

CRESCIMENTO, ACÚMULO DE NUTRIENTES E FENÓIS TOTAIS DE MUDAS DE CEDRO-AUSTRALIANO (*Toona ciliata*) INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS

GROWTH, NUTRIENT AND TOTAL PHENOLS ACCUMULATION IN AUSTRALIAN RED CEDAR SEEDLINGS (*Toona ciliata*) INOCULATED WITH MYCORRHIZAL FUNGI

Késsia Barreto Lima¹ Andréia Francisca Riter Netto² Marco Antonio Martins³
Marta Simone Mendonça Freitas⁴

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar a produção de mudas de cedro-australiano quanto à capacidade de crescimento, nutrição e produção de fenóis totais inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Realizou-se experimento em casa de vegetação com três tratamentos compostos por *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum* testados de forma isolada e quatro tratamentos compostos pela combinação destas espécies: *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita* + *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum*. Todos os tratamentos com o inóculo fúngico foram avaliados sem a adição de fósforo no substrato. Em comparação, foram utilizadas três testemunhas (sem fungo) contendo três doses de fósforo: 0, 50 e 100 mg dm⁻³, totalizando dez tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Após 140 dias de germinação, foi observado que todas as espécies de FMAs inoculadas de forma isolada ou combinada promoveram benefícios significativos no crescimento, nutrição e produção de fenóis totais nas mudas de cedro-australiano em solos contendo baixa disponibilidade de fósforo. A mistura no solo de *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum* foi capaz de proporcionar incrementos significativos no desenvolvimento das plantas na maioria dos parâmetros avaliados, obtendo-se desempenhos superiores ou equivalentes às plantas testemunhas não micorrizadas e cultivadas em solos adubados com fósforo. Isto sugere que os FMAs podem promover redução na adubação fosfatada no processo de produção de mudas de cedro-australiano.

Palavras-chave: Cedro-australiano; *Glomus clarum*; *Glomus etunicatum*; *Gigaspora margarita*.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the Australian red cedar seedlings for their ability to growth, nutrition and production of phenolic compounds under arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation. An experiment was carried out under greenhouse conditions, with three treatments consisting of *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* in single inoculation, and four treatments composed by the combination of these species, *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita* + *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum* and *Gigaspora margarita* + *Glomus etunicatum* + *Glomus clarum*. All treatments with the fungal inoculum were evaluated without addition of phosphorus in the substrate. In comparison, three treatment controls were used (without fungus) containing

1 Bióloga, MSc, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. kblima@hotmail.com

2 Bióloga, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. afrancis@uenf.br

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. marco@uenf.br

4 Graduada em Ciências, Dr^a., Pesquisadora da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2.000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. msimone@uenf.br

three levels of phosphorus: 0, 50 and 100 mg dm⁻³, performing ten treatments. The experimental design was in random blocks with five replicates. After 140 days of germination, it was observed that all species of AMF inoculated alone or in combination, led to significant benefits on growth, nutrition and production of phenolic compounds in Australian red cedar seedlings in soils containing low phosphorus availability. The mixture in the soil of *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum* and *Glomus clarum* was able to provide significant increases in plant growth in most parameters assessed, resulting in performance equivalent or higher than non-mycorrhizal and control plants grown in soil fertilized with phosphorus. This suggests that AMF can promote reduction in phosphorus addition during the production of Australian red cedar seedlings.

Keywords: Australian red cedar; *Gigaspora margarita*; *Glomus etunicatum*; *Glomus clarum*.

INTRODUÇÃO

Estimativas realizadas pela Associação Brasileira de Produtos de Florestas (ABRAF, 2011) revelam que as exportações brasileiras de produtos florestais atingiram, em 2010, US\$ 7,5 bilhões, o que corresponde ao crescimento de 34,6% em relação a 2009. Apesar da predominância dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* na participação da área total de plantios florestais no Brasil, a produção de outras espécies florestais tem crescido e, em 2010, a área plantada chegou a 462.390 ha, representando 6,6% da área total de plantios florestais cultivadas no país. Dentre as espécies de grande importância econômica e ecológica no Brasil, encontra-se o cedro, considerada uma espécie de grande plasticidade silvicultural, pertencente à família Meliaceae, que inclui os gêneros *Cedrela*, *Toona*, *Swietenia*, *Khaya* e *Chukrasia* (MALLERBY, 1997). O valor econômico da madeira das principais espécies nativas do Brasil *Cedrela odorata* L. e *Cedrela fissilis* Vell., pertencentes ao gênero *Cedrela*, resultou em sua sobre-exploração nos dois últimos séculos e tem sido necessária a realização uma série de estudos sobre a sustentabilidade de produção e utilização desta espécie no sistema agroindustrial florestal (CAVERS et al., 2003). O intenso ataque de *Hypsiphyla grandella* (broca do broto terminal) é o principal fator que causa impedimento no sucesso para o remanejamento de árvores e programas de organização de plantios dentro da área de distribuição natural e no estabelecimento de plantações de alto valor comercial das espécies de cedro brasileiras (MURAKAMI, 2008; CARVALHO, 1994). Para contornar este problema, a espécie *Toona ciliata* var. *australis*, conhecida popularmente como cedro-australiano foi introduzida no Brasil. Esta espécie exótica pertencente ao gênero *Toona*, proveniente de várias regiões da Austrália, encontrou condições

