais elevadas nas arbóreas. Essa diferença é de aproximadamente duas vezes no B, no Zn e no Fe nas espécies florestais, o que demonstra maior demanda destes nutrientes por estas espécies.

Tabela 2 - Teores de micronutrientes foliares de espécies em geral e arbóreas nativas da Mata Atlântica

Autor	Espécie	Mn	B	Zn	Cu	Fe
		-----mg kg ⁻¹ -----				
Epstein & Bloom (2006) ¹	-	50,0	20,0	20,0	6,0	100,0
Dechen & Nachtigal (2007) ²	-	20,0-500	30,0-50,5	>25,0	5,0-20,0	50,0-100,0
Venturin et al. (1999)	<i>Peltophorum dubium</i>	-	49,8	95,1	-	-
Venturin et al. (2000)	<i>Trema micrantha</i>	157,0	-	157,0	4,0	174,0
Sorreano (2006)	<i>Ceiba speciosa</i>	26,8	61,4	26,7	4,3	434,4
	<i>Cecropia pachystachya</i>	29,4	45,2	27,9	4,2	305,6
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	27,8	69,3	40,0	2,2	114,9
	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	17,6	71,6	21,8	2,3	138,5
Lima et al. (2008)	<i>Euterpe edulis</i>	-	30,2	35,5	5,1	119,3
Souza et al. (2009)	<i>Cedrela fissilis</i>	24,6	36,8	16,7	6,1	-
Andrade (2010)	<i>Schinus terebinthifolius</i>	20,0	12,5	18,5	3,1	173,0
Boeger et al. (2005)	<i>Psidium cattleianum</i>	224,2	-	6,7	7,1	40,4
Szymczak et al. (2011)	<i>Eugenia involucrata</i>	21,9	44,4	16,8	7,0	68,5
Média ³		61,0	46,4	36,8	4,5	174,3
Faixa de referência ⁴		17,6-224,2	12,5-219,0	6,7-157,0	2,2-7,1	40,4-434,4

¹Teores comumente encontrados no tecido vegetal (principalmente folhas) de plantas cultivadas; ²Teores considerados adequados em tecido vegetal para o desenvolvimento normal das plantas; ³Média e ⁴Faixa de referência (valores mínimos e máximos do nutriente) obtidas a partir dos teores de micronutrientes avaliados em 11 espécies arbóreas.

2.4 Fungos micorrízicos arbusculares

2.4.1 Caracterização geral

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos biotróficos obrigatórios que formam relação simbiótica, caracterizada pela presença endógena de arbúsculos nas células do córtex radicial de 80% das plantas vasculares (SMITH et al., 2003), gimnospermas, pteridófitas e briófitas. Essa elevada colonização por FMA em espécies arbóreas é evidenciada em diversos estudos (CARNEIRO et al., 1998; ANDRADE et al., 2000; BREUNINGER et al., 2000; GEHRING & CONNELL, 2006; MOREIRA et al., 2007; SILVA et al., 2009).

Os FMA pertencem ao filo Glomeromycota, Classe Glomeromycetes e incluem cinco ordens, 14 famílias, 26 gêneros e mais de 200 espécies descritas (OEHL et al., 2011). Os principais gêneros são *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Archaeospora* e *Paraglomus* (BRUNDRETT, 2002). Correspondem ao grupo mais comum entre os sete diferentes tipos de micorrizas reconhecidos nos ecossistemas terrestres: Arbusculares (FMA) ou Endomicorrizas, Ectomicorrizas, Ectendomicorrizas, Ericóides, Orquidóides, Arbutóides e Monotropóides (WANG & QIU, 2006), os quais envolvem grupos diferentes de fungos, plantas hospedeiras e padrões morfológicos (BRUNDRETT et al., 1996).

Existem fortes evidências de que os FMA desempenharam um papel crucial na conquista do ambiente terrestre pelas plantas (REDECKER et al., 2000). Essa premissa é corroborada por evidências de estudos de biologia molecular que confirmam que a origem dos FMA coincide com a origem das plantas terrestres, há cerca de 353-462 milhões de anos (SIMON et al., 1993). Estes fungos, no entanto, são considerados primitivos, por terem esporos relativamente simples, falta de reprodução sexual e porque há relativamente poucas espécies que se associam com uma grande diversidade de plantas (MORTON, 1990). Os FMA representam de 5% a 50% da biomassa de microrganismos do solo e são os fungos mais abundantes em solos agrícolas (CARDOSO & KUYPER, 2006).

De acordo com Saggin Júnior & Silva (2002), o não estabelecimento dessa simbiose é considerado um evento de evolução recente entre os vegetais, pois está restrito a poucas famílias ou divisões taxonômicas de nível inferior à família. Entre as exceções estão as famílias Brassicaceae (em que os exsudatos radiciais podem ser tóxicos aos FMA), Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Juncaceae, Cyperaceae e Amaranthaceae, embora alguns representantes destas famílias podem ser colonizados por fungos (CARDOSO & KUYPER, 2006).

2.4.2 Benefícios da associação

Por meio de mecanismos que afetam a estrutura, a bioquímica e a fisiologia do ambiente radicial, as micorrizas, através de suas estruturas externas (hifas), aumentam a absorção de nutrientes disponíveis em baixas concentrações no solo, como P, Cu e Zn (BRUNDRETT, 2002). Os FMA representam o modo mais ancestral de aquisição de P entre as estratégias apresentadas pelas plantas em adaptação aos baixos teores destes nutrientes no solo. Em ecossistemas naturais, as plantas obtêm 80% de suas demandas de nitrogênio e 90% de P através de associações micorrízicas (VAN DER HEIJDEN et al., 2008). Por sua vez, os fungos são favorecidos pelos compostos produzidos (carboidratos) pela planta através da fotossíntese (BRUNDRETT, 1991).

Além de elevar a absorção de nutrientes, outro importante benefício das micorrizas está no aumento da tolerância das plantas a estresses diversos, principalmente hídrico (BRUNDRETT, 1991). Isto em função de que as hifas desses fungos incrementam o volume de solo explorado pelas raízes, podendo absorver para a planta, além de água, íons fosfatos localizados muito além da área de ação dos pêlos radiciais (ZANGARO et al., 2002; CARNEIRO et al., 2004; POUYU-ROJAS et al., 2006).

A melhoria dos parâmetros cinéticos de absorção de P pela presença das hifas é um mecanismo importante, em parte atribuído ao

aumento do número de sítios de absorção e maior afinidade dos carregadores de P presentes nestas estruturas (SILVEIRA & CARDOSO, 2004). Além destes, outros mecanismos favorecidos pela presença de micorrizas envolvem: (a) exploração diferenciada de microsítios, como pequenas porções de matéria orgânica e poros do solo de diâmetro menor que o das raízes; (b) aumento da solubilidade de fosfatos na rizosfera de fontes não lábeis, por meio das alterações químicas; (c) maior velocidade de absorção de P da solução do solo e translocação para as raízes do que o processo de difusão, transpondo as zonas de depleção de P na rizosfera; (d) maior eficiência das hifas em competir pelo P recentemente mineralizado ou solubilizado com os microrganismos de vida livre do solo; (e) capacidade de usar fontes de P que não estão disponíveis para as raízes não micorrizadas (SMITH & READ, 1997).

2.4.3 Disponibilidade de fósforo do solo e da planta e micorrizas arbusculares

A colonização micorrízica é mediada por interações genéticas, morfológicas e funcionais entre fungo e planta, originando uma estrutura de troca de nutrientes, o arbúsculo, formada pela ramificação da hifa do fungo no espaço entre a membrana celular e a membrana plasmática da célula vegetal (CARDOSO & KUYPER, 2006). Os mecanismos de regulação da formação de micorrizas são

ainda poucos conhecidos, mas sabe-se que alguns fatores podem influenciar a ocorrência e a eficiência das associações, como as propriedades das raízes, os fatores edáficos ou climáticos, os organismos e as alterações do solo, além da compatibilidade fungo-hospedeiro (BRUNDRETT, 1991). Outros fatores importantes são os níveis de P do solo, pH e teor de Al do solo, a espécie de FMA presente e a cultivar ou espécie de planta (CARDOSO & KUYPER, 2006).

O teor de P do solo constitui um dos principais mediadores do desenvolvimento de associações micorrízicas, sendo o nutriente inorgânico mais importante, controlando principalmente a taxa de crescimento fúngico (KOIDE, 1991; JOHNSON et al., 1997). Os efeitos de altos níveis de P na colonização de FMA variam, havendo casos de redução da associação e outros em que pouco ou nenhum efeito é observado (JOHNSON et al., 1997). Em situações de alto P, a relação micorrízica pode, ainda, passar de simbiótica a parasítica, onde o fungo obtém carboidratos da planta, mas esta já não se beneficia com aumento da absorção de nutrientes, havendo mais custos do que benefícios para o hospedeiro (BRUNDRETT, 1991).

Além dos teores no solo, a concentração de P nas plantas é um dos principais fatores no desenvolvimento da simbiose micorrízica. De acordo com Kiriachek et al. (2009), altas concentrações de P na planta inibem a colonização de raízes, enquanto que em baixas concentrações a colonização por FMA seria favorecida. As razões para a regulação do desenvolvimento micorrízico em função do P seriam que,

como este nutriente é o principal captado pelo fungo, em condições nutricionais adequadas, este representaria um mecanismo de regulação da planta a limitar a alocação de carboidratos para a biomassa de fungos (BREUILLIN et al., 2010). Ainda, o P afetaria a exsudação radicial, cujos componentes influenciam a sinalização molecular durante os processos de pré-infecção, colonização e nutrição do fungo (KIRIACHEK et al., 2009).

2.4.4 Micorrizas arbusculares e mirtáceas nativas

As respostas da associação entre espécies de mirtáceas nativas do Sul do Brasil e FMA são ainda pouco estudadas. No entanto, os estudos que incluem estas espécies em geral mostram relações positivas e significativas à inoculação com FMA (Tabela 3). Isto foi demonstrado, por exemplo, por Zangaro et al. (2002), que avaliaram a incidência da colonização de micorriza arbuscular (MA) em 81 espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi (PR), e encontraram incidência muito alta (> 80%) para as espécies *Eugenia uniflora* L. e *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg, média (40 - 59%) para *Psidium guajava* L. e muito baixa (1 - 19%) para *Plinia rivularis* (Cambess.).

Elevada ocorrência de FMA também foi encontrada por Gehring & Connell (2006) para quatro mirtáceas (*Acmena ingens*, *Syzygium cormiflorum*, *S. endophloium* e *S. wilsoni*), em estudo realizado na floresta tropical da Austrália. Para *Eugenia involucrata*,

Carneiro et al. (1998) observaram colonização micorrízica baixa, de 1 a 19%, enquanto Silva et al. (2009) não encontraram nenhuma espécie de FMA associado a esta espécie, demonstrando ser um padrão característico da espécie não estabelecer este tipo de associação.

Tabela 3 – Colonização de fungos micorrízicos arbusculares em mirtáceas nativas da região Sul do Brasil

Espécie	Autor	Colonização (%)	Local do estudo	Formação florestal	Idade das plantas	Estruturas micorrízicas
<i>Eugenia involucrata</i>	Silva et al. (2009)	0	Santa Maria/RS	FED ¹	adulta	-
<i>Eugenia involucrata</i>	Lopes (2009)	> 95	Eldorado do Sul/RS	FES ²	adulta	h, a, (-v)
<i>Eugenia uniflora</i>	Zangaro et al. (2002)	20 - 39	Londrina/PR	FES	plântula	-
<i>Eugenia uniflora</i>	Lopes (2009)	> 95	Eldorado do Sul/RS	FES	adulta	h, a, (-v)
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Zangaro et al. (2002)	20 - 39	Londrina/PR	FES	plântula	-
<i>Campomanesia</i> sp.	Andrade et al. (2010)	-	Correia Pinto/SC	FOM ³	juvenil	h, v
<i>Plinia rivularis</i>	Zangaro et al. (2002)	1 - 19	Londrina/PR	FES	plântula	-
<i>Psidium guajava</i>	Zangaro et al. (2002)	20 - 39	Londrina/PR	FES	plântula	-
<i>Psidium guajava</i>	Andrade et al. (2000)	-	Correia Pinto/SC	FOM	juvenil	h
<i>Psidium</i> sp.	Andrade et al. (2000)	-	Correia Pinto/SC	FOM	juvenil	h, v
<i>Acca sellowiana</i>	Andrade et al. (2000)	-	Correia Pinto/SC	FOM	juvenil	ap, h, v
<i>Gomidesia spectabilis</i>	Andrade et al. (2000)	-	Morro do Baú/SC	FOD ⁴	juvenil	ap, h, v
<i>Eugenia brasiliensis</i>	Lopes (2009)	> 95	Viamão/RS	FES	adulta	h, a, (-v)

¹FED: floresta estacional decidual; ²FES: floresta estacional semidecidual; ³FOM: floresta ombrófila mista; ⁴FOD: floresta ombrófila densa; (ap) apressório; (h) hifa; (v) vesícula; (a) arbúsculo; (c.a) célula auxiliar; Planta juvenil: 50 a 70 cm de altura.

2.5 Fungos *dark septate endophytes*

Os fungos denominados *dark septate endophytes* (DSE) são organismos biotróficos facultativos, ao contrário dos FMA, que são simbiontes obrigatórios. São assim denominados pois formam hifas septadas e microestruturas globosas, chamadas microesclerócios, de pigmentação escura intensa, as quais crescem inter e intracelularmente às células do córtex das raízes (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998). A cor escura característica das hifas septadas e dos microesclerócios resulta da incorporação de melanina, um pigmento natural que compõem a parede da estrutura do fungo (BARROW & AALTONEN, 2001).

Pertencem ao filo Ascomycota (ascomicetos), sendo grande parte dos gêneros descritos da Ordem Helotiales, além de outros pertencentes às ordens Chaetothyriales, Pleosporales, Capnodiales, Chaetosphaeriales e Sordariales (NEWSHAM, 2011). São amplamente distribuídos e predominantes em solos intemperizados de florestas boreais do Canadá, em florestas temperadas e boreais de coníferas do centro e norte da Europa e em plantios exóticos de *Pinus* da Nova Zelândia. Há dados que evidenciam a colonização por DSE em cerca de 600 espécies de plantas, representados por 320 gêneros e 114 famílias (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998).

As funções dos fungos DSE no solo e colonizando plantas não são ainda bem claras e as conclusões de pesquisas são contraditórias. Sabe-se, no entanto, que estes fungos formam associações simbióticas

com raízes de plantas hospedeiras, mas não se sabe se estes tem relação com a absorção de nutrientes e, assim, se as associações podem ser consideradas mutualísticas, ou em certas ocasiões, parasíticas (JUMPPONEM, 2001).

Algumas evidências sugerem que os fungos DSE podem, sob determinadas condições ambientais ou experimentais, melhorar o crescimento de plantas e a absorção de nutrientes, de forma semelhante a associações micorrízicas. Estes fungos possuem interfaces que indicam um modo de nutrição biotrófico que permite a transferência de carbono entre o hospedeiro e o fungo (JUMPPONEM, 2001).

A respeito de ocorrências de DSE em mirtáceas, em trabalho realizado por Muthukumar et al. (2006), avaliando amostras de raízes e solo de 107 espécies de plantas aromáticas e medicinais do sudeste da Índia, nem a família Myrtaceae, e nem o gênero *Psidium* sp. apresentaram colonização simbiose. Este gênero, no entanto, foi descrito por Jumpponen & Trappe (1998) por formar associação com fungos DSE, assim como outras cinco espécies da família (não identificadas no trabalho).

