

Efeito do magnésio (Mg^{2+}) na amenização da toxidez por zinco (Zn^{2+}) em plantas ectomicorrizadas

Effect of magnesium (Mg^{2+}) in the alleviation of zinc (Zn^{2+}) toxicity in ectomycorrhizal plants

Maria Lorraine F Oliveira^{1*}, Juliana R Alexandre¹, Tamires C dos Santos¹, Gabriela C Canton¹,
Juliana M Conceição¹, Frederico J Eutrópio¹, Zilma MA Cruz¹, Leonardo B Dobbss¹, Alessandro C Ramos¹

¹ Laboratório Microbiologia Ambiental e Biotecnologia, Centro Universitário Vila Velha (UVV). Rua Comissário José Dantas de Melo, 21, Ed. Biomédicas, Boa Vista, Vila Velha-ES, CEP: 29102-770.

*Autor para correspondência: fonsecaloliveira@gmail.com

Resumo A manipulação de metais pesados vem gerando um grande número de resíduos que são lançados diretamente no ambiente. Os fungos micorrízicos demonstram resistência aos metais pesados, uma vez que auxiliam na biorremediação de solos contaminados e a recuperação vegetal dos ambientes. Estudos têm demonstrado que fungos micorrízicos aumentam a tolerância das plantas aos metais pesados, como o Zn, proporcionando, desta forma, proteção ao hospedeiro, diminuindo a translocação do metal para a parte aérea da planta. Além dos processos envolvendo a proteção pelos fungos micorrízicos, a amenização da rizotoxidez de metais pesados por magnésio (Mg) foi observada em raízes suplementadas com manganês (Mn) e zinco (Zn). A planta utilizada no experimento foi o Eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Foram quantificados o incremento do crescimento da planta, área foliar, número de folhas e diâmetro do caule, peso seco da raiz e da parte aérea, no final do experimento, o qual teve 62 dias de duração. Altas doses dos metais se mostraram tóxicas às plantas, onde nem a micorriza e nem