favoráveis para sua adaptação no Brasil, exibindo crescimento rápido em condições adequadas e apresenta maior resistência ao ataque da *Hypsiphyla grandella* (MURAKAMI, 2008).

Dados morfológicos e moleculares indicam uma íntima relação entre os gêneros *Cedrela* e *Toona* (MUELLNER et al., 2003). Atualmente, a *Toona ciliata* vem se destacando no segmento de madeira serrada, em virtude do ciclo relativamente curto, da boa produtividade e do valor de sua madeira no mercado interno e externo. Sua madeira é semelhante às espécies de cedro brasileiras (*Cedrela odorata* e *Cedrela fissilis*), apresentando moderada resistência a cupins, com durabilidade mediana, sendo indicada para diversos usos madeiráveis como: construção, fabricação de móveis finos, madeira compensada decorativa e acabamentos de construção civil (PAIVA et al., 2007). A casca do cedro-australiano tem sido muito utilizada pelas indústrias para a produção de corantes (SETH, 2004) e o extrato etanólico obtido a partir do cerne apresenta importante propriedade para a indústria farmacêutica, em virtude de sua potente atividade antiulcerogênica (MALAIRAJAN et al., 2007). Além disso, compostos produzidos por espécies do gênero *Toona* possuem várias atividades biológicas, com ação antifadiga, antifúngica, hipoglicemiante, antidiabética, antibacteriana, antioxidante, antiúlcera, gastroprotetora, anti-inflamatória, analgésica, anticancerígena e antiproliferativa, principalmente devido à presença de cumarinas, flavonoides, fitoesterol, fenóis, taninos, alcaloides, triterpenos, esteroides e antraquinonas (JAGMOHAN et al., 2011).

Apesar da escassez de informações de cedro-australiano no Brasil referentes à produção, exigência nutricional das mudas e frequência de adubações sobre o cultivo e manejo, Murakami (2008) relata que esta espécie não se desenvolve satisfatoriamente em solos pobres. Locatelli et al. (2007) observaram que o fósforo e o

zinco são considerados o macro e o micronutriente, respectivamente, que mais limitam o crescimento em altura e diâmetro do colo de *Cedrela odorata*. Isto leva a um incremento no consumo de fertilizantes, aumentando os custos de produção. São nestas condições que os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) assumem um papel determinante na sobrevivência de diversas espécies vegetais da região tropical (FERNANDES, 2006). Diversos trabalhos demonstram a capacidade de colonização micorrízica arbuscular (MA) em espécies nativas de cedro do gênero *Cedrela* (PASQUALINI et al. 2007, PASQUALINI e STÜRMER, 2003; POUYU ROJAS, 2002). Os FMAs podem favorecer as plantas, aumentando sua eficiência nutricional e a produção de fenóis totais (FREITAS et al., 2004). Rocha et al. (2006) demonstraram que a espécie *Cedrela fissilis* possui elevado grau de dependência micorrízica e que a economia na fertilização fosfatada promovida pelo FMA *Glomus clarum* em mudas desta espécie, foi de 63% em relação às plantas não micorrizadas, além de promover maior nutrição e crescimento das mudas. Entretanto, apesar da potencialidade conferida ao cedro-australiano na produção madeireira do Brasil, estudos envolvendo a sua capacidade de adaptação às condições ambientais e os benefícios promovidos pela associação micorrízica para esta espécie, ainda se fazem necessários.

Desta forma, o presente estudo teve por objetivo o efeito de várias condições de inoculação com FMAs em mudas de cedro-australiano, quanto à capacidade de promoção de crescimento, nutrição e produção de fenóis totais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos Goytacazes - RJ (Latitude = 21°19'23"S; Longitude = 41°10'40"W; Altitude = 14 m), de 26/06 a 05/12/2009. Durante o período de condução do experimento, as temperaturas diárias máximas variaram de 41,5 a 20,0°C, com média das máximas igual a 33,5°C, as temperaturas diárias mínimas entre 12,0 e 24,0°C, com média das mínimas igual a 18,9°C e a temperatura média diária variando de 24,5 a 28,4°C, com média igual a 26,2°C.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados. Foram avaliadas três espécies de