CAPÍTULO I

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO, CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MIRTÁCEAS

RESUMO - Objetivou-se avaliar o efeito da disponibilidade de fósforo (P) do solo no crescimento de espécies de mirtáceas arbóreas e da interação entre este nutriente e estas espécies no acúmulo de nutrientes foliares. O experimento foi em campo, de setembro de 2010 a abril de 2012, utilizando mudas com oito meses de idade. O delineamento experimental foi completamente casualizado. O arranjo dos tratamentos foi bifatorial: 6 espécies (cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira, pitangueira, sete-capotes e uvalheira) x 3 níveis de fósforo (baixo, alto e muito alto), com três repetições. Foram avaliados o crescimento de plantas e os teores e quantidades acumuladas de macro e micronutrientes foliares. As variáveis de crescimento, os teores e as quantidades acumuladas de macro e micronutrientes foram influenciadas apenas pelas espécies, não ocorrendo interação com os níveis de P. O teor de P foliar aumentou com a disponibilidade de P do solo.

Palavras-chave: adubação fosfatada, análise foliar, *Campomanesia*, *Eugenia*, nutrição vegetal.

SOIL PHOSPHORUS AVAILABILITY, GROWTH AND NUTRIENTS CONCENTRATION IN MYRTACEAE SPECIES

ABSTRACT - The effects of soil phosphorus (P) availability on growth of native Myrtaceae of southern Brazil and the interaction of this factors on nutrient concentration of leaves. A field experiment was carried out in Mato Castelhana, Rio Grande do Sul state, Brasil, from september 2010 to april 2012, by using plants with eight months of age. A completely randomized design with tree repetitions was used in a 6 x 3 factorial arrangement, involving six species and tree levels of soil P availability. After nineteen months of cultivation, the wet and dry matter of the aerial part of the plants was evaluated. It was evaluated the height and stem diameter of plants, calculated the growth rate and analyzed the content and accumulation of macro and micronutrient on leaves. Growth variables, content and accumulation of macro and micronutrients were influenced just by species. The leave content of P increased with greater availability of soil P.

Kew-words: phosphate application, plant nutrition, leaf analysis, *Eugenia*, *Campomanesia*.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do crescimento e a caracterização da composição nutricional de espécies nativas arbóreas é importante, sobretudo, para subsidiar projetos de restauração florestal. A escolha adequada das espécies, conforme suas exigências ambientais e biológicas, e a capacidade destas sobreviverem e se desenvolverem no campo, são algumas das principais garantias de sucesso da restauração de uma área. Conforme Andrade (2010), as espécies florestais têm exigências nutricionais e respostas ao estresse nutricional diferenciados, sendo que a carência ou o suprimento inadequado de nutrientes pode comprometer o sucesso de projetos de restauração.

As variações nas respostas entre espécies ocorrem em função de fatores genéticos ligados à eficiência na utilização dos nutrientes. Em espécies florestais, as demandas nutricionais estão relacionadas às taxas de crescimento. Espécies que apresentam crescimento mais rápido, típicas de fases iniciais no processo de sucessão florestal, em geral, têm maior demanda por nutrientes, enquanto que espécies mais tardias, de crescimento mais lento, teriam menores demandas nutricionais (SILVA et al., 1997; RESENDE et al., 1999).

Em projetos de restauração florestal, espécies da família Myrtaceae estão entre as mais indicadas (GLUFKE, 1999). Isto em razão de que constitui uma das famílias mais representativas, com elevada riqueza de espécies na composição florística da Mata Atlântica

(MORI et al., 1983; LEITÃO-FILHO, 1987; OLIVEIRA-FILHO & FONTES, 2000), além de formações florestais da Argentina, Paraguai e Uruguai (LORENZI, 1992; SOBRAL et al., 2006). Ainda, seus frutos carnosos são muito atrativos à fauna, o que é de grande importância para o processo de sucessão vegetal, possibilitando que novas plantas se estabeleçam a partir das que foram implantadas nos projetos de recomposição florestal.

Entre os nutrientes essenciais, o fósforo (P) é considerado um dos mais limitantes ao desenvolvimento das plantas, por ter participação essencial em diversos processos vitais, incluindo a geração de energia (armazenamento, transferência e utilização), a síntese de ácido nucléico, a divisão celular, a fotossíntese, a glicólise, a degradação de açúcares, a respiração, etc. (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Por outro lado, a disponibilidade deste nutriente, em geral, é baixa em solos tropicais. Estes solos são, em sua maioria, muito intemperizados, com elevado teor de óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al). Estes compostos se adsorvem o P de forma com ligação específica, formando complexos de baixa solubilidade, indisponibilizando o P (NOVAIS et al., 2007).

Diferente do que ocorre com as culturas anuais, os estudos sobre o crescimento de espécies florestais nativas são escassos, e os existentes avaliaram principalmente efeitos de luminosidade e de sombreamento, em condições de casa de vegetação (PORTELA et al., 2001; SCALON et al., 2001; SCALON et al., 2003; CARVALHO et al., 2006; LENHARD et al., 2013), indicando a necessidade de trabalhos a

campo que avaliam outros fatores que influenciam o crescimento, como a disponibilidade de nutrientes.

Trabalhos sobre o efeito do P em plantas arbóreas constataram a importância desse nutriente para o crescimento destas plantas. Embora estes trabalhos incluíram várias espécies, como canafístula (*Peltophorum dubium*, VENTURIN et al., 1999), grápia (*Apuleia leiocarpa*, MISSIO et al., 2004), cedro (*Cedrela fissilis*, SOUZA et al., 2009), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*, CECONI et al., 2006), ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*, SOUZA et al., 2006), erva-mate (*Ilex paraguariensis*, CECONI et al. (2007) e angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*, GONÇALVES et al., 2008), o efeito do P no crescimento de cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira, pitangueira, sete-capotes e uvalheira ainda não foi avaliado em trabalhos publicados.

Os objetivos deste estudo foram: avaliar o efeito da interação entre a disponibilidade de P do solo e espécies de mirtáceas no crescimento de plantas e no acúmulo de macro e micronutrientes foliares.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do experimento

O experimento foi executado no campo, em Mato Castelhana, região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul

(28°13'0.41"S e 52°15'39.87"O), de setembro de 2010 a abril de 2012. O solo do local corresponde a um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), na altitude de 667 m e o clima da região é do fundamental úmido (f) e variedade subtropical (Cfa) (KUINCHTNER & BURIAL, 2001). A área experimental foi, até 2007, cultivada com soja, milho e aveia, sendo adubada com fertilizantes minerais (formulação NPK) na camada superficial (0 a 10 cm), ao longo dos anos de cultivo, na linha de plantio das culturas. Entre 2007 e 2010 (ano de implantação do experimento), a área ficou em pousio, predominando vegetação herbácea e arbustiva.

As plantas foram adquiridas em um viveiro, no município de Ernestina/RS, em fase inicial de crescimento (oito meses de idade) e cerca de 40 cm de altura. As mudas foram produzidas em sacos plásticos (1 dm³), contendo solo mineral, adubado com fertilizante formulado (NPK 10-10-10) e esterco sólido de frango e de suíno. As mudas foram transplantadas para covas com dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,20 m, com espaçamento de 2,0 x 2,0 m entre plantas.

Os atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento (Tabela 4) e do substrato utilizado na produção das mudas (Tabela 5) foram analisados conforme Tedesco et al. (1995). A análise física do solo, antes do experimento, realizada pelo método do Densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997), indicou teores de 600 g kg⁻¹ de argila, 130 g kg⁻¹ de silte e 270 g kg⁻¹ de areia (Classe 2, de acordo com CQFS-RS/SC, 2004).

A calagem foi realizada em todos os tratamentos e a dose aplicada ($38,4 \text{ g planta}^{-1}$) foi a necessária para corrigir o valor de pH em água para 5,5. A camada de solo corrigida foi de 0 a 20 cm, sendo aplicado calcário calcítico (PRNT de 95,4 %), misturado ao solo quando da abertura da cova para o plantio da muda.

O teor médio de P da camada de 20 cm foi de $3,6 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo considerado baixo (CQFS-RS/SC, 2004). Em todas as unidades experimentais foram aplicados fertilizantes minerais contendo nitrogênio ($10,1 \text{ g N planta}^{-1}$) e potássio ($10,1 \text{ g K}_2\text{O planta}^{-1}$), quando do transplante.

Tabela 4 - Atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento em campo

Solo	M.O. g dm ⁻³	pH H ₂ O	Ind. SMP	P -----mg kg ⁻¹ -----	K -----mg kg ⁻¹ -----	S -----mg kg ⁻¹ -----	Ca -----mg kg ⁻¹ -----	Mg -----mg kg ⁻¹ -----	CTC -----cmol _c kg ⁻¹ -----	B -----mg kg ⁻¹ -----	Mn -----mg kg ⁻¹ -----	Zn -----mg kg ⁻¹ -----	Cu -----mg kg ⁻¹ -----
Antes do experim.	32,0	4,7	4,8	3,6	113,0	17,8	4,1	3,1	25,9	0,3	34,6	1,8	14,6
Depois do experim.	36,1	5,1	5,2	-	181,5	17,1	6,5	2,4	20,7	0,6	80,2	6,9	16,2

M.O.: matéria orgânica; P (fósforo) e K (potássio) extraíveis; S (enxofre) disponíveis; Ca (cálcio) e Mg (magnésio) trocáveis; CTC: Capacidade de troca de Cátions à pH 7,0; B (boro); Mn (manganês) trocável; Zn (zinco) e Cu (cobre) disponíveis.

Tabela 5 - Atributos químicos do substrato utilizado na produção das mudas

	M.O. g dm ⁻³	pH H ₂ O	Ind. SMP	P -----mg kg ⁻¹ -----	K -----mg kg ⁻¹ -----	S -----mg kg ⁻¹ -----	Ca -----mg kg ⁻¹ -----	Mg -----mg kg ⁻¹ -----	CTC -----cmol _c kg ⁻¹ -----	B -----mg kg ⁻¹ -----	Mn -----mg kg ⁻¹ -----	Zn -----mg kg ⁻¹ -----	Cu -----mg kg ⁻¹ -----
Substrato	25,2	6,3	6,8	506,8	216,2	14,8	4,8	2,3	7,7	0,5	10,3	42,5	6,7

As espécies avaliadas foram: *Eugenia uniflora* L. (pitangueira) e *Eugenia pyriformis* Cambess. (uvalheira), classificadas

como iniciais (pioneiras e secundárias iniciais) no processo de sucessão ecológica, de acordo com Glufke (1999) e Grings & Brack (2009); e *Eugenia involucrata* DC. (cerejeira), *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg, (guabirobeira), *Campomanesia guazumifolia* (Cambess.) O.Berg (sete-capotes) e *Myrcianthes pungens* (O.Berg) D.Legrand (guabijuzeiro), classificadas como tardias (secundárias tardias e climácicas) (GLUFKE, 1999; GRINGS & BRACK, 2009). Embora pertencentes a diferentes grupos sucessionais, o plantio das espécies foi realizado na mesma data, conforme preconiza o modelo sucessional, em que, no decorrer do crescimento das plantas, as espécies iniciais forneçam sombra e condições amenas às espécies de estágios mais avançados (KAGEYAMA & GANDARA, 2001).

Os níveis testados de P do solo foram: baixo (3,1-6,0 mg kg⁻¹), alto (9,1-18,0 mg kg⁻¹) e muito alto (18,0-46,6 mg kg⁻¹) (CQFS-RS/SC, 2004). Estes níveis foram obtidos com aplicação de P₂O₅ (0, 100 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente) na forma de Super fosfato triplo, incorporando-o no solo, junto ao calcário e outros fertilizantes (uréia e KCl), além do substrato, no momento do plantio das mudas.

O delineamento experimental foi completamente casualizado. O arranjo dos tratamentos foi bifatorial 6x3 (espécies x níveis de fósforo), com três repetições, sendo que cada planta constituiu uma unidade experimental.

2.2 Crescimento e massa seca de plantas

O crescimento vegetativo de plantas foi avaliado através de duas medidas biométricas: altura da planta (cm), medida com auxílio de uma trena até a inserção da última folha, e o diâmetro do colo (mm), medido imediatamente acima do solo, com auxílio de um paquímetro.

Os períodos considerados para o cálculo das variáveis corresponderam ao momento do plantio das mudas no campo (setembro de 2010: denominado t_1) e o momento anterior à colheita das plantas (abril de 2012: denominado t_2). Com estes dados, foram calculados as variáveis de crescimento, segundo Hunt (1982) e Beltrão et al. (2001), conforme segue:

$$1) \text{ TCAA} = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm. mês}^{-1})$$

Em que:

- TCAA: taxa de crescimento absoluto, em altura
- A_2 e A_1 : altura medida no tempo t_2 e t_1

$$2) \text{ TCRA} = \frac{\text{Ln}A_2 - \text{Ln}A_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm. cm}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1})$$

Em que:

- TCRA: taxa de crescimento relativo, em altura, ou seja, crescimento da planta por dia por unidade de altura
- $\text{Ln}A_2$ e $\text{Ln}A_1$: logaritmo natural das respectivas alturas A_2 e A_1

$$3) \text{ TCADC} = \frac{\text{DC}_2 - \text{DC}_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{mm. mês}^{-1})$$

Em que:

- TCADC: taxa de crescimento absoluto, em diâmetro do colo
- DC_2 e DC_1 : diâmetro do colo medido no tempo t_2 e t_1

$$4) \text{ TCRDC} = \frac{\text{LnDC}_2 - \text{LnDC}_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{mm. mm}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1})$$

Em que:

- TCRDC: taxa de crescimento relativo, em diâmetro do colo
- LnDC_2 e LnDC_1 : logaritmo natural dos respectivos diâmetros do colo DC_2 e DC_1

A parte aérea das plantas foi colhida após 20 meses de cultivo (em abril de 2012) e separada em galhos e folhas, para obtenção das massas úmida e secas, mediante secagem em estufa (65°C). As variáveis avaliadas foram massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de galhos (MSG). As variáveis foram submetidas à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

2.3 Teores e quantidades acumuladas de nutrientes

As folhas secas foram moídas e homogeneizadas para determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e

micronutrientes (Mn, B, Zn, Cu e Fe), conforme Tedesco et al. (1995). Com estes resultados, e a massa seca das plantas, foram calculadas as quantidades acumuladas destes nutrientes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas com o teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento e massa seca de plantas

As variáveis de crescimento de plantas, calculadas com os resultados de altura e de diâmetro do colo, não foram influenciadas pela interação entre nível de P do solo e espécie. Independente do nível de P, a taxa de crescimento absoluta calculada a partir do diâmetro do colo (TCADC), no entanto, diferiu entre guabirobeira e pitangueira (Tabela 6).

Esperavam-se maiores taxas de crescimento em pitangueira e uvalheira, já que são espécies pioneiras e secundárias iniciais (GLUFKE, 1999; GRINGS & BRACK, 2009; SCALON et al., 2001). No entanto, isso não ocorreu, embora os resultados indiquem tendência de maior taxa de crescimento em altura na uvalheira (Tabela 6).

Em estudo realizado por Resende et al. (1999), avaliando a resposta de espécies florestais pioneiras e climácicas ao fornecimento de P, os resultados mostraram comportamento diferente do encontrado

neste trabalho em relação aos grupos sucessionais. As pioneiras foram mais responsivas à adubação, indicando a necessidade do suprimento deste nutriente para o adequado desenvolvimento destas espécies. As espécies clímax mostraram-se pouco sensíveis ao suprimento de P, refletindo um baixo requerimento na fase de mudas.

Tabela 6 - Taxa de crescimento absoluto e relativo da altura (TCAA, TCRA) e do diâmetro do colo (TCADC, TCRDC) de espécies de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo

Espécie	TCAA	TCRA	TCADC	TCRDC
	cm.mês ⁻¹	cm.cm ⁻¹ .mês ⁻¹	mm.mês ⁻¹	mm.mm ⁻¹ .mês ⁻¹
Cerejeira	3,73 ns	0,08 ns	0,9 ab	0,06 ns
Guabijuzeiro	2,79	0,06	0,76 ab	0,06
Guabirobeira	3,57	0,05	1,23 a	0,08
Pitangueira	3,42	0,06	0,72 b	0,06
Sete-capotes	3,66	0,07	0,89 ab	0,07
Uvalheira	4,05	0,07	0,88 ab	0,08
Média	3,54	0,07	0,90	0,07
C.V. (%)	33,8	32,9	31,1	24,2

C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes a Resende et al. (1999) foram obtidos por Sorreano (2006), em que as mudas de espécies iniciais da sucessão mostraram-se mais sensíveis à omissão de macro e micronutrientes, demonstrando os sintomas de deficiências visuais mais rapidamente que as mudas de espécies de crescimento lento.