FMAs de ampla ocorrência regional, sendo três tratamentos, compostos por *Gigaspora margarita* (Gm) (Becker e Hall), *Glomus clarum* (Gc) (Nicolson e Schenck) e *Glomus etunicatum* (Ge) (Becker e Gerdemann) testados de forma isolada e quatro tratamentos compostos pela combinação destas espécies: *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum* (Gm + Gc), *Gigaspora margarita* + *Glomus etunicatum* (Gm + Ge), *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum* (Gc + Ge) e *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum* (Gm + Gc + Ge). Todos os tratamentos com o inóculo fúngico foram avaliados na ausência de fósforo no substrato (0 P mg dm⁻³). Em comparação, foram utilizadas três testemunhas (sem fungo) contendo três doses de fósforo: 0 (T 0 P), 50 (T 50 P) e 100 (T 100 P) mg dm⁻³, respectivamente, totalizando dez tratamentos, com cinco repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso de 3 dm³ de substrato, contendo uma planta por vaso.

O solo destinado ao preparo do inóculo de FMAs e para o experimento foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, coletado na profundidade de 0-20 cm, peneirado, misturado com areia na proporção 1:1 (v/v) e esterilizado em autoclave a uma temperatura de 121°C por 1 hora. Após a autoclavagem, o solo apresentou as seguintes características: pH (água), 5,9; matéria orgânica (M.O) 12,24 g dm⁻³; P, 5,0 mg dm⁻³; S, 7,0 mg dm⁻³; K⁺, 0,7 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺, 13,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 12,1 mmol_c dm⁻³; Al³⁺, 0,0 mmol_c dm⁻³; H+Al, 12,5 mmol_c dm⁻³; Soma de bases (S.B) 26,3 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions (C.T.C), 38,8 mmol_c dm⁻³; Fe, 42,8 mg dm⁻³; Cu, 0,50 mg dm⁻³; Zn, 1,06 mg dm⁻³; Mn, 59,3 mg dm⁻³ e B, 0,24 mg dm⁻³. Ao solo reservado às testemunhas com as doses de 0, 50 e 100 mg dm³, foram adicionados NaH₂PO₄ como fonte de P, contendo 0,7; 33,9; 101,9 mg dm⁻³ de P disponível, respectivamente. Os teores de K foram elevados para 100 mg dm⁻³, utilizando-se KCl como fonte. O solo foi mantido por 42 dias incubado, devidamente umedecido.

Para a multiplicação do inóculo fúngico foram desinfestadas seis sementes de *Brachiaria decumbes* com solução de 0,5% de hipoclorito de sódio, em vasos de 3 dm³ contendo substrato autoclavado. Foram adicionados 50 cm³ de inóculo, constituindo uma mistura de solo contendo esporos, hifas e raízes colonizadas, de acordo com as espécies de FMA propostos no delineamento. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, após o plantio, por um período de 90 dias.

Sementes de cedro-australiano foram adquiridas através da empresa Caiçara Comércio de Sementes Ltda. Estas sementes foram desinfestadas com solução de 0,5% de hipoclorito de sódio, por 10 minutos, e 15 sementes foram adicionadas em vasos plásticos contendo 3 dm³ de substrato autoclavado, previamente adubado.

No momento do plantio foram inoculados os FMAs. Os tratamentos contendo os FMAs foram inoculados a partir de uma mistura de solo, esporos e raízes colonizadas com *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum*, deixando-se o tratamento controle sem inoculação. Em cada vaso foi adicionado um total de 50 cm³ de inóculo correspondente a cada tratamento, de forma isolada e combinada. A aplicação dos FMAs foi realizada em uma profundidade aproximada de 3 cm nos vasos dos tratamentos correspondentes, procedendo-se a semeadura. Irrigações diárias foram realizadas durante todo o período experimental. Após 45 dias de germinação, foi realizado o desbaste das mudas, deixando-se uma planta por vaso. Foi realizada uma adubação nitrogenada no solo, aos 60 dias após a germinação, utilizando-se como fonte NH₄NO₃, que continha 200 mg dm⁻³ de N.

Aos 140 dias após a germinação foi realizada a avaliação do crescimento das mudas, sendo mensurada a altura e o diâmetro do caule das mudas (a 2 cm do colo). As massas secas da raiz e parte aérea das mudas foram mensuradas após ventilação forçada a 65°C por 48 horas. Sequencialmente, os materiais vegetais foram triturados em moinho tipo Willey usando peneira de 20 mesh e, depois, foram acondicionadas em recipientes plásticos hermeticamente fechados. Posteriormente, o material triturado foi submetido a análises químicas para determinação dos teores de nitrogênio (Norg), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn). As análises foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997), sob algumas modificações. O N foi determinado pelo método de Nessler (JACKSON, 1965), após submeter o material vegetal à oxidação por digestão sulfúrica (H₂SO₄ e H₂O₂). O P foi determinado colorimetricamente, pelo método azul de molibdato, e K por espectrofotometria de emissão de chama, ambos determinados no extrato que foi obtido a partir da digestão sulfúrica. Os nutrientes Ca, Mg, S, Zn, Cu e Mn foram quantificados em extratos obtidos após oxidação

do material vegetal pela digestão nitroperclórica (HNO₃ e HClO₄). O Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica Zeiss AAS4. O S foi determinado por turbidimetria com cloreto de bário. O teor e conteúdo de fenóis totais da parte aérea das mudas de cedro-australiano foram medidos através do método de Folin-Dennis (ANDERSON e INGRAM, 1992).

A porcentagem de colonização micorrízica das raízes foi determinada, após a coloração pelo método descrito por Grace e Stribley (1991), adaptado com lavagem das raízes em KOH (10%) a 80°C por 10 minutos, seguida por KOH (5%) a 80°C por 5 minutos e H₂O₂ alcalina 5% por 5 minutos. Os segmentos de raízes foram levados ao microscópio óptico para a observação da presença de estruturas de FMAs.

Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das mudas de cedro-australiano, quando inoculadas com todos os tratamentos de FMAs, na ausência de fósforo no solo, foram significativamente iguais às testemunhas contendo 50 e 100 mg dm⁻³ de fósforo no solo sem a presença de FMAs, aos 90 dias após a germinação (Tabela 1). Entretanto, na ausência de inoculação com FMAs no solo, o tratamento T 0P apresentou altura reduzida devido à limitação de fósforo no solo, necessário para o desenvolvimento da planta. Isto demonstra o potencial dos FMAs na promoção de crescimento das mudas de cedro-australiano, mesmo com baixa disponibilidade de fósforo no solo. A influência dos FMAs promovendo a promoção de crescimento em mudas de cedro já foi observada por Rocha et al. (2006) e Fogaça (2010).

Na ausência de adubação fosfatada, as plantas inoculadas com o FMA *Gigaspora margarita* e todos os inóculos mistos, com exceção do tratamento *Gigaspora margarita* + *Glomus clarum*, apresentaram diâmetros dos caules, estatisticamente iguais às plantas testemunhas que continham 50 e 100 mg dm⁻³ de P no solo (Tabela 1). Além disso, todas as mudas de *Toona ciliata* inoculadas com FMAs apresentaram o diâmetro do caule superior ao tratamento T 0P em até 454%, quando inoculadas com *Gigaspora margarita*. Rocha et al. (2006), avaliando o diâmetro do caule em mudas de

Cedrela fissilis, não obtiveram efeitos significativos com a inoculação isolada de *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum*. Da mesma forma, Carneiro et al. (1996) observaram que as plantas não responderam em termos de crescimento em diâmetro do caule.

As mudas de cedro-australiano inoculadas com FMAs apresentaram valores significativos, em relação ao acúmulo de massa seca de parte aérea e raízes (Tabela 1). Em relação à massa seca da parte aérea (Tabela 1), apesar da testemunha T 100P ter tido resultado significativamente superior aos dos demais tratamentos, foi observado que as médias obtidas pela inoculação combinada de *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum*, na presença e na ausência de *G. margarita*, foram significativamente maiores que o tratamento 50 P, em até 24%. O uso de inóculo misto, composto por espécies com diferentes estratégias, pode apresentar resultados melhores para plantas hospedeiras e pode, conseqüentemente, ser mais adequado que a introdução de uma única espécie de fungo. As médias obtidas referentes à massa seca da raiz das mudas em todos os tratamentos foram superiores às plantas não micorrizadas na dose 0P e mesmo na ausência de adubação de P no solo, todos os tratamentos fúngicos não diferiram

significativamente dos tratamentos T 50P e T 100P.

Fontes et al. (2013) avaliaram a produção de biomassa e a eficiência nutricional de plântulas das espécies arbóreas *Swietenia macrophylla* (mogno), *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá), *Cedrela fissilis* (cedro-rosa) e *Toona ciliata* (cedro-australiano) em resposta à fertilização fosfatada em dois níveis de calagem. Estes autores observaram que aos 150 dias após o transplântio das mudas, o cedro-australiano foi a espécie que apresentou a menor taxa de produção de massa seca total (0,4 g planta⁻¹) em solos com baixos teores de P (5 mg dm⁻³), sendo a espécie de menor adaptação sob estas condições e em comparação com as demais espécies arbóreas avaliadas. Além disso, estes autores observaram um comportamento linear de resposta à adição de P no solo para a obtenção de 90% da produção máxima de matéria seca total, teores de fósforo disponíveis no solo e teores de fósforo no tecido foliar das mudas.