As variáveis de massa seca de plantas, assim como as biométricas (altura e diâmetro do colo), não sofreram efeito da interação dos fatores nível de P e espécie. Independente do nível de P, no entanto, a massa seca da parte aérea (MSPA), de folhas (MSF) e de galhos (MSG) diferiram entre espécies (Tabela 7).

Tabela 7 - Massa seca da parte aérea (MSPA), de folhas (MSF) e de galhos (MSG) de espécies de mirtáceas após 20 meses de cultivo em campo

Espécie	MSPA	MSF	MSG
	----- g planta ⁻¹ -----		
Cerejeira	59,74 b	29,4 b	30,3 b
Guabijuzeiro	92,42 ab	53,2 ab	39,2 ab
Guabirobeira	182,44 ab	82,9 ab	99,5 a
Pitangueira	100,63 ab	38,9 ab	62,5 ab
Sete-capotes	65,29 ab	34,2 b	31,1 b
Uvalheira	194,29 a	103,6 a	30,3 b
Média	115,80	56,89	58,89
C.V. (%)	19,0	22,0	22,1

Resultados transformados (logaritmo natural). C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

A uvalheira, com os maiores valores de MSPA e MSF, diferiu apenas de cerejeira em relação à MSPA, e de cerejeira e sete-capotes considerando a MSF. A espécie com maior massa seca de galhos (MSG) foi guabirobeira, sendo semelhante à pitangueira e guabijuzeiro.

A ausência de resposta ao P do solo, e a não relação entre taxas de crescimento das espécies e os grupos sucessionais a que pertencem, mostra que outros fatores, possivelmente relacionados às características genéticas (variabilidade) intrínsecas de cada espécie, influenciaram o crescimento das plantas.

As diferenças entre espécies, independente dos níveis aplicados de P ao solo, refletem as características próprias, principalmente em relação à arquitetura de plantas. Algumas tem maior biomassa da parte aérea, com elevada quantidade de folhas e galhos, como guabirobeira, e outras, embora a baixa biomassa de galhos, tem alta quantidade de folhas, como a uvalheira.

3.2 Teores e quantidades acumuladas de nutrientes

3.2.1 Macronutrientes

Os teores de macronutrientes foliares não foram influenciados pela interação entre os fatores espécie vegetal e nível de P, diferindo, no entanto, entre as espécies avaliadas, com exceção de K (Tabela 8). Pitangueira e sete-capotes tiveram os maiores teores de P; cerejeira, de Ca; guabirobeira, de S; e pitangueira, cerejeira, guabirobeira e uvalheira, de Mg. Como a concentração dos macronutrientes foliares diferiu pouco entre as espécies, o valor da soma

dos teores dos macronutrientes analisados também variou pouco entre as mirtáceas, sendo menor no guabijuzeiro e maior na cerejeira (Tabela 8).

Tabela 8 - Teores de macronutrientes foliares em mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S	Soma
	-----g kg ⁻¹ -----						
Cerejeira	17,4 a	1,4 ab	8,4 ns	11,3 a	5,1 a	3,5 ab	47,1 a
Guabijuzeiro	10,9 b	1,1 b	12,2	6,3 bc	2,4 b	3,0 bc	36,0 b
Guabirobeira	17,1 a	1,3 ab	11,9	6,1 c	4,0 a	3,8 a	44,2 ab
Pitangueira	17,3 a	1,5 a	10,4	9,9 ab	3,9 a	3,3 bc	46,3 a
Sete-capotes	19,3 a	1,5 a	10,6	8,7 abc	2,7 b	2,8 c	45,6 a
Uvalheira	18,4 a	1,3 ab	8,3	8,4 abc	4,1 a	3,4 ab	43,9 ab
Média	16,8	1,3	10,3	8,5	3,7	3,3	43,9
C.V. (%)	11,5	14,2	37,7	26,2	19,6	9,7	10,3
Faixa de referência*	9,0-31,2	0,8-3,8	4,4-20,7	4,6-19,5	1,0-5,9	0,4-4,2	-
Plantas jovens**	16,8	2,1	14,2	13,7	4,1	2,8	-

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação. *Faixa de referência: valores mínimos e máximos obtidos para 17 espécies arbóreas da Mata Atlântica (GONÇALVES et al., 1992; VENTURIN et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; ZAMPIER, 2001; SORREANO, 2006; LIMA et al., 2008; SOUZA et al., 2009; ANDRADE, 2010; MATTEI et al., 2010; BASTOS et al., 2013). ** Médias das mesmas espécies de mirtáceas avaliadas aos oito meses de idade, antes de implantar o experimento.

Independente do nível de P do solo, os resultados desta tabela mostram que, em geral, os teores de macronutrientes foliares das espécies decresceram na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > S > P. Esta seqüência concorda, em geral, também com o relatado para a maioria das espécies vegetais, cuja concentração de macronutrientes da parte aérea decresce na seguinte ordem: N > K > Ca > P = Mg > S

(MALAVOLTA, 2006). Além disso, coincide com as faixas de valores encontrados para outras espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (Tabela 8), como *Peltophorum dubium* (canafístula) (GONÇALVES et al., 1992; VENTURIM et al., 1999), *Trema micrantha* (grandiúva) (VENTURIM et al., 2000) e *Cedrela fissilis* (cedro) (SOUZA et al., 2009).

O maior acúmulo de Ca, em relação ao de K, observado nas folhas da cerejeira pode estar relacionado com os altos teores de Ca ($6,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e de Mg ($2,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), em relação ao teor de K do solo. Isso pode ter favorecido a maior absorção de Ca do que K, devido a menor relação de atividade (RA) desse cátion na solução do solo. O valor médio da RA obtida no solo de todos os tratamentos foi de 0,16, sendo menor que o valor sugerido como adequado para culturas exigentes em K, como a soja, cujo valor de RA é maior que 0,2 (MASCARENHAS et al., 2004). Já a proporção Ca/K, do solo do experimento, que também poderia ter favorecido a absorção de Ca, em detrimento de K, foi de 14,5 (média dos tratamentos), sendo adequada para culturas exigentes em K, cujo valor situa-se entre 8 e 16 (MASCARENHAS et al., 2004).

Os teores de macronutrientes obtidos nas espécies de mirtáceas avaliadas após vinte meses em campo foram menores que os obtidos em plantas das mesmas espécies aos oito meses de idade, com exceção do N, que foi semelhante, e do S, que aumentou de 2,8 para $3,3 \text{ g kg}^{-1}$, na média das espécies (Tabela 8). Essa diminuição da

concentração de nutrientes em função do crescimento da planta se deve, possivelmente, ao “efeito de diluição”, descrito por Steenberg (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Esse efeito ocorre quando a quantidade absorvida de um nutriente é menor do que o aumento da massa seca onde este nutriente está incluído. Isso deve ter influenciado o decréscimo dos nutrientes nas folhas avaliadas, já que, aos 28 meses de idade, as plantas ainda estavam em fase juvenil de crescimento, acumulando muita matéria seca.

Os níveis de P do solo influenciaram os teores foliares somente deste nutriente, que aumentaram em função do acréscimo de P do solo. Na média das espécies, os teores deste nutriente variaram de 1,25 (nível Baixo) a 1,47 g kg⁻¹ (nível Muito Alto), sendo intermediária (1,40 g kg⁻¹) no solo com nível de P Alto. No entanto, o teor foliar das plantas deste último nível não diferiu dos obtidos nos níveis Baixo e Muito Alto de P. Já as quantidades acumuladas de P, ou dos demais nutrientes analisados, não variaram em função dos níveis deste nutriente no solo.

As quantidades de nutrientes acumuladas em folhas não variaram entre as espécies, com exceção de Mg foliar (Tabela 9). Em geral, as quantidades foliares acumuladas decresceram na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > S > P. Na soma dos macronutrientes analisados, os resultados variaram diretamente de acordo com a massa seca das folhas (MSF), com a maior quantidade acumulada de nutrientes em folhas de uvalheira e a menor em cerejeira e sete-capotes (Tabela 9).

Esse maior acúmulo de massa seca e de nutrientes indica que uvalheira requer maiores quantidades de fertilizantes, quando implantada na fase inicial de crescimento. Por outro lado, pode-se supor que as espécies cerejeira e sete-capotes, por acumularem menor quantidade de massa seca foliar, no período avaliado, requerem menor quantidade de fertilizantes.

Tabela 9 - Quantidades acumuladas de macronutrientes foliares e massa seca de folhas (MSF) de mirtáceas, após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados

Espécie	MSF	N	P	K	Ca	Mg	S	Soma
	g planta ⁻¹	mg planta ⁻¹						
Cerejeira	29,4 b	482,1 ns	41,4 ns	255,7 ns	325,1 ns	150,8 ab	103,2 ns	1,4 b
Guabijuzeiro	53,2 ab	592,2	64,7	666,2	324,5	126,2 ab	155,3	1,9 ab
Guabirobeira	82,9 ab	1404,8	108,5	921,3	499,0	329,5 a	318,8	3,6 ab
Pitangueira	38,9 ab	654,2	54,4	432,9	356,4	140,6 b	135,3	1,8 ab
Sete-capotes	34,2 b	661,2	52,3	348,4	310,2	102,8 b	98,3	1,6 b
Uvalheira	103,6 a	1913,6	127	991,8	797,1	404,9 ab	347,9	4,6 a
C.V. (%)	22,0	12,1	19,2	16,7	12,5	15,6	16,5	10,5

Resultados transformados (logaritmo natural do valor observado). C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

3.2.2 Micronutrientes

Os teores de micronutrientes também não sofreram efeito da interação entre os fatores espécies e nível de P, diferindo, no entanto, entre as espécies avaliadas (Tabela 10). As maiores diferenças entre as espécies foram observados com os teores foliares de Mn, com maior concentração na uvalheira e menor na cerejeira, guabijuzeiro e

pitangueira; e com os teores de Cu, com maior concentração em sete-capotes e menor em guabijuzeiro, embora essa última não tenha diferido da uvalheira e da cerejeira. Essas duas últimas espécies também tenderam a concentrar menores teores de Zn, enquanto que os teores de Fe pouco variaram entre as espécies, com maior concentração em sete-capotes. A soma dos teores de micronutrientes também variou pouco entre as mirtáceas, sendo menor em pitangueira e guabirobeira e maior em sete-capotes (Tabela 10).

Tabela 10 - Teores de micronutrientes foliares de espécies de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados

Espécie	Mn	B	Zn	Cu	Fe	Soma
	----- mg kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----	
Cerejeira	146,4 c	60,3 a	16,5 abc	11,0 bcd	7,3 ab	7,5 ab
Guabijuzeiro	138,1 c	48,5 bc	9,5 bc	7,1 d	8,2 ab	8,4 ab
Guabirobeira	484,0 b	54,4 ab	25,0 ab	16,6 b	5,6 b	6,2 b
Pitangueira	145,7 c	52,9 abc	30,3 a	14,7 bc	4,1 b	4,3 b
Sete-capotes	444,6 b	60,0 a	26,4 a	24,3 a	10,7 a	11,2 a
Uvalheira	712,0 a	45,1 c	9,1 c	10,1cd	6,3 b	7,1 ab
Média	345,1	53,5	19,5	14,0	7,0	7,5
C.V. (%)	24,7	9,5	45,2	26,9	35,8	34,0
Faixa de referência*	17,6-224,2	12,5-219,0	6,7-157,0	2,2-7,1	0,04-0,43	-
Plantas jovens**	170,3	219,3	49,8	39,0	1,1	-

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação. * Faixa de referência: valores mínimos e máximos obtidos para 11 espécies arbóreas da Mata Atlântica (VENTURIN et al., 1999; VENTURIN et al., 2000; BOEGER et al., 2005; SORREANO, 2006; LIMA et al., 2008; SOUZA et al., 2009; ANDRADE, 2010). ** Médias das mesmas espécies de mirtáceas avaliadas aos oito meses de idade, antes de implantar o experimento.

Os teores médios dos micronutrientes avaliados decresceram na seguinte ordem: Fe > Mn > B > Zn > Cu. Esta seqüência também é observada na parte aérea da maioria das plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2007, Tabela 2), assim como em outras espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (Tabela 2). As espécies *Euterpe edulis* (palmito) (LIMA et al., 2008) e *Psidium cattleianum* (araçá) (BOEGER et al., 2005), apresentaram, no entanto, teores de Mn maiores que de Fe. A análise do teor de nutrientes foliares em plantas de oito meses de idade de araçá, realizada no decorrer do trabalho de tese, demonstrou haver cerca de quatro vezes mais Fe à Mn.

O Fe tem baixa mobilidade no floema, sendo pouco redistribuído, concentrando, ao longo do ciclo da planta, principalmente, nas folhas (MARSCHNER, 2012). O metabolismo do Fe na planta e seu transporte, no entanto, pode ser afetado por fatores como o teor elevado de P, a falta de K, elevados teores de Mn e pouca intensidade luminosa (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Entre os fatores citados, pode ter ocorrido influência do teor de Mn do solo (80,2 mg kg⁻¹; Tabela 5), considerado “muito alto” quando acima de 5 mg kg⁻¹ (CQFS-RS/SC, 2004). Além deste, o teor médio de K do solo do experimento foi de 181,5 mg kg⁻¹, sendo classificado como “muito alto”, enquanto o teor de matéria orgânica foi de 36,1 g kg⁻¹ (Tabela 4), sendo considerado “médio” (CQFS-RS/SC,

2004). Estas condições favorecem a maior concentração foliar de Mn (MALAVOLTA, 2006), o que também pode ter ocorrido no trabalho.

Comparando os resultados obtidos com os teores de micronutrientes encontrados para outras espécies arbóreas da Mata Atlântica, constata-se que, na média, os teores de B e de Zn situaram-se dentro das faixas consideradas, enquanto que os teores de Mn, de Cu e de Fe foram maiores que os valores máximos (Tabela 10). O Fe, principalmente, está presente em teores altíssimos, superior, na média das espécies, em cerca de 16 vezes o valor máximo da faixa de referência, considerado, assim, potencialmente tóxico (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Valores de Fe acima dos considerados adequados em tecido vegetal para o desenvolvimento normal das plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2007) também foram obtidos em outras espécies arbóreas (Tabela 2), como *Ceiba speciosa*, *Cecropia pachystachya*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Lonchocarpus muehlbergianus* (SORREANO, 2006), *Euterpe edulis* (LIMA et al., 2008) e *Schinus terebinthifolius* (ANDRADE, 2010).

A comparação dos teores de micronutrientes foliares de plantas com 28 meses de idade com os obtidos em plantas das mesmas espécies, aos oito meses, mostra que os teores de Mn e de Fe foram maiores (2 e 7 vezes, respectivamente), enquanto que os teores de B, de Zn e de Cu diminuíram. Essa diminuição da concentração de nutrientes com o crescimento da planta se deve, assim como em N, K, Ca, P e Mg,

possivelmente ao “efeito de diluição” descrito por Steenberg (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

As quantidades acumuladas de micronutrientes, assim como os teores foliares, variaram apenas com as espécies, exceto o B (Tabela 11). A maior massa seca de folhas e acúmulo de Mn e Fe foi observada em folhas da uvalheira, enquanto que Zn e Cu tiveram maior quantidade em guabirobeira (Tabela 11). A uvalheira também apresentou a maior quantidade acumulada na soma dos micronutrientes analisados, já que esta variável está diretamente relacionada com a massa seca de folhas.