As porcentagens da colonização micorrízica evidenciam o efeito dos FMAs (Tabela 1). Todos os tratamentos fúngicos apresentaram capacidade de colonizar o sistema radicular das mudas, com a exceção do tratamento contendo apenas o FMA *Glomus etunicatum*. Este elevado potencial

TABELA 1: Altura, diâmetro do caule, massas secas de parte aérea e raiz e porcentagem da colonização micorrízica em mudas de *Toona ciliata*, aos 140 dias após a germinação.

TABLE 1: Height, stem diameter, shoot and root dry masses and mycorrhizal colonization percentage on seedlings of *Toona ciliata*, at 140 days after germination.

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Massa Seca (g planta ⁻¹)		Colonização micorrízica (%)
			Parte Aérea	Raiz	
T 0P	3,9 b	1,04 c	0,03 c	0,02 b	0 c
T 50P	27,8 a	5,76 a	3,40 c	2,07 a	0 c
T 100P	28,1 a	5,98 a	4,86 a	2,28 a	0 c
Gm	25,0 a	5,76 a	3,38 d	1,96 a	82 ab
Gc	27,4 a	5,18 b	3,68 c	1,89 a	96 a
Ge	23,3 a	4,95 b	2,94 d	1,80 a	60 b
Gm + Gc	27,3 a	5,26 b	3,94 c	1,80 a	96 a
Gm + Ge	27,2 a	5,62 a	3,78 c	2,03 a	88 a
Gc + Ge	25,9 a	5,64 a	4,21 b	2,27 a	98 a
Gc + Gm + Ge	29,2 a	5,48 a	4,18 b	2,12 a	92 a
Médias	24,5	5,07	3,47	1,82	61,2
CV (%)	14,1	8,8	13,4	19,3	19,4

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

de colonização radicular nas mudas de cedro-australiano pode explicar os resultados significativos obtidos nas características avaliadas referentes à promoção de crescimento. As plantas não inoculadas não apresentaram colonização micorrízica. Em contraste, Fogaça (2010), avaliando dez diferentes espécies de FMAs em mudas de cedro-australiano, observou que apenas o fungo *Scutellospora pellucida* apresentou alta colonização, enquanto as demais espécies (incluindo *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*) apresentaram colonização considerada de muito baixa (1 – 19%) a baixa (20 – 39%) no sistema radicular após 150 dias de emergência das plântulas.

Pasqualini e Stürmer (2003), ao estudarem as interações entre FMA e espécies arbóreas nativas da Floresta Ombrófila Densa em quatro espécies arbóreas nativas: *Cedrela fissilis* (cedro), *Talauma ovata* (bagaçu), *Cabralea canjerana* (canjerana) e *Cyatharexylum myrianthum* (tucaneira), observaram que as espécies cedro e tucaneira foram altamente dependentes de micorrizas, apresentando valores que variaram de 61% a 96%. Dentre as espécies avaliadas, o cedro foi a que mais se destacou para os parâmetros analisados, com tratamentos que aumentaram em até três vezes a produção de biomassa aérea total em relação ao controle. Da mesma forma, Pasqualini et al. (2007) avaliaram aumentos na biomassa da parte aérea e conteúdo de P referentes à espécie *Cedrela fissilis*, em comparação às plantas não inoculadas. Estes autores classificaram ainda a resposta à inoculação de FMAs nos cedros como alta a muito alta, corroborando os resultados de Siqueira e Saggin-Júnior (2001). *Cedrela fissilis* é uma espécie que apresenta grande complexidade frente aos fatores ambientais, demonstrando a capacidade elástica de sua adaptação fisiológica às condições lumínicas do ambiente, bem como pelo grande potencial de regeneração natural, ou por via generativa ou por via vegetativa. Como o cedro-rosa tem ampla dispersão territorial, sendo encontrada em distintos biomas brasileiros (LORENZI, 2000), podem ocorrer diferentes ecótipos dessa planta, quanto ao grau de dependência micorrízica, já que essa característica genética varia até entre variedades e cultivares (HETRICK et al., 1993). Isto explica os resultados obtidos por Carneiro et al. (1996) e Siqueira et al. (1998), que não encontraram nenhuma associação micorrízica arbuscular com esta espécie, na qual nem mesmo o fósforo afetou os resultados.

A inoculação de FMAs também promoveu

incrementos significativos na nutrição das mudas de cedro-australiano (Tabela 2). Em relação ao acúmulo de N na parte aérea das plantas, todos os tratamentos foram significativamente maiores que o tratamento sem adição de P e sem fungo no solo, não diferindo entre si. Isto mostra a eficiência dos FMAs em promover o melhor estado nutricional da planta, mesmo com a baixa disponibilidade de P no solo.