Tabela 11 - Quantidades acumuladas de micronutrientes foliares e massa seca de folhas (MSF) de mirtáceas após vinte meses de cultivo em campo. Média dos níveis de fósforo testados

Espécie	MSF	Mn	B	Zn	Cu	Fe	Soma
	g planta ⁻¹	---mg planta ⁻¹ ---		--- µg planta ⁻¹ ---		--- mg planta ⁻¹ ---	
Cerejeira	29,4 b	4,3 c	1,8 ns	440,8 b	343,6 b	228,5 ab	230,2 ab
Guabijuzeiro	53,2 ab	7,4 c	2,5	487,9 b	411,2 ab	460,0 ab	474,3 ab
Guabirobeira	82,9 ab	37,6 ab	4,4	1.949,5 a	1.307,0 a	371,4 ab	423,7 ab
Pitangueira	38,9 ab	6,0 c	2,1	1.069,9 ab	698,4 ab	142,8 b	156,2 b
Sete-capotes	34,2 b	14,2 bc	2,0	851,2 ab	868,9 ab	342,8 ab	382,5 ab
Uvalheira	103,6 a	73,8 a	4,8	964,8 ab	1.138,7 ab	728,5 a	807,1 a
C.V. (%)	22,0	44,5	35,0	34,6	39,3	42,6	42,0

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação. Resultados transformados (Raiz quadrada do valor observado).

A ausência de efeito da disponibilidade de P no crescimento de plantas de mirtáceas pode ter ocorrido em função das altas taxas de colonização micorrízica (Capítulo II) e, conseqüentemente, da

contribuição dos fungos na absorção deste nutriente, mascarando os efeitos da adubação mineral.

4 CONCLUSÕES

O crescimento de mirtáceas não varia em função da disponibilidade de P do solo e da folha e pouco difere entre as espécies.

Os teores e as quantidades acumuladas de nutrientes foliares variam entre as espécies de mirtáceas, mas não são influenciados pela disponibilidade de P, exceto o teor desse nutriente nas folhas.

CAPÍTULO II

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DO SOLO E MICORRIZAS ARBUSCULARES EM MIRTÁCEAS

RESUMO – Este estudo avaliou a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em função da interação entre níveis de fósforo (P) do solo e espécies de mirtáceas, bem como o efeito da colonização micorrízica sobre o crescimento de plantas e as estruturas micorrízicas predominantes nas espécies avaliadas. O experimento foi em campo, de setembro de 2010 a abril de 2012, utilizando mudas com oito meses de idade. O delineamento experimental foi completamente casualizado. O arranjo dos tratamentos foi bifatorial: 6 espécies (cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira, pitangueira, sete-capotes e uvalheira) x 3 níveis de fósforo (baixo, alto e muito alto), com três repetições. Houve efeito isolado de níveis de P e de espécies sobre o percentual de colonização micorrízica. A colonização foi maior com o aumento do teor de P disponível do solo, mas não influenciou o crescimento destas plantas. As estruturas micorrízicas predominantes em todas as espécies foram as hifas e as vesículas intraradiciais.

Palavras-chave: *Campomanesia*, espécies arbóreas, *Eugenia*, fungos DSE, vesículas.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAS IN NATIVE MYRTACEAE PLANTS UNDER PHOSPHORUS SOIL LEVELS

ABSTRACT – This study evaluated the effect of soil phosphorus (P) availability on native Myrtaceae of southern Brazil and the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), beyond the prevailing mycorrhizal structures. A field experiment was carried out in Mato Castelhana, Rio Grande do Sul state, Brasil, from september 2010 to april 2012, by using plants with eight months of age. A completely randomized design with tree repetitions was used in a 6 x 3 factorial arrangement, involving six species and tree levels of soil P availability. In the end of experiment, the roots were collected to evaluation of mycorrhizal levels and prevailing mycorrhizal structures. There were isolated effect of P levels and species on the level of mycorrhizal colonization. The presence of AMF was greater on the highest level of soil P and in the *Eugenia uniflora*, *E. pyriformis* and *Campomanesia guazumifolia*. The prevailing mycorrhizal structures were hyphae and intraradical vesicles.

Key-word: *Eugenia*, vesicles, tropical tree species, *dark septate endophytes*.

1 INTRODUÇÃO

Em projetos de restauração florestal, o sucesso da revegetação depende em grande parte da capacidade das plantas em obter os recursos necessários ao seu desenvolvimento, água e nutrientes, além de resistir às pragas, doenças e aos estresses climáticos impostos pelo ambiente (PERRY et al., 1987). Nestas situações, as associações micorrízicas exercem papel fundamental na sobrevivência e no desenvolvimento das plantas, onde os solos, em geral, apresentam baixa fertilidade (ZANGARO et al., 2002; CARNEIRO et al., 2004). Estas associações incrementam a aquisição de nutrientes pelas plantas, principalmente o fósforo (P) (BRUNDRETT, 2002), que é o nutriente mais limitante para produção agrícola em regiões tropicais (SOUZA et al., 2010).

O aumento da absorção de P das plantas micorrizadas tem como principal mecanismo o processo físico de exploração de maior volume de solo em relação às raízes, devido ao grande aumento da área superficial dado pelas hifas e micélios dos fungos. Com isso, os FMA propiciam maior capacidade de competição em solos pouco férteis, aumentando as chances de sobrevivência e crescimento das plântulas no campo (POUYU-ROJAS & SIQUEIRA, 2000).

Além da grande importância para o sucesso da revegetação, o conhecimento sobre a capacidade das espécies vegetais em formar associações com fungos do solo também é importante para a produção

de mudas de arbóreas nativas (CARNEIRO et al., 1998). O crescimento e o desenvolvimento de fungos micorrízicos, no entanto, depende de diversos fatores que envolvem a planta, o fungo e o solo. Entre outros, a disponibilidade de P do solo, o pH, o teor de Al, as espécies de FMA presentes e as espécies ou cultivares de plantas tem sido estudados (CARDOSO & KUYPER, 2006).

O desenvolvimento da associação micorrízica é um processo complexo, cujos mecanismos de regulação são ainda poucos conhecidos (KIRIACHEK et al., 2009). No entanto, é sabido que a concentração de P nas raízes das plantas tem grande efeito no desenvolvimento da simbiose, havendo, em geral, inibição da colonização sob altos níveis de P (SMITH & READ, 1997), em função deste nutriente influenciar principalmente o balanço de açúcares das raízes, de fitormônios e a expressão de genes de defesa vegetal. Além dos teores da planta, as concentrações de P do solo exercem papel fundamental na formação da associação micorrízica, controlando principalmente a taxa de crescimento fúngico (KOIDE, 1991; JOHNSON et al., 1997).

A família Myrtaceae está entre as mais importantes da Mata Atlântica, sendo geralmente a que apresenta maior número de espécies em levantamentos florísticos deste bioma (OLIVEIRA-FILHO & FONTES, 2000). No entanto, há poucos estudos publicados sobre a associação de espécies de mirtáceas com FMA, seja nativas da região Sul do Brasil (ZANGARO et al., 2002; SILVA et al., 2009; LOPES, 2009; ANDRADE et al., 2000 – Tabela 3), seja nativas do Sudeste

brasileiro (*Eugenia tomentosa*, *Syzygium jambolanum* e *Callistemon lanceolatus* - CARNEIRO et al., 1998) ou de outras regiões do mundo (GEHRING & CONNELL, 2006; PINDI, 2011). Não há estudos publicados para as espécies *Campomanesia guazumifolia* (sete-capotes), *Myrcianthes pungens* (guabijuzeiro) e *Eugenia pyriformis* (uvalheira).

Em estudo realizado por Zangaro et al. (2002), houve incidência muito alta (> 80%) de colonização micorrízica para as espécies *Eugenia uniflora* (cerejeira) e *Campomanesia xanthocarpa* (guabirobeira), média (40 - 59%) para *Psidium guajava* (araçá) e muito baixa (1 - 19%) para *Plinia rivularis* (guaburiti). Elevada ocorrência de FMA também foi encontrada por Gehring & Connell (2006) para quatro espécies de Myrtaceae nativas da Austrália (*Acmena ingens*, *Syzygium cormiflorum*, *S. endophloium* e *S. wilsoni*). A respeito das estruturas micorrízicas predominantes em mirtáceas, os trabalhos publicados para espécies nativas da região Sul do Brasil evidenciam haver maior presença de hifas e vesículas, tanto em plantas juvenis, quanto em adultas (Tabela 3).

Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em função da interação entre níveis de fósforo do solo e espécies de mirtáceas; 2) avaliar o efeito da colonização micorrízica sobre o crescimento de plantas; 3) identificar as estruturas micorrízicas predominantes nas espécies avaliadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do experimento

O experimento foi executado em condições de campo, em Mato Castelhana, região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul (28°13'0.41"S e 52°15'39.87"O), de setembro de 2010 a abril de 2012. O solo do local corresponde a um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006), na altitude de 667 m e o clima da região é do fundamental úmido (f) e variedade subtropical (Cfa) (KUICHTNER & BURIAL, 2001). A área experimental foi, até 2007, cultivada com culturas de grãos (soja e milho) e de cobertura (aveia), sendo adubada com fertilizantes minerais (formulação NPK) na camada superficial (0 a 10 cm), ao longo dos anos de cultivo, na linha de plantio das culturas. Entre 2007 e 2010 (ano de implantação do experimento), a área ficou em pousio, predominando vegetação herbácea e arbustiva.

As plantas foram adquiridas em um viveiro, no município de Ernestina/RS, em fase inicial de crescimento (oito meses após a germinação) e cerca de 40 cm de altura. As mudas foram produzidas em sacos plásticos (1 dm³), contendo solo mineral, adubado com fertilizante formulado (NPK 10-10-10) e esterco sólido de frango e de suíno. As mudas foram transplantadas para covas com dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,20 m, com espaçamento de 2,0 x 2,0 m entre plantas.

Os atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento (Tabela 12) e do substrato utilizado na produção das mudas (Tabela 13) foram analisados conforme Tedesco et al. (1995). A análise física do solo, antes do experimento, realizada pelo método do Densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997), indicou teores de 600 g kg⁻¹ de argila, 130 g kg⁻¹ de silte e 270 g kg⁻¹ de areia (Classe 2, de acordo com CQFS-RS/SC, 2004).

A calagem foi realizada em todos os tratamentos e a dose aplicada (38,4 g planta⁻¹) foi a necessária para corrigir o valor de pH em água para 5,5. A camada de solo corrigida foi de 0 a 20 cm, sendo aplicado calcário calcítico (PRNT de 95,4 %), misturado ao solo quando da abertura da cova para o plantio da muda.

O teor médio de P da camada de 20 cm foi de 3,6 mg dm⁻³, sendo considerado baixo (CQFS-RS/SC, 2004). Em todas as unidades experimentais foram aplicados fertilizantes minerais contendo nitrogênio (10,1 g N planta⁻¹) e potássio (10,1 g K₂O planta⁻¹), quando do transplante.

Tabela 12 - Atributos químicos do solo antes e depois da condução do experimento em campo

Solo	M.O. g dm ⁻³	pH H ₂ O	Ind. SMP	P -----mg kg ⁻¹ -----	K -----mg kg ⁻¹ -----	S -----mg kg ⁻¹ -----	Ca -----cmol _c kg ⁻¹ -----	Mg -----cmol _c kg ⁻¹ -----	CTC -----cmol _c kg ⁻¹ -----	B -----mg kg ⁻¹ -----	Mn -----mg kg ⁻¹ -----	Zn -----mg kg ⁻¹ -----	Cu -----mg kg ⁻¹ -----
Antes do experim.	32,0	4,7	4,8	3,6	113,0	17,8	4,1	3,1	25,9	0,3	34,6	1,8	14,6
Depois do experim.	36,1	5,1	5,2	-	181,5	17,1	6,5	2,4	20,7	0,6	80,2	6,9	16,2

M.O.: matéria orgânica; P (fósforo) e K (potássio) extraíveis; S (enxofre) disponíveis; Ca (cálcio) e Mg (magnésio) trocáveis; CTC: Capacidade de troca de Cátions à pH 7,0; B (boro); Mn (manganês) trocável; Zn (zinco) e Cu (cobre) disponíveis.

Tabela 13 - Atributos químicos do substrato utilizado na produção das mudas

	M.O. g dm ⁻³	pH H ₂ O	Ind. SMP	P -----mg kg ⁻¹ -----	K -----mg kg ⁻¹ -----	S -----mg kg ⁻¹ -----	Ca -----cmol _c kg ⁻¹ -----	Mg -----cmol _c kg ⁻¹ -----	CTC -----cmol _c kg ⁻¹ -----	B -----mg kg ⁻¹ -----	Mn -----mg kg ⁻¹ -----	Zn -----mg kg ⁻¹ -----	Cu -----mg kg ⁻¹ -----
Substrato	25,2	6,3	6,8	506,8	216,2	14,8	4,8	2,3	7,7	0,5	10,3	42,5	6,7

As espécies avaliadas foram: *Eugenia uniflora* L. (pitangueira) e *E. pyriformis* Cambess. (uvalheira), classificadas como iniciais (pioneiras e secundárias iniciais) no processo de sucessão ecológica, de acordo com Glufke (1999) e Grings & Brack (2009); e *E. involucrata* DC. (cerejeira), *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg, (guabirobeira), *C. guazumifolia* (Cambess.) O.Berg (sete-capotes) e *Myrcianthes pungens* (O.Berg) D.Legrand (guabijuzeiro), classificadas como tardias (secundárias tardias e climácicas) (GLUFKE, 1999; GRINGS & BRACK, 2009). Embora pertencentes a diferentes grupos sucessionais, o plantio das espécies foi realizado na mesma data, conforme preconiza o modelo sucessional, em que, no decorrer do crescimento das plantas, as espécies iniciais forneçam sombra e condições amenas às espécies de estágios mais avançados (KAGEYAMA & GANDARA, 2001).

Os níveis testados de P do solo foram: baixo (3,1-6,0 mg kg⁻¹), alto (9,1-18,0 mg kg⁻¹) e muito alto (18,0-46,6 mg kg⁻¹) (CQFS-RS/SC, 2004). Estes níveis foram obtidos com aplicação de P₂O₅ (0, 100 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente) na forma de superfosfato triplo, incorporando-o no solo, junto ao calcário e outros fertilizantes (uréia e KCl), além do substrato, no momento do plantio das mudas.

O delineamento experimental foi completamente casualizado. O arranjo dos tratamentos foi bifatorial 6x3 (espécies x níveis de fósforo), com três repetições, sendo que cada planta constituiu uma unidade experimental.

2.2 Avaliação da colonização micorrízica em raízes

2.2.1 Coleta e coloração

A parte aérea das plantas foi colhida em abril de 2012, cortando as plantas na altura do colo. Em função de outras atividades do curso de doutorado no período, as coletas das raízes foram realizadas em setembro de 2012. Em cada unidade amostral coletou-se todo o sistema radicial, incluindo o solo rizosférico. O material foi acondicionado em sacos plásticos e em caixas de isopor com gelo, para preservar as amostras, durante o transporte ao laboratório.

No laboratório, as raízes finas (de segunda e terceira ordem e pêlos radiciais), que foram analisadas, foram separadas das raízes grossas e do solo, sendo então lavadas em água corrente, em peneira com abertura de malha de 50 μm , cortadas em pedaços de cerca de 1 cm e armazenadas em álcool 50%. Para a caracterização da colonização micorrízica, através da visualização das estruturas micorrízicas, aplicou-se a técnica de coloração das raízes conforme Brundrett et al. (1996). Para tal, uma amostra de 0,1g de raízes foi imersa em solução de KOH

10%, por 10 min em autoclave. Em seguida, lavou-se com água e, posteriormente, em HCl 1%. Na seqüência as amostras foram imersas em solução de Azul de Trypan 0,05% em lactoglicerol, e novamente autoclavadas por 10min. Posteriormente, utilizou-se a técnica de segmento radicial em lâmina conforme Brundrett et al. (1996), para estimativa da colonização micorrízica arbuscular em microscópio.