Os valores referentes aos conteúdos de P, K e Ca na parte aérea das mudas de cedro-australiano, foram significativamente maiores no tratamento 100P (Tabela 2). Entretanto, todos os FMAs foram superiores ao tratamento testemunha 0P. Quando comparadas à testemunha 50P, foi possível observar que o tratamento contendo a mistura de todas as espécies de FMAs, resultou no incremento superior de até 62% de P. Em adição, todos os tratamentos contendo inóculo misto foram estatisticamente iguais ao tratamento 50P, em relação à absorção de K, ao passo que apenas a mistura entre *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum* proporcionou a mesma capacidade de absorção de Ca na parte aérea das plantas. O acúmulo de Mg nas plantas testemunhas 100P foi estatisticamente semelhante aos tratamentos contendo *Glomus clarum* + *Glomus etunicatum* e a mistura de todas as espécies de FMAs.

Além disso, em comparação ao tratamento contendo 100 mg dm⁻³ P no solo, os tratamentos *Glomus clarum* e todos os inóculos mistos foram significativamente iguais, mostrando-se eficientes no acúmulo de S nas mudas de cedro-australiano (Tabela 2). A introdução de diferentes inóculos fúngicos pode favorecer a obtenção de nutrientes do solo para as plantas, atuando em sinergismo, através de possíveis estratégias estruturalmente e fisiologicamente distintas.

De acordo com Rocha et al. (2006), a espécie *Cedrela fissilis* possui elevado grau de dependência micorrízica. Estes autores observaram que, dentre os FMAs testados, *Glomus clarum* foi o mais eficiente em promover o crescimento e nutrição fosfatada do cedro. A eficiência de *Glomus clarum* em promover o crescimento de mudas de cedro foi aumentada quando a inoculação foi realizada em substrato com níveis de P disponível (12 mg dm⁻³). A economia na fertilização fosfatada em mudas de cedro, promovida por *Glomus clarum* foi de 37% em relação aos demais tratamentos fúngicos, e de 63% em relação à testemunha sem inoculação. Pouýu Rojas (2002), ao trabalhar com 16 espécies florestais

TABELA 2: Conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de *Toona ciliata*, aos 140 dias após a germinação.TABLE 2: Contents of N, P, K, Ca, Mg and S in the shoots of *Toona ciliata* seedlings, at 140 days after germination.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- mg planta ⁻¹ -----					
T 0P	8,1 b	0,02 d	0,82 d	0,4 d	0,3 c	Nd
T 50P	679,9 a	3,65 c	80,9 b	36,2 b	14,9 b	4,31 b
T 100P	752,5 a	7,69 a	106,4 a	43,7 a	17,3 a	6,04 a
Gm	609,1 a	3,63 c	59,4 c	29,3 c	13,7 b	4,10 b
Gc	576,4 a	4,28 c	58,5 c	28,7 c	14,3 b	5,56 a
Ge	541,6 a	2,75 c	55,1 c	27,2 c	11,9 b	3,78 b
Gm + Gc	652,4 a	5,50 b	71,0 b	33,3 c	15,7 b	6,44 a
Gm + Ge	665,4 a	3,84 c	68,9 b	33,0 c	15,2 b	5,32 a
Gc + Ge	720,1 a	5,54 b	72,9 b	37,0 b	18,2 a	6,95 a
Gc + Gm + Ge	671,3 a	5,90 b	72,7 b	34,2 c	17,5 a	6,46 a
Médias	587,7	4,3	64,7	30,3	13,9	5,44
CV (%)	17,3	19,2	15,6	17,3	15,0	19,4

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

de distintos grupos sucessionais com inoculação de diferentes FMAs, também constatou alta capacidade de *Glomus clarum* em beneficiar mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), além de observar que esse fungo foi capaz de promover o crescimento da maioria das espécies arbóreas em que foi inoculado.

Fogaça (2010), avaliando a deficiência nutricional em mudas de cedro-australiano, observou que a espécie *Toona ciliata* acumulou macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg > Ca > P. Entretanto, os danos mais intensos e imediatos foram observados na ausência dos elementos K e Ca, sendo que a de K foi a que mais afetou o crescimento em altura, a redução de todos os macronutrientes limitou o incremento do diâmetro das plantas e os sintomas foram similares com os sintomas de outras espécies da mesma família. Além disso, este autor observou que a produção de massa seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo à seguinte ordem decrescente: Completo > -P > -Mg > -N > -K > -Ca.