2.2.2 Estimativa da colonização

A colonização da associação micorrízica foi avaliada de duas maneiras: 1) considerando unicamente a presença e ausência de estruturas micorrízicas (hifas e vesículas intraradiciais, arbúsculos, células auxiliares e microesclerócios) nos segmentos radiciais, obtendo-se, assim, o “percentual de colonização”; e 2) considerando a intensidade, através da quantificação de estruturas micorrízicas presentes em cada segmento radicial. Para esta avaliação, foram atribuídos índices para a ocorrência destas estruturas, sem distinguir o tipo, pois as estruturas foram avaliadas em conjunto. Para tanto, atribuíram-se os seguintes “índices de colonização”: 1 (para segmentos com até cerca de 20% da superfície ocupada por estruturas); 2 (21 a 40%); 3 (41 a 60%); 4 (61 a 80%) e 5 (mais de 80% do segmento com estruturas). Esta avaliação é semelhante ao uso de notas, em quantificação das estruturas micorrízicas efetuada em outros estudos (NEMEC, 1992; SILVEIRA et

al., 2002; SOUZA et al., 2002). Estas variáveis foram calculadas utilizando as equações abaixo:

1) Percentual de colonização (%):

$$PC = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de raízes colonizadas}}{\text{n}^\circ \text{ total de raízes}} \times 100$$

2) Índice de colonização:

$$IC = \frac{\sum \text{índices atribuídos}}{\text{índice máximo}}$$

Em que:

- \sum índices atribuídos: somatório das notas atribuídas (1 a 5) aos segmentos radiciais avaliados;
- índice máximo: nota máxima (5) x número de segmentos avaliados em cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre médias comparadas com o teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Com as variáveis de percentual e dos índices de colonização micorrízica realizou-se também análise de Correlação de Pearson entre estas e as variáveis de crescimento (taxas calculadas a partir da altura e diâmetro do colo), massa seca e teor de P foliar das plantas.

Os percentuais de colonização foram classificados nas seguintes categorias: muito alta (>80%); alta (59-79%); média (40-

58%); baixa (20-39%); muito baixa (1-19%) e ausente, adaptado de Zangaro et al. (2002).

Foram obtidas imagens das estruturas micorrízicas, visualizadas em microscópico com aumentos de 10 ou 40 vezes. Estas foram selecionadas pela qualidade visual, sendo identificada a espécie a que determinada estrutura pertence. Com base nestas imagens e a comparação às imagens disponíveis no site do INVAM (2013), procurou-se identificar os possíveis gêneros, famílias e ordens dos fungos micorrízicos presentes, de acordo com a classificação taxonômica de Redecker et al. (2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito de níveis de fósforo e de espécies

A interação entre os fatores espécie e nível de P não influenciou as variáveis analisadas (percentual e índice de colonização), mas ambas as variáveis diferiram entre níveis de P (Figura 1) e entre espécies (Figura 2).

Para ambas as variáveis analisadas, houve maior colonização no nível mais alto de P extraível do solo (Figura 1). Tanto no nível alto (18,0-46,6 mg kg⁻¹), quanto no nível baixo (3,0-6,0 mg kg⁻¹) de P, o percentual de FMA nos segmentos radiciais foi classificado como alto, e médio no nível intermediário (9,0-18,0 mg kg⁻¹).

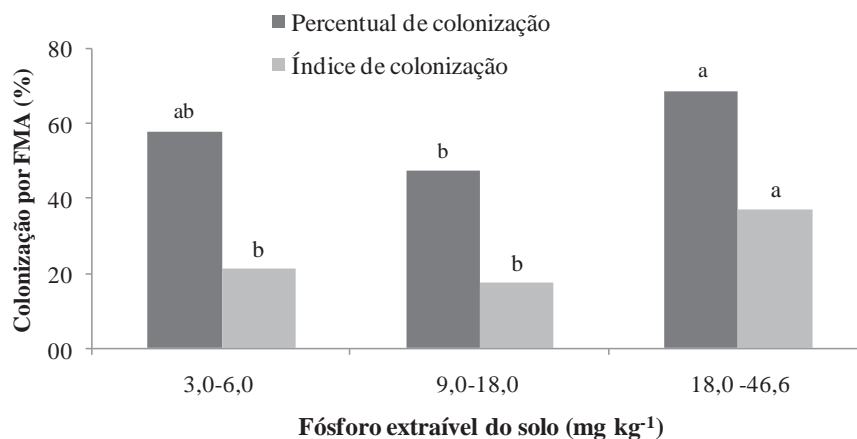


Figura 1- Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em níveis de fósforo extraível do solo (média de espécies de mirtáceas). Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). C.V. do percentual de colonização: 24,6 %; C.V. do índice de colonização: 40,5 %.

Os teores de P do solo constituem um dos mais importantes mediadores do desenvolvimento de associações de plantas e micorrizas (JOHNSON et al., 1997; KOIDE, 1991). Ao contrário do verificado neste trabalho, a inibição do desenvolvimento de FMA em níveis elevados de P do solo é frequentemente relatado na literatura (KOIDE, 1991; OEHL et al., 2003; SMITH et al, 2009; CARDOSO et al., 2010; SMITH et al, 2011). Isto, no entanto, depende dos níveis considerados. Em trabalho realizado por Nogueira & Cardoso (2006), adições moderadas, de 25 e de 200 mg kg⁻¹ de P solúvel, favoreceram a colonização por *Glomus intraradices* em limão-cravo (*Citrus limonia*), aos 90 dias após o transplante das mudas, enquanto que na dose de 1000

mg kg⁻¹ de P o percentual de infecção foi incipiente, chegando a zero, aos 150 dias após o transplante.

Em estudo realizado por Lopes (2009), com as espécies *Eugenia involucrata*, *E. uniflora* e *E. brasiliensis*, amostradas em diferentes locais da Depressão Central do RS, de forma semelhante aos resultados obtidos, as três espécies apresentaram, em diferentes épocas e locais de amostragem, elevado percentual de colonização (>95%), mesmo em teores altos de P (>100 mg kg⁻¹).

De acordo com Kiriachek et al. (2009), altas concentrações de P na planta inibem a colonização de raízes, enquanto que em baixas concentrações a colonização por FMA seria favorecida. O teor médio de P foliar no nível mais alto de P do solo (18,0 - 46,6 mg kg⁻¹), pode ser considerado baixo (1,47 g kg⁻¹) e está dentro da faixa obtida para outras espécies arbóreas nativas (entre 0,8 e 3,8 g kg⁻¹, Tabela 8). Assim, embora os níveis altos de P do solo, a alta colonização por FMA pode ter ocorrido porque as concentrações de P na planta não eram elevadas, sendo este fator talvez o principal mediador da formação da associação.

Em estudo realizado por Menge et al. (1978), com sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.), em vasos, sem e com as raízes fertilizadas com P (750 ppm), inoculadas com *Glomus fasciculatus*, foi verificado ser o teor de P da planta o responsável pela alteração e infecção micorrízica.

Um aspecto importante a considerar, e que pode ter influenciado a alta colonização de FMA das plantas nos tratamentos com maiores teores de P, é o histórico de uso do solo do experimento. A

vegetação original do local era campo nativo, a qual é típica do Planalto do Rio Grande do Sul. Essa vegetação é combinada com manchas contínuas e extensas de floresta entremeadas às áreas de campo, constituindo a Floresta Ombrófila Mista, ou Mata de Araucária (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982). O solo do experimento teve somente pastagem nativa, até 2003, quando iniciou o cultivo de culturas anuais, no verão, ficando em pousio no inverno. A partir de 2007, a área não foi cultivada, sendo colonizada naturalmente por espécies, inicialmente herbáceas (plantas daninhas), e posteriormente por espécies arbustivas. Essa vegetação permaneceu na área do experimento até 2010, quando foi implantado o experimento com as mirtáceas. Dessa maneira, o manejo do solo dado pelos diversos usos, pode ter selecionado espécies de fungos adaptados a estas condições, de maior fertilidade. Além disso, possivelmente esporos estavam presentes com as sementes e/ou com o substrato em que as mudas foram produzidas no viveiro.

Além do nível de P, aspectos relacionados ao método de preparo do solo, a mecanização intensiva, as fontes e níveis de corretivos e fertilizantes, ao uso de agroquímicos, a utilização de variedades melhoradas, etc. podem interferir na ocorrência de FMA, reduzindo a população de FMA (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Em relação à correção da acidez do solo, a calagem pode ser benéfica à colonização micorrízica e ao comprimento de micélio extrarradical, sendo este efeito mais significativo no sistema de plantio direto do que no convencional (SCHNEIDER et al., 2011). Com base nos resultados destes autores,

pode-se extrapolar que a calagem efetuada durante a implantação das mudas de mirtáceas, possivelmente, não restringiu o crescimento das micorrizas, ou que o efeito de mobilização do solo, quando este foi misturado com os fertilizantes, incluindo o fosfático e o calcário, possa ter tido mais influência no crescimento destes fungos do que a adição destes produtos.

A colonização micorrízica não teve correlação com as taxas de crescimento (TCAA e TCADC), a massa seca da parte aérea (MSPA) e de folhas (MSF) e o teor de P foliar das plantas (Tabela 14). O crescimento das plantas nem sempre é influenciado pelas micorrizas, como constatado por Van Der Heijden & Horton (2009), ao avaliar 60 situações relatadas na literatura. Estes autores concluíram que, em 27% dos casos, não houve efeito no crescimento de plantas associadas com micorrizas em ecossistemas naturais. A eficiência da simbiose, ou a capacidade do fungo em promover o crescimento da planta hospedeira, é controlada pela eficiência do fungo, pela dependência da planta e pelas condições do ambiente (BRUNDRETT, 1991; KOIDE, 1991).

Em levantamento (meta-análise) realizado por Treseder (2013), com estudos que avaliaram o percentual do comprimento de raízes colonizado por FMA, e os possíveis benefícios no crescimento e no teor de P das plantas, foi constatado que os maiores valores deste último foram proporcionais ao aumento do percentual de colonização micorrízica em raízes de plantas herbáceas e arbóreas.

Tabela 14 - Correlação de Pearson entre percentual (PCM) e índice de colonização (IC) micorrízica e variáveis de crescimento e massa seca de espécies de mirtáceas

Variável	r	P
PCM x TCAA	-0,024	0,879 ns
PCM x TCADC	-0,257	0,109 ns
PCM x MSPA	-0,008	0,956 ns
PCM x MSF	-0,048	0,766 ns
PCM x teor de P	0,183	0,257 ns
IC x TCAA	-0,004	0,975 ns
IC x TCADC	-0,234	0,146 ns
IC x MSPA	-0,034	0,832 ns
IC x MSF	-0,093	0,566 ns
IC x teor de P	0,196	0,224 ns

TCAA: taxa de crescimento absoluto da altura; TCADC: taxa de crescimento absoluto do diâmetro do colo; MSPA: massa seca da parte aérea; MSF: massa seca de folhas; teor de P em folhas. r: coeficiente de correlação de Pearson; P: nível de significância.

Em alguns casos, solos com níveis altos de P e micorrizados, podem ter efeito negativo no crescimento de plantas, o que leva a simbiose a passar de mutualística a parasítica (CARDOSO et al., 2010). No entanto, isto depende dos níveis de P do solo, e possivelmente a ausência de efeito sobre o crescimento de plantas de mirtáceas seja em função dos níveis testados de P, de 3,0 a 46,6 mg kg⁻¹, considerados baixos, em relação a outros trabalhos. Antunes & Cardoso (1991), ao avaliar o efeito da inoculação de *Glomus etunicatum* sobre a massa seca de plantas de limão-cravo (*Citrus limonia*) observaram que

em níveis superiores a 135 mg kg^{-1} , houve diminuição do crescimento de plantas micorrizadas em comparação à plantas não micorrizadas.

Por sua vez, Sena et al. (2004) observaram redução no crescimento, na transpiração, na resistência estomática, na área foliar e na massa seca da parte aérea de plantas de citros (*Citrus reshni*) sob doses a partir de 240 mg kg^{-1} de P. Estas respostas demonstram que houve transição entre a simbiose mutualística e o parasitismo, havendo mais alto dreno de carboidratos, principalmente de sacarose, das raízes da planta sem haver um retorno em absorção de nutrientes por parte dos fungos.

Ao avaliar o efeito da inoculação de *Glomus etunicatum* na altura de espécies arbóreas, Flores-Aylas et al. (2003) relatam que no nível mais alto de P da solução ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$) não houve influência nas espécies fedegoso (*Senna macranthera*), mutamba (*Guazuma ulmifolia*), cássia-verrugosa (*Senna multijuga*) e gravitinga (*Solanium granuloso-leprosum*). Já na aroeira (*Schinus terebenthifolius*) e trema (*Trema micrantha*) houve efeito negativo da inoculação, o que evidencia a baixa dependência micorrízica destas espécies. Conforme Siqueira & Saggin Júnior (2001), quanto menor o nível de P disponível no solo, mais as micorrizas deixam de ser benéficas em relação ao crescimento das plantas, sendo menor a dependência micorrízica destas.

A ausência de resposta à inoculação com FMA em características vegetativas das plantas, sob doses de P mais elevadas, também é relatada para embaúba (*Cecropia pachystachya*), que em

condições de alto teores de P disponível, houve decréscimo na massa seca da parte aérea e na altura de plantas (SAGGIN JÚNIOR 1997, CARNEIRO et al., 2004).

Independente dos níveis de P, o percentual de colonização constatado nas raízes da pitangueira (74,6%) foi maior que o obtido nas raízes de cerejeira, guabijuzeiro e guabirobeira (Figura 2). O índice de colonização também foi maior em pitangueira, e menor em guabijuzeiro, guabirobeira e sete-capotes.

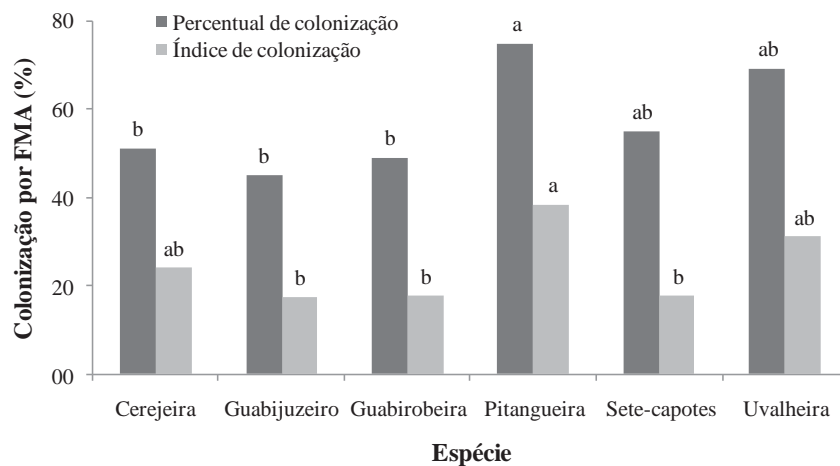


Figura 2 – Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em raízes de espécies de mirtáceas (média de níveis de fósforo). Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). C.V. do percentual de colonização: 24,6 %; C.V. do índice de colonização: 40,5%

O percentual de colonização de FMA variou com as categorias sucessionais das espécies testadas, considerando os critérios

de categorias estabelecidos por Glufke (1999) e Grings & Brack (2009). As espécies com maiores percentuais de colonização foram as secundárias iniciais pitangueira e uvalheira, além de sete-capotes, que é uma secundária tardia, como as demais espécies.

A variabilidade intra-específica da colonização por FMA entre as espécies arbóreas e os respectivos grupos ecológicos também foi constatada por Zangaro et al. (2002). Esses autores relatam que a colonização de micorrizas em raízes de espécies não mirtáceas, de arbóreas pioneiras e secundárias iniciais, foi de média a alta. As espécies foram coletadas em área com início de sucessão arbórea e no interior da floresta, sendo que as secundárias tardias (pitangueira, guabirobeira e goiabeira (*Psidium guajava*) e climácicas, como guamirim (*Plinia rivularis*) apresentaram de baixa a muito baixa colonização, semelhante ao obtido no trabalho (Figura 2).

As espécies de grupos sucessionais iniciais têm maiores taxas de crescimento e maior demanda por nutrientes que as espécies tardias. Essa característica estimula a associação com fungos micorrízicos (KOIDE, 1991), tendo, possivelmente, origens evolutivas que foram se moldando ao longo de milhares de anos (ZANGARO et al., 2002).

3.2 Estruturas micorrízicas

As estruturas de FMA predominantes nas raízes foram as vesículas intraradiciais e as hifas, presentes em todas as espécies de mirtáceas avaliadas, seguido de arbúsculos, células auxiliares e microesclerócios, com ocorrência em quatro das seis espécies avaliadas.

Em cerejeira, o percentual de colonização foi médio (50,1%), sendo que hifas (Figura 3a) e vesículas intraradiciais (Figuras 3b e 3c) foram as estruturas predominantes. As vesículas de paredes delgadas e forma elíptica são semelhantes às da família Glomeraceae (ordem Glomerales) (BAGYARAJ & STÜRMER, 2008). A presença de possíveis células auxiliares, lisas a nodosas (Figura 3d), no entanto, evidencia que também houve colonização por fungos da família Gigasporaceae (ordem Gigasporales), uma vez que Glomeraceae não forma este tipo de estrutura (INVAM, 2013). Estas estruturas, no entanto, podem também ser agrupamentos de esporos, o que não fica evidente na imagem. Não se observou arbúsculos em segmentos radiciais nas raízes da cerejeira.

Os tipos de estruturas micorrízicas constatadas na cerejeira divergem do relatado por Lopes (2009), que observou maior intensidade de arbúsculos e de hifas, em comparação às vesículas, em cerejeira adulta (*Eugenia involucrata*) (Tabela 3). Esse autor identificou 11 espécies de FMA nesta espécie, distribuídas entre os gêneros *Acaulospora*, *Glomus* e *Scutellospora*.

Espécies de plantas que desenvolvem simbiose com micorrizas podem ser colonizadas por diferentes taxa, podendo haver, no entanto, preferência por determinados fungos, o que resulta em diferentes percentuais de colonização por um ou outro tipo (SMITH et al., 2011). Isto pode ser visto tanto em ambientes naturais, em que a simbiose se formou ao longo de milhares de anos, ou em sistemas agrícolas, onde fungos específicos podem ter sido selecionados por determinada cultura em sua historia evolutiva.

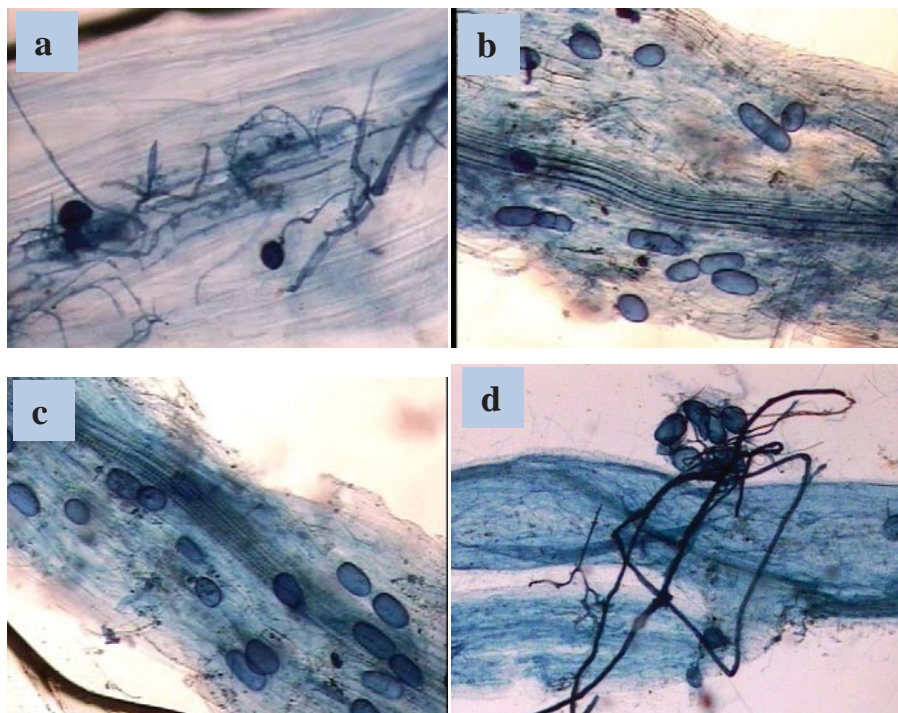


Figura 3 – Estruturas micorrízicas em raízes de cerejeira: (a) hifas; (b,c) vesículas intraradiciais; (d) células auxiliares.

Em guabijuzeiro, o percentual de colonização também foi médio (44,8%), sendo, no entanto, o mais baixo das seis espécies. Predominaram vesículas intraradiciais elípticas (Figuras 4a e 4b), como da família Glomeraceae e hifas intraradiciais (Figura 4c).

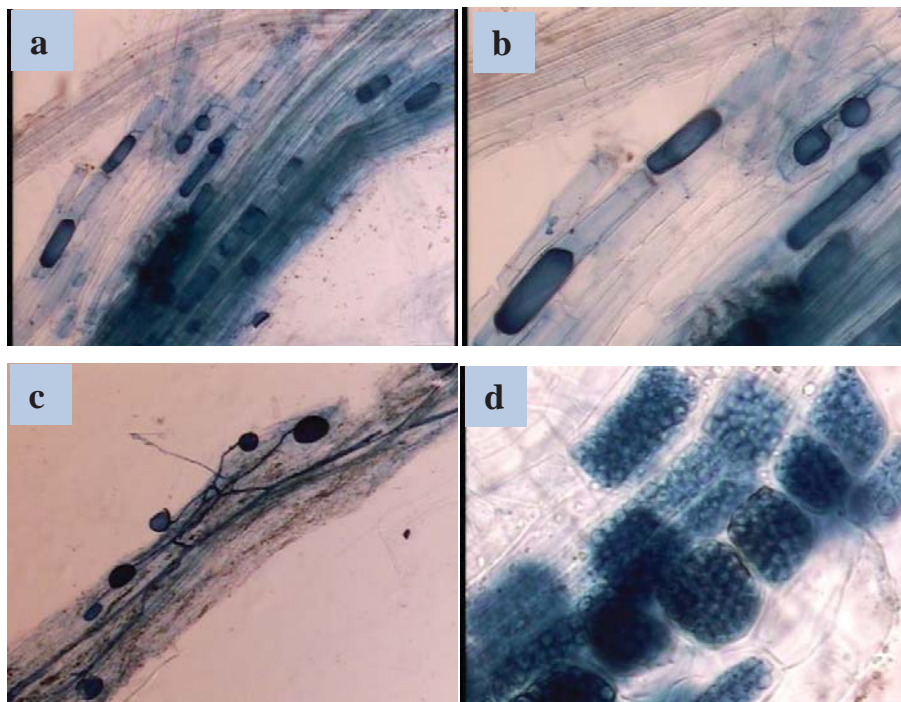


Figura 4 – Estruturas micorrízicas em raízes de guabijuzeiro: (a,b) vesículas intraradiciais; (c) hifas intraradiciais e vesículas; (d) microsclerócios.

Além das estruturas descritas, foram observados também microsclerócios (Figura 4d), que são grupos de estruturas esféricas escuras, de paredes espessas, localizados dentro das células corticais das

raízes, característicos dos fungos *dark septate endophytes* (DSE), pertencentes ao filo Ascomycota (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998). Como verificado na cerejeira, não foram observados arbúsculos. Em guabirobeira, assim como em cerejeira e guabizuzeiro, o percentual de colonização também foi médio (48,8%). Predominaram hifas e vesículas intraradiciais de forma globosa a elíptica, possivelmente da família Glomeraceae (INVAM, 2013) (Figuras 5a e 5b), e arbúsculos com tronco grosso e ramificação abrupta (Figuras 5c e 5d), típicos da família Gigasporaceae.

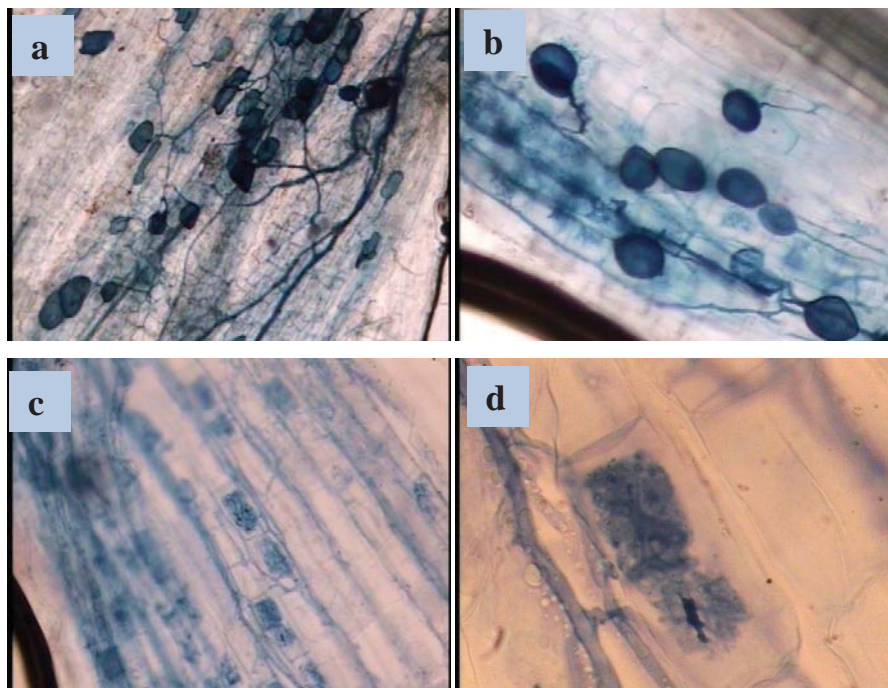


Figura 5 – Estruturas micorrízicas em raízes de guabirobeira: (a,b) hifas e vesículas intraradiciais; (c,d) arbúsculos.

Pitangueira foi a espécie que apresentou o maior percentual de colonização, alto, de 74,6% (Figura 2). Predominaram estruturas que também parecem características dos gêneros da família Gigasporaceae, como arbúsculos com tronco grosso e ramificação abrupta (Figura 6a). Também foram observadas vesículas intraradiciais de forma globosa a elíptica (Figura 6b), possivelmente pertencentes à família Glomeraceae (INVAM, 2013) e microesclerócios, pertencentes a fungos DSE (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998) (Figuras 6c e 6d).

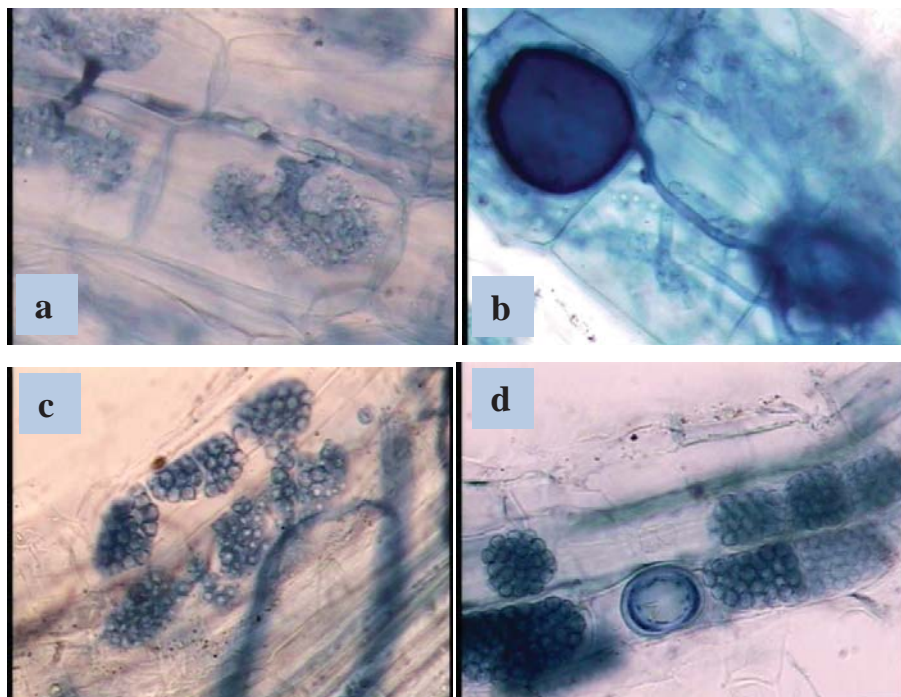
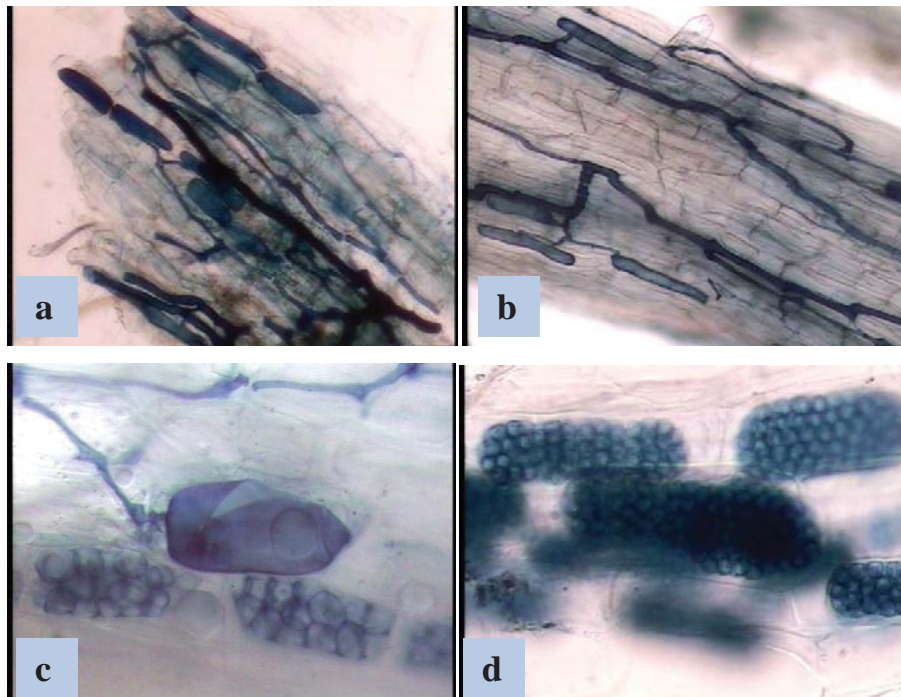


Figura 6 – Estruturas micorrízicas em raízes de pitangueira: (a) arbúsculos; (b) vesículas intraradiciais; (c,d) microesclerócios.

Em plantas de sete-capotes o percentual de colonização foi médio (54,9%), e ocorreram estruturas não observadas nas outras espécies avaliadas, como vesículas de formas mais irregulares (Figuras 7a, 7b, 7c e 7e), apresentando, por exemplo, protuberâncias ou reentrâncias em sua superfície (Figura 7c), típicas da família Acaulosporaceae (BAGYARAJ & STÜRMER, 2008; INVAM, 2013).



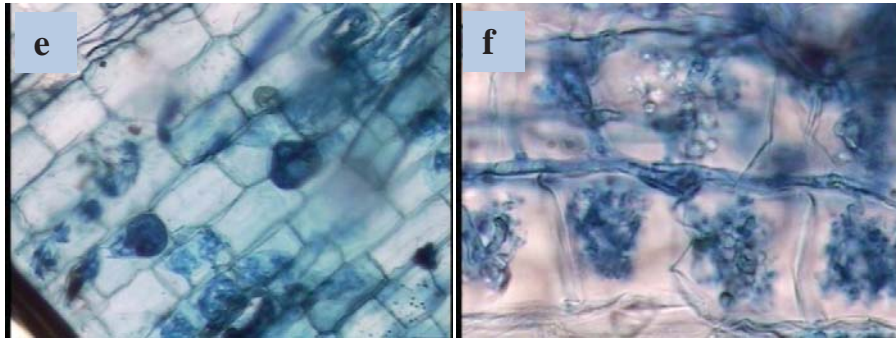


Figura 7 – Estruturas micorrízicas em raízes de sete-capotes: (a,b,c) hifas e vesículas intraradiciais; (c,d) microesclerócios; (e,f) arbúsculos.