Sem a inoculação com os FMAs e a adubação de P no solo, as plantas testemunhas 0P apresentaram crescimento muito limitado e sua sobrevivência foi comprometida. Desta forma, não houve material vegetal suficiente para determinar os conteúdos de S, Cu, Mn e Zn pela digestão

nitroperclórica deste tratamento. Em contrapartida, as mudas inoculadas com FMAs foram capazes de extrair e transferir o P para as plantas, mesmo com a baixa disponibilidade no solo. Conforme observado na Tabela 3, todos os tratamentos contendo FMAs foram significativamente superiores no acúmulo de Cu, em relação a todas as plantas testemunhas, promovendo incrementos de até 200%. O mesmo desempenho foi obtido na absorção de Zn, com a exceção do tratamento *Glomus clarum*. Em contraste, as testemunhas 50P e 100P foram mais eficientes na absorção de Mn do que os tratamentos fúngicos. É importante ressaltar que apesar do aumento do acúmulo de Cu, Zn e Mn nas plantas pelos FMAs, os valores obtidos não atingiram níveis que considerados danosos para o crescimento das plantas. Moretti et al. (2011) avaliaram as exigências nutricionais e o efeito da omissão de nutrientes no crescimento de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) e observaram que as plantas apresentam elevada exigência nutricional, sendo que os nutrientes P, N, S, Ca, K, Mg e Cu, nessa ordem, foram limitantes ao seu crescimento. A omissão de B e Zn não afetou o crescimento das plantas.

Os maiores valores de Cu e Zn nas mudas com uso da combinação de FMAs na ausência de adubação de P (Tabela 3) e de Mn na presença

TABELA 3: Conteúdos de Cu, Mn e Zn e teor e conteúdo de fenóis totais da parte aérea de mudas de *Toona ciliata*, aos 140 dias após a germinação.TABLE 3: Contents of Cu, and Zn and Mn and total phenolic contents in shoots of *Toona ciliata* seedlings, at 140 days after germination.

FMA	Cu		Mn	Zn	Fenóis Totais	
	----- mg planta ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹	mg planta ⁻¹
T 0 P	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
T 50 P	0,009 d	2,250a	0,103 b	2,77 a	10,3 ab	
T 100 P	0,009 d	2,319 a	0,123 b	2,69 a	13,2 a	
Gm	0,020 b	0,972 b	0,147 a	2,70 a	9,1 b	
Gc	0,024 a	0,983 b	0,134b	2,43 a	9,0 b	
Ge	0,017 c	0,955 b	0,141 a	2,69 a	8,1 b	
Gm + Gc	0,027 a	0,931 b	0,160 a	2,26 a	8,9 b	
Gm + Ge	0,020 b	1,271 b	0,159 a	2,81 a	10,6 ab	
Gc + Ge	0,027 a	1,573 b	0,150 a	2,52 a	10,8 ab	
Gc + Gm + Ge	0,027 a	1,195 b	0,159 a	2,69 a	9,5 ab	
Médias	0,020	1,383	0,134	2,57	9,95	
C. V. (%)	18,2	32,0	13,9	12,7	19,6	

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

de adubação fosfatada podem estar associados à maior capacidade de absorção de nutrientes pelo sistema radicular, diante dos valores obtidos no acúmulo de massa seca das raízes (Tabela 1).

Em relação ao teor de fenóis totais na parte aérea das plantas, foi observado que apesar da pouca disponibilidade de P no solo, as mudas de cedro-australiano cultivadas na presença dos FMAs não diferiram dos demais tratamentos que continham solos adubados com P (Tabela 3). Por outro lado, a baixa disponibilidade de P no solo e a ausência de FMA foram limitantes para as mudas de cedro-australiano, ao ponto de inviabilizar a avaliação dos teores e conteúdos de fenóis totais obtidos. O conteúdo de fenóis totais da parte aérea das mudas de cedro-australiano foi maior entre os tratamentos inoculados com as misturas de FMAs (com a exceção de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum*), em solos contendo pouca disponibilidade de P, obtendo-se valores que se igualaram as mudas crescidas em solos adubados com 100 mg dm⁻³ de P. Este resultado pode estar associado ao crescimento da parte aérea (Tabela 2), mostrando que a mistura entre os diferentes FMAs pode aumentar o acúmulo de fenóis totais na parte aérea das plantas sem a

necessidade de adubação fosfatada no solo. Da mesma forma, Freitas et al. (2004) observaram que FMAs influenciaram a produção de fenóis totais em mudas de carqueja (*Baccharis trimera* Less. D.C.).

Conhecimentos referentes à nutrição mineral e à produtividade do cedro-australiano (*Toona ciliata*) são importantes na produção em escala comercial. No entanto, ainda é necessário intensificar estudos que avaliem a demanda nutricional durante o ciclo de produção desta espécie no Brasil, assim como a sua interação com FMAs, uma vez que a maioria dos trabalhos está voltada para espécies florestais nativas (*Cedrela odorata* e *Cedrela fissilis*). Neste sentido, os resultados obtidos no presente trabalho indicam que os FMAs são capazes de promover o crescimento das mudas e promover maior suprimento de nutrientes em mudas de *Toona ciliata*, mesmo sob baixa disponibilidade de P no solo.