Além das estruturas descritas, em sete-capotes constatou-se elevada incidência de microesclerócios (Figuras 7c e 7d). Por outro lado, os arbúsculos foram observados em poucos segmentos de raízes dessa espécie (Figuras 7e e 7f). Como a forma observada destas estruturas consistiu em troncos cilíndricos a levemente alargados e ramos que diminuem progressivamente em largura na direção das pontas, pode-se supor que seja pertencente à Acaulosporaceae, com arbúsculos semelhantes aos de Glomeraceae (INVAM, 2013).

Em uvalheira, o percentual de colonização também foi, assim como em pitangueira, considerado alto (68,9%). As estruturas micorrízicas predominantes foram os arbúsculos (Figuras 8a, 8b e 8c), que, semelhante aos de guabirobeira e pitangueira apresentam troncos grossos e ramificação abrupta, típicos de Gigasporaceae (PAGANO & SCOTTI, 2010). Embora presentes em poucos segmentos radiciais, observou-se também vesículas intraradiciais de forma elíptica (Figuras 8d e 8e), possivelmente pertencentes à Glomeraceae. Nesta espécie

também ocorreram microesclerócios (Figura 8f), pertencentes a fungos DSE (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998).

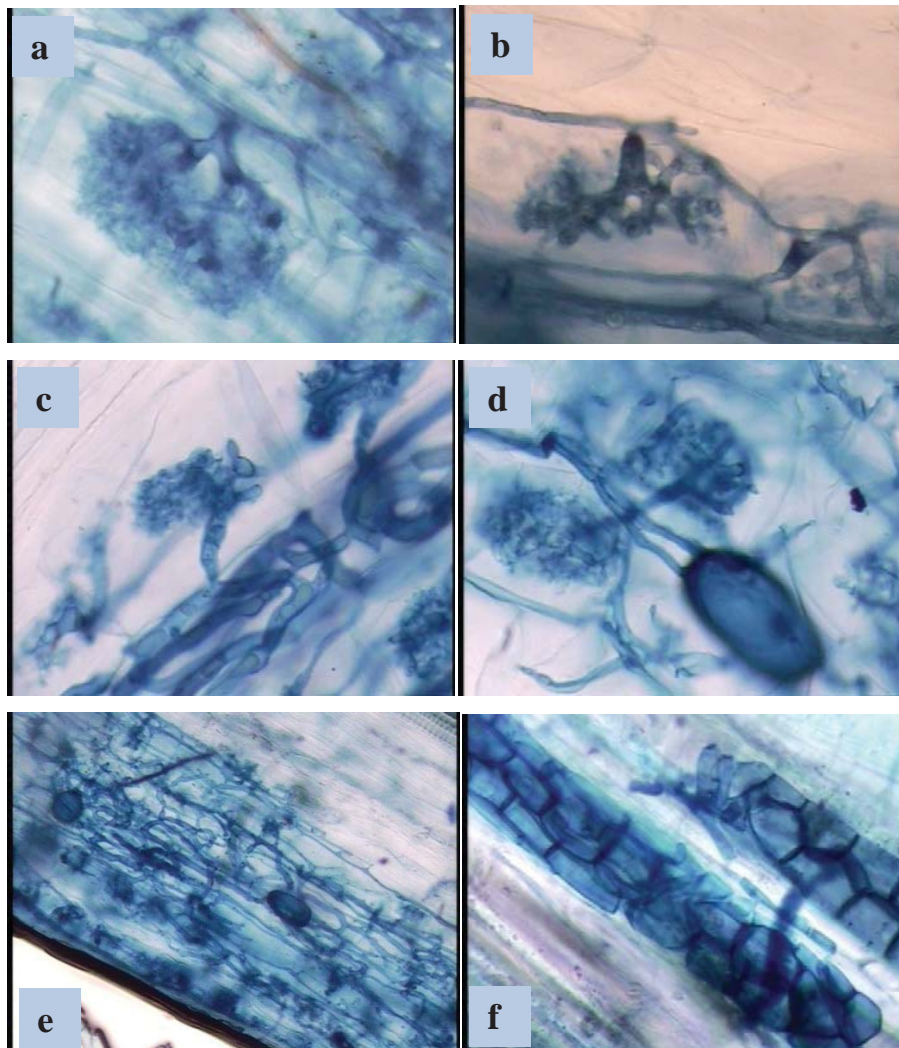


Figura 8 – Estruturas micorrízicas em raízes de uvalheira: (a,b,c) arbúsculos; (d,e) hifas e vesículas intraradiciais; (f) microesclerócios.

A presença de maior quantidade de determinadas estruturas micorrízicas nas espécies avaliadas, como vesículas intraradiciais, possivelmente esteja relacionado à época de coleta das raízes, ao final da estação de inverno. As vesículas, por serem ricas em lipídios e freqüentemente apresentarem diversas paredes, semelhantes aos esporos, atuam como órgãos temporários de reservas e também como propágulos, quando isoladas das raízes (BRUNDRETT, 1991; STÜRMER & SIQUEIRA, 2008).

Trabalhos de campo mostram que a densidade de colonização é influenciada pelas fases de crescimento das plantas hospedeiras, e que, em períodos em que as condições climáticas são menos favoráveis ou adversas, há maior produção de estruturas que garante sua sobrevivência, vesícula e/ou esporos (GARCIA & MENDOZA, 2008). Além disso, a colonização por micorrizas sofre variação em função do genótipo do hospedeiro, do local e da época de coleta das amostras (LOPES, 2009).

Os arbúsculos, por sua vez, são as estruturas características dos FMA, sendo formados por intensa ramificação de hifas intracelulares e responsáveis pela troca de metabólitos e nutrientes entre fungos e plantas (SIQUEIRA et al., 2002). São, porém, estruturas efêmeras, e podem estar ausentes se as amostras são coletadas quando as raízes estão inativas (BRUNDRETT, 1991). Possivelmente, isto explique a ausência destas estruturas nas amostras analisadas de cerejeira e de guabijuzeiro, já que a parte aérea das plantas foi colhida

cinco meses antes da coleta das raízes, embora quando esta foi realizada a maioria das plantas estava em brotação. Contudo, isto também foi efetuado com o corte da parte aérea das outras espécies, em que foram observados arbúsculos.

Estudos sobre a colonização de FMA em mirtáceas nativas da região Sul do Brasil mostram que hifas e vesículas foram as estruturas micorrízicas predominantes, tanto em plantas juvenis, quanto em adultas (Tabela 3). O percentual de colonização observado nestes estudos foi variável, não apenas entre espécies, mas entre estudos da mesma espécie, como em *E. involucrata* (cerejeira) e *E. uniflora* (pitangueira). Nestes trabalhos, o teor de P do solo dos locais em que foram amostradas as raízes das plantas avaliadas, não foi mencionado, exceto no trabalho de Lopes (2009). De acordo com esse autor, o teor de P foi 35 mg dm^{-3} , no solo com *Eugenia involucrata* e *E. uniflora*; e de $6,1 \text{ mg dm}^{-3}$, nas amostras de solo com *E. brasiliensis*.

Em trabalho sobre os padrões de colonização micorrízica em raízes de 29 espécies nativas de diferentes regiões da floresta de Araucária e da Mata Atlântica de Santa Catarina, Andrade et al. (2000) identificaram que hifas asseptadas intracelulares e vesículas foram as estruturas mais frequentes nas espécies estudadas (Tabela 3). Estes padrões predominaram também nas nove espécies de mirtáceas, além da presença de apressórios em *Acca sellowiana* (Berg) Burret e *Gomidesia spectabilis* (DC.) Berg e arbúsculos em uma das espécies de *Eugenia* sp.

Daniell et al. (2001) mostraram que a diversidade de fungos micorrízicos, em áreas agrícolas, é baixa quando comparada à de áreas florestais próximas, além de haver diferenças marcantes de clones, determinados por seqüenciamento genético, entre os locais. Os autores identificaram, ainda, a predominância de seqüências pertencentes ao gênero *Glomus*, sugerindo que estes são capazes de sobreviver sob as condições de solos manejados, o que pode não ocorrer com a maioria dos FMA. A presença deste gênero foi constatada em cinco das seis espécies avaliadas, não sendo identificado apenas em raízes de sete-capotes.

A diversidade de gêneros que colonizam contribuição dos FMA em aumentar a absorção de nutrientes varia de acordo com os diferentes taxa (SMITH & SMITH, 2011). Alguns gêneros, como *Scutellospora* e *Gigaspora* desenvolvem mais hifas extraradiciais por unidade de raiz colonizada, o que pode resultar em melhor absorção de nutrientes, ao contrário de *Acaulospora*, *Glomus*, *Funneliformis* e *Rhizophagus*, que apresentam geralmente menor biomassa de hifas (POWELL et al., 2009).

3.3 Fungos *dark septate endophytes*

A presença de fungos DSE em guabijuzeiro, pitangueira, sete-capotes e uvalheira têm sido descrita em diversos habitats, tendo um papel importante em ecossistemas naturais. Além disso, ocorrem numa ampla diversidade de hospedeiros, que incluem espécies que formam

micorrizas do tipo arbusculares, ericóides, orquidóides, ectomicorrizas e também espécies não micorrízicas (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998).

Embora não visualizadas nas imagens das espécies avaliadas, outras estruturas, além dos microesclerócios, são geralmente descritas na colonização por estes fungos, independente da planta hospedeira. Podem ser citadas hifas, “runner hyphae”, presentes entre células epidérmicas, “redes de hifas superficiais” externas às raízes, “apressórios”, que são estruturas expandidas que antecedem a penetração da hifa na parede celular através de finos “tubos de penetração” (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998).

4 CONCLUSÕES

A colonização de fungos micorrízicos arbusculares em espécies de mirtáceas independe do teor de P disponível do solo, sendo média a alta em todos os níveis testados.

Independente do nível de P do solo, a colonização de fungos é alta nas espécies pitangueira e uvalheira, e média nas espécies cerejeira, guabijuzeiro, guabirobeira e sete-capotes.

As estruturas de fungos micorrízicos arbusculares predominantes em todas as espécies de mirtáceas avaliadas são hifas e vesículas intraradiciais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis de fósforo do solo não proporcionaram aumento do crescimento das espécies de mirtáceas (Capítulo I). Possivelmente, isso se deve a variabilidade genética e fenotípica e as baixas demandas nutricionais das espécies avaliadas. Outro aspecto que ainda pode ter influenciado os resultados é a amplitude dos níveis de fósforo testados (3,1 a 46,6 mg kg⁻¹), que pode ter sido limitada, embora a ausência de efeito dos níveis de fósforo indique que as espécies não são responsivas, mas adaptadas a condições de baixos teores deste nutriente no solo. Por outro lado, a ausência de efeito da adubação fosfatada pode ter ocorrido em razão das altas taxas de colonização micorrízica (Capítulo II). Neste caso, a contribuição destes fungos na absorção de fósforo das plantas pode ter compensado o menor suprimento deste nutriente no solo.

Para futuros estudos sobre o crescimento de espécies nativas, sugere-se que a produção das mudas avaliadas seja previsto no projeto da pesquisa. Este aspecto é importante para o controle de diversos fatores que podem interferir no crescimento e no desenvolvimento das plantas, como a forma de propagação, a composição física, química e biológica do substrato utilizado, os manejos aplicados, etc. Por exemplo, a variabilidade genética, neste caso, poderá ser amenizada, com a utilização de mudas clonadas.

Para a melhor compreensão dos aspectos relacionados com a colonização micorrízica nas espécies de mirtáceas avaliadas, seria

importante que trabalhos de pesquisa contemplem a amostragem de solos rizosféricos, contendo esporos de fungos micorrízicos, para a identificação dos gêneros e das espécies destes organismos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, N. A. A.; MENDONÇA, V.; FERREIRA, B. G.; TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.; RAMOS, J. D. Crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) em substratos com utilização de superfosfato simples. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1117-1124, 2005.
- AFEK, U.; RINALDELLI, E.; MENGE J. A.; JOHNSON, E. L. V.; POND., E. Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. *J. American Society Horticulture Science*, v. 115, n. 1, p. 938-942, 1990.
- ANDRADE, A. C. S.; QUEIROZ, M. H.; HERMES, R. A. L.; OLIVEIRA, V. L. Mycorrhizal status of some plants of the Araucaria forest and the Atlantic rainforest in Santa Catarina, Brazil. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 10, p. 131–136, 2000.
- ANDRADE, M. L. F. de. *Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras*. Piracicaba, 2010. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo. 2010.
- ANDREAZZA, R.; ANTONIOLLI, Z. I.; DE OLIVEIRA, V. L.; LEAL, L. T.; MORO, C. A. J. R.; PIENIZ, S. Ocorrência de associação micorrízica em seis essências florestais nativas do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, p. 339-346, 2008.
- 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, p.11-19, 1991.
- ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. Adequação ambiental de propriedades rurais, recuperação de áreas degradadas, restauração de matas ciliares. Apostila de Recuperação. São Paulo: Universidade de São Paulo, ESALQ, Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal. 2006. 65 p.

BAGYARAJ, J. D.; STÜRMER, S. L. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs). In: MOREIRA; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. *Manual de Biologia dos Solos Tropicais - Amostragem e Caracterização da Biodiversidade*. p. 205-225. Lavras, MG: Editora UFLA, 2010.

BARBOSA, L. M. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp, 2001. p. 289-311.

BARROW, J. R.; AALTONEN, R. E. A method of evaluating internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Roots by dark septate fungi and how they are influenced by host physiological activity. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 11, p. 199-205, 2001.

BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; CHEROBIM, V. F.; GAIAD, S.; PAULETTI, V.; STURION, J. A. Concentração e hidrossolubilidade de macronutrientes em erva-mate (*Ilex paraguariensis*) coletada nas épocas de safra e safrinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2013.

BELTRÃO, N. E. D. M.; DE ALMEIDA, O. A.; PEREIRA, J. R.; FIDELES FILHO, J. O. S. E. Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 5, n. 1, p.283-289, 2001.

BEM, J. R.; DECHEN, A. R. Resposta diferencial de genótipos de trigo em relação a fósforo no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, p. 589-594, 1998.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. D. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 19, p.167-181, 2005.

BREUILLIN, F., SCHRAMM, J., HAJIREZAEI, M., AHKAMI, A., FAVRE, P., DRUEGE, U.; REINHARDT, D. Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. *The Plant Journal*, Michigan, v. 64, n.6, p. 1002-1017, 2010.

BREUNINGER, M.; EINING, W.; MAGEL, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil Pine (*Araucaria a angustifolia* Bert. O. Ktze.). *Plant Biology*, Illinois, v. 2, n.1, p. 4-10, 2000.

BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: MACFAYDEN, A.; BEGON, M.; FITTER, A. H. (Eds). *Advances in ecological research*, v. 21. London, UK: Academic Press, 1991. p.171–313.

BRUNDRETT, M. C.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Camberra: ACIAR, 1996.74 p.

BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, Cambridge, v. 154, p. 275–304, 2002.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. *Floresta*, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Zurich, v. 116, 2006. p.72–84.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; de SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas, 30 anos de pesquisas no Brasil*, Lavras: Editora UFLA. 2010. p. 153-249.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; CARVALHO, D.; BOTELHO, S. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas de ocorrência no sudeste do Brasil. *Cerne*, Lavras, v. 4, n. 1, p. 129-145, 1998.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia Pachystachya* Trec). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

CARPANEZZI, A. A.; BRITO, J. O.; FERNANDES, P.; JARK FILHO, W. Teor de macro e micronutrientes em folhas de diferentes idades de algumas essências florestais nativas. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v. 23, n.1, p. 225-232, 1976.

CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. S.; CREPALDI, I. C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC.) em diferentes níveis de luminosidade. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 351-357, 2006.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; BRUN, E. J.; LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* mart.) sob influência da adubação fosfatada. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299, 2006.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M. F. B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n.1, p. 25-32, 2007.

CQFS-RS/SC: COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: UFRGS, 2004. 400p.

DANNER, M. A.; CITADIN, I.; SASSO, S. A. Z.; SACHET, M. R.; AMBRÓSIO, R. Fenologia da floração e frutificação de mirtáceas nativas da floresta com araucária. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 291-295, 2010.

DANIELL, T. J.; HUSBAND, R.; FITTER, A. H.; YOUNG, J. P. W. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology*, Amsterdam, v. 36, n. 2-3, p.203-209, 2001.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos a nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do Solo*. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007. p. 91-132.

DUBOC, E. *Desenvolvimento inicial e nutrição de espécies arbóreas nativas sob fertilização em plantas de recuperação de áreas de cerrado degradado*. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia). Botucatu. 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2.ed., 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EPSTEIN E.; BLOOM A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2 ed. Londrina: Editora Planta. 2006. 401p.

FARDEAU, J. C. Dynamics of phosphate in soils. An isotopic outlook. *Fertilizer Research*, v. 45, n.1, 1996. p. 91-100.

GARCIA, I. V.; MENDOZA, R. E. Relationships among soil properties, plant nutrition and arbuscular mycorrhizal fungi–plant symbioses in a temperate grassland along hydrologic, saline and sodic gradients. *FEMS Microbiology Ecology*, Amsterdam, v. 63, p. 359–371, 2008.

GEHRING, C. A.; CONNELL, J. H. Arbuscular mycorrhizal fungi in the tree seedlings of two Australian rain forest: occurrence, colonization, and relationships with plant performance. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 16, p. 89-98, 2006.

GIEHL, E. L. H; JARENKOW, J. A. Gradiente estrutural no componente arbóreo e relação com inundações em uma floresta ribeirinha, rio Uruguai, sul do Brasil. *Acta botânica brasílica*, São Paulo, v. 22, n.1, p. 741-753, 2008.

GLUFKE, C. *Espécies florestais recomendadas para recuperação de áreas degradadas*. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 1999. 48p.

GONÇALVES, J. L. de M.; KAGEYAMA, P. Y.; FREIXÊDAS; GONÇALVES, J. C.; GERES, W. L. de A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p. 463-469.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n. 6, p. 1029-1040. 2008.

GRINGS, M.; BRACK, P. Árvores na vegetação nativa de Nova Petrópolis, Rio Grande do Sul. *Iheringia*, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 64, n.1, p. 5-22, 2009.

HAAG, H. P.; MEDEIROS, A. A. de; FRANÇA, A. F. de S. Desnutrição de macronutrientes em plantas de algaroba. *Revista do IPEF*, Piracicaba, n. 32, n.1, p. 53-55, 1986.

HOOGH, R. J. *Site-nutrition-growth relationships of Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, in southern Brazil. 1981. 161p. Tese (Doutorado). Freiburg: Universidade zu Freiburg. 1981.

HUNT, R. *Plant growth curves - the functional approach to plant growth analysis*. Londres: Edward Arnold, 1982. 247p.

INVAM - International culture collection of arbuscular & vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. 2013. *INVAM home page*. Disponível em: <http://invam.wvu.edu>. Acesso em jun.2013.

JOHNSON, N. C.; GRAHAM, J. H.; SMITH, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist*, Cambridge, v. 135, n.1, p. 575-585, 1997.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. Edusp: São Paulo, 2001. p. 249-269.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B. D.; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p. 1-16, 2009.

KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, Cambridge, v. 117, n.29, p.365-386, 1991.

KUINCHTNER, A.; BURIAL, G.A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia. Série Ciências Exatas*, v. 2, n.1, p.171-182, 2001.

JUMPPONEN, A. R. I.; TRAPPE, J. M. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist*, Cambridge, v. 140, n.2, p. 295-310, 1998.

JUMPPONEN, A. Dark septate endophytes—are they mycorrhizal?. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 11, n.4, p. 207-211, 2001.

LAMBERS H.; SHANE M. W.; CRAMER M. D.; PEARSE S. J.; VENEKLAAS E. J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. *Annals of Botany*, London, v. 98, p. 693-713, 2006.

LANDRUM, L. R.; KAWASAKI, M. L. *The Genera of Myrtaceae in Brazil: an Illustrated Synoptic Treatment and Identification Keys*. *Brittonia*, New York, v. 49, n.4, p. 508-536, 1997.

LEITÃO-FILHO, H. F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. *Revista do IPEF*, Piracicaba, v. 35, p. 41-46, 1987.

LENHARD, N. R.; PAIVA NETO, V. B. D.; SCALON, S. D. P. Q.; ALVARENGA, A. A. D. Growth of *Caesalpinia ferrea* seedlings under different shading levels. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 178-186, 2013.

LIMA, H. N.; VALE, F. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. Crescimento inicial de espécies arbóreas em resposta ao superfosfato simples em campo. *Revista da Universidade do Amazonas: Série Ciências Agrárias*, Manaus, v. 4/5, n. 1/2, p. 57-69, 1995.

LIMA, H. N.; VALE, F. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. Crescimento inicial a campo de sete espécies arbóreas nativas em resposta à adubação mineral com NPK. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 21, n. 2, p. 189-195, 1997.

LIMA, L. S. H.; FRANCO, E. T. H.; SCHUMACHER, M. V. Crescimento de mudas de *Euterpe edulis* martius em resposta a diferentes doses de fósforo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 461-470, 2008.

LOPES, P. Z. *Propagação vegetativa e interação com endomicorrizas arbusculares em mirtáceas nativas do Sul do Brasil*. 2009. 134p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 1992, 368p.

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. *Frutas brasileiras e exóticas cultivadas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006, 674p.

MALAVOLTA E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica. Ceres, 2006. 638p.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic, 2012.651p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. Potassium for soybeans. *Better Crops*, v. 88, n.3, p. 26-27, 2004.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SCHARLAU, A. V. Composição nutricional de Mirtáceas arbóreas nativas. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 8., 2010, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 2010.

MELOTTO, A.; NICODEMO, M. L.; BOCCHESI, R. A.; LAURA, V. A.; NETO, M. M. G.; SCHLEDER, D. D.; POTT, A.; SILVA, V. P. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 425-432, 2009.

MENGE, J. A.; STEIRLE, D.; BAGYARAJ, D. J.; JOHNSON, E. L.V.; LEONARD, R. T. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytologist*, Cambridge, v. 80, n.1, p. 575-578, 1978.

MISSIO, E. L.; NICOLOSO, F. T.; JUCOSKI, G. O.; SARTORI, L. Exigências nutricionais da grápia ao fósforo e enxofre em Argissolo Vermelho distrófico arênico: efeito da adubação no crescimento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1051-1057, 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n.1, p. 393-399, 2007.

MORI, S. A.; BOOM, B. M.; CARVALINO, A. M.; SANTOS, T. S. Ecological Importance of Myrtaceae in an Eastern Brazilian Wet Forest. *Biotropica*, Washington, v. 15, n. 1, p. 68-70, 1983.

MORTON, J.B. Evolutionary relationships among arbuscular mycorrhizal fungi in the Endogonaceae. *Mycologia*, Nova York, v. 82, n.1, p. 192–207, 1990.

MUTHUKUMAR, T.; SENTHILKUMAR, M.; RAJANGAM, M.; UDAIYAN, K. Arbuscular mycorrhizal morphology and dark septate fungal associations in medicinal and aromatic plants of Western Ghats, Southern India. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 17, n.1, p. 11-24, 2006.

NEMEC, S. *Glomus intraradix* effects on citrus rootstock seedling growth in various potting media. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 118, n.1, p. 315-323, 1992.

NEWSHAM, K. K. A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytologist*, Cambridge, v. 190, p. 783–793, 2011.

NICOLOSO, F. T.; ZANCHETTI, F.; GARLET, A.; FOGACA, M. A. de F. Exigências nutricionais da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em solo Podzólico vermelho amarelo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 29, n.2, p. 225-231, 1999.

NICOLOSO, F. T.; FOGACA, M. A. F.; ZANCHETTI, F.; MISSIO, E. Nutrição mineral de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) em Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Efeito da adubação NPK no crescimento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1-8, 2001.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpur lime seedlings under different levels of phosphorus. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 1, p. 93-99, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 471-550.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MADER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 69, n.5, p. 2816–2824, 2003.

OEHL, F.; SILVA, G. A.; GOTO, B. T.; SIEVERDING, E. Glomeromycota: three new genera and glomoid species reorganized. *Mycotaxon*, Ithaca, v.116, p. 75–120, 2011.

OLIVEIRA, J. M. F.; SILVA, A. J.; SCHWENGBER, D. R.; DUARTE, O. R. Resposta de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) a nitrogênio e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, p. 9, n.9, p. 1503-1507, 1998.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A .L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, Washington, v. 32, n.4, p. 793-810, 2000.

PAGANO, M. C.; SCOTTI, M. R. Effect of phosphorus fertilization on arbuscular mycorrhizal colonization of *Zeyheria tuberculosa* a native species in Brazil's Forest. *Middle-East Journal of Scientific Research*, v. 6, n.6, p. 604–611, 2010.

PERRY, D. L.; 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.

PINDI, P. K. Mycorrhizal association of some agroforestry tree species in two social forestry nurseries. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 51, p. 10425-10430, 2011.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Functional ecology*, London, v.13, n. 3, p. 396-410, 1999.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, p. 103-114, 2000.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.1, p.413-424, 2006.

PORTELA, R. C. Q.; SILVA, I. L.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (sprenge) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001.

POWELL, J. R.; PARRENT, J. L.; HART, M. M.; KLIRONOMOS, J. N.; RILLIG, M. C.; MAHERALI, H. Phylogenetic trait conservatism and the evolution of functional trade-offs in arbuscular mycorrhizal fungi. *Proceedings of the Royal Society*, London, v. 276, n. 1676, p. 4237-4245, 2009.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 50, p.665-693, 1999.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*, Washington, v. 289, p. 1829-1992, 2000.

REDECKER, D.; SCHUSSLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S.L.; MORTON, J. B.; WALKER, C. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 23, n. 7, p. 515-531, 2013.

RENÓ, N. B.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; VALE, F. R. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 1, p. 17-25, 1997.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; MUNIZ, J. A.; FARIA, M. R. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 24, n. 1, p. 160-173, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. *Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. v.1. 2002. 706p.

ROCHELLE, A. L. C.; CIELO-FILHO, R.; MARTINS, F. R. Florística e estrutura de um trecho de Floresta Ombrófila Densa Atlântica Submontana no Parque Estadual da Serra do Mar, em Ubatuba/SP, Brasil. *Biota Neotropica*, São Paulo, v. 11, n.2, p. 1-10, 2011.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 6, 2004.

SAGGIN JUNIOR, O. J. *Micorrizas arbusculares em mudas de espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro*. 1997. 120 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 1997.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Micorriza arbuscular: papel, funcionamento e aplicação da simbiose. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002.

SANTOS, C. M. R.; FERREIRA, A. G.; ÁQUILA, M. E. A. Características de frutos e germinação de sementes de seis espécies de Myrtaceae nativas do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 13-20, 2004.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 5, p.576-586, 2008.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; SCALON-FILHO, H. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 6, p.753-758, 2003.

SCALON, S. P. Q.; SCALON-FILHO, H.; RIGONI, M. R.; VERALDO, F. Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 23, n.3, p. 652-655, 2001.

SCHNEIDER, J.; KLAUBERG FILHO, O.; FONTOURA, S. M. V.; ALVES, M. V. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência agrotécnica*, Lavras, v. 35, n. 4, p. 701-709, 2011.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SENA, J. O. A.; LABATE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Micronutrient accumulation in mycorrhizal citrus under different phosphorus regimes. *Acta Scientiarum*, v. 24, n.5, p. 1265-1268, 2002.

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

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant physiology*, Minneapolis, v. 156, p. 997-1005, 2011.

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 2, p. 205-212, 1997.

SILVA, R. F. da; ANTONIOLLI, Z. I., LEAL, L.; SILVA, A. S. da. Ocorrência de fungos micorrízicos em espécies florestais na região central do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 15, n. 1-4, p. 65-70, 2009.

SILVEIRA, S. V.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do abacateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1597-1604, 2002.

SILVEIRA, A. P. D. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 203-209, 2004.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze cultivado em vaso. *Revista do IPEF*, Piracicaba, v. 4, n. 7, p. 3-40, 1973.

SIMON, L.; BOUSQUET, J.; LÉVESQUE, R. C.; LALONDE, M. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*, London, v. 363, p. 67-69, 1993.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 11, n. 5, p. 245-255, 2001.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: origem e características dos fungos Glomaleanos. *Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento*, v. 25, p. 12-21, 2002.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. San Diego, Academic Press, 1997. 603p.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant Physiology*, Minneapolis, v. 133, p. 16-20, 2003.

SMITH, F. A.; GRACE, E. J.; SMITH, S. E. More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, Cambridge ,v.182, p.347-358, 2009.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual review of plant biology*, v. 62, n.1, p. 227-250, 2011.

SMITH, S. E.; JAKOBSEN, I.; GRØNLUND, V.; SMITH, F. A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition. *Plant Physiology*, Minneapolis, v.156, p.1050–1057, 2011.

SOBRAL, M.; JARENKOW, J. A.; BRACK, P.; IRGANG, B.; LAROCCA, J.; RODRIGUES, R. S. Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Rima-Novo Ambiente, 2006. 350p.

SORREANO, M. C. M. *Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas*. 2006. 296p. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo. 2006.

SOUZA, P. V. D.; SCHMITZ, J. A. K.; FREITAS, R. S.; CARNIEL, E.; CARRENHO, R. Identificação e quantificação de fungos micorrízicos arbusculares autóctones em municípios produtores de citros no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 4, 2002.

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. Adubação mineral do Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa*). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 261-270, 2006.

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, R. P.; TUCCI, C. A. F.; CARLOS, L. Nutritional assessment of cedar seedlings (*Cedrela fissiliis* vell.) grown in a greenhouse. *Cerne*, Lavras, v. 1, n.2, p. 236-243, 2009.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, S.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua

diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; de SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas, 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 14-73.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Editora UFLA, Lavras, p. 537–583, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros minerais*. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995. 174p.

TRESEDER, K. K. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. *Plant and soil*, Dordrecht, v. 371, p. 1-13, 2013.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE C.; ALLAN, D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, Cambridge, v. 157, n.1, p. 423–447, 2003.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BARDGETT, R. D.; VAN STRAALLEN, N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, Davis, v. 11, v.1, p. 296–310, 2008.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; HORTON, T. R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, London, v. 97, n.6, p. 1139-1150, 2009.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. *Fitogeografia brasileira - classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical*. Boletim

Técnico do Projeto RADAMBRASIL, Série Vegetação, v. 1, p. 1-80, 1982.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Adubação mineral de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 3, p. 441-448, 1999.

VENTURIN, N.; SOUZA, P. A.; VENTURIN, R. P. Avaliação nutricional da candiúva (*Trema micrantha* L. Blumes) em casa de vegetação. *Floresta*, Curitiba, v. 29, n.1/2, p. 15-26, 2000.

WANG, B.; QIU, Y. L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, Adelaide, v. 16, n. 2, p. 299-363, 2006.

WILSON, P. G.; O'BRIEN, M. M.; GADEK P. A.; QUINN C. J. Myrtaceae revisited: A reassessment of infrafamilial groups. *American Journal of Botany*, Davis, v. 88, n. 11, p. 2013–2025, 2001.

ZAMPIER, A. C. *Avaliação dos níveis dos nutrientes, cafeína e taninos em erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.) após adubação e sua relação coma produtividade*. Curitiba. 2001. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. 2001.

ZANGARO, W.; NISHIZAKI, S. M. A.; DOMINGOS, J. C. B.; NAKANO, E. M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Itabagi, Paraná. *Cerne*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 77-87, 2002.