CONCLUSÃO

Todas as espécies de FMAs proporcionaram incrementos significativos no crescimento e na nutrição das mudas de cedro-australiano, mesmo

sob baixa disponibilidade de fósforo no solo, sendo que a combinação das espécies demonstrou efeito sinérgico, com desempenho superior quando comparado à utilização das mesmas individualmente.

Os FMAs podem reduzir os custos com a adubação fosfatada em mudas de cedro-australiano.

A inoculação combinada entre *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum*, em solo com baixa disponibilidade de P, promoveu as melhores respostas no desenvolvimento das mudas.

A produção de fenóis totais na parte aérea das mudas tratadas com as misturas dos FMAs, sem a adição de P, foram equivalentes aos tratamentos não inoculados, contendo 50 mg dm⁻³ de P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico**. Disponível em: <(http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp)> Acessado em agosto de 2011.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **TSBF: methods handbook**. Unesco-MAB: Tropical Soil Biology and Fertility Programme, 1992. 221 p.
- CARNEIRO, M.A.C. et al. Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Forest Science**, Czech Republic, v. 50, p. 21–36, 1996.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. **Embrapa-CNPQ**, Brasília, Embrapa-SPI, 1994. 640 p.
- CAVERS, S.; NAVARRO, C.; LOWE, A.J. Chloroplast DNA phylogeography reveals colonization history of a Neotropical tree, *Cedrela odorata* L., in Mesoamerica. **Molecular Ecology**, Colombia, v. 12, 1451–1460, 2003.
- FERNANDES, M.S. (2006) Nutrição Mineral de Plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG. 432p.
- FOGAÇA, C.A. **Nutrientes e fungos micorrízicos arbusculares como fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis***. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.
- FONTES, A.G. et al. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, p. 09-18, 2013.
- FREITAS, M. S. M. et al. Crescimento e Produção de fenóis totais em carqueja [*Baccharis trimera* (Less.) DC.] em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares, na presença e na ausência de adubação mineral. **Revista Brasileira de Plantas Medicináveis**, Botucatu, v.6, n. 3, p.30-34, 2004.
- GRACE, C.; STRIBLEY, D.P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, v.95, p. 1160-1162, 1991.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T.; COX, T.S. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors: a synthesis. **Canadian Journal of Botany**, v.71, p.512-518, 1993.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 498p.1965.
- JAGMOHANS. et al. Chemical and Pharmacological Aspects of *Toona* (Meliaceae). **Research Journal of Phytochemistry**, EUA, v.5, p. 14-2, 2011.
- LOCATELLI, M.; MACÊDO, R.S.; VIEIRA, A.H. Avaliação de altura e diâmetro de mudas de Cedro Rosa (*Cedrela odorata* L.) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, RS, v. 5, p. 645-647, 2007.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 368p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípio e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafó, p. 319. 1997.
- MALAIRAJAN, P. et al. Anti-ulcer activity of crude alcoholic extract of *Toona ciliata* Roemer (heart wood). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 110, p. 348–35, 2007.
- MALLERBY, D. **J. The Plant-Book**. 3. ed. Cambridge University Press, 1997.
- MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, v. 17, p. 453-463, 2011.
- MUELLNER A.N. et al. Molecular and phylogenetics of *Meliaceae* (Sapindales) based on nuclear and plastid DNA sequences. **American Journal of Botany**, v. 90, p. 471-480, 2003.
- MURAKAMI, C.H.G. **Cedro Australiano: Valorização de Espécies Nobres**. Boletim Florestal – Informativo Florestal do Norte Pioneiro. Florestal Brazil Viveiro Florestal, 7 ed., n. 2, p.1-4, fev. 2008.

- Disponível em <http://www.forestbrazil.com.br/images/admin/boletim_1202960284.pdf> Acesso em: 20 abr. 2008.
- PAIVA, Y. G. et al. Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, utilizando dados SRTM. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007, p. 1785-1792.
- PASQUALINI, D. STURMER, S. L. Efeito da Inoculação com Comunidades de Fungos Micorrízicos Arbusculares no Crescimento de Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Densa. **Anais...** In: FAIC - Fórum Anual de Iniciação Científica, II Fórum Anual de Iniciação Científica, Blumenau, 2003.
- PASQUALINI D.; UHLMANN, A.; ATÜRMER, S.L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic Rain Forest in South Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 245, p. 148-155, 2007.
- POUYÚ-ROJAS, E. **Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com mudas de espécies arbóreas tropicais**. 2002, 90 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ROCHA, F.S. et al. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n.1, p.77-84, 2006.
- SETH, M.K. Trees and their economic importance. **Botanical Review**. v. 69, n. 4, p. 321-376, 2004.
- SIQUEIRA, J.O., SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Dependency of arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v.11, p. 245–255, 2001.
- SIQUEIRA, J.O. et al. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology**, v. 107, p. 241–252, 1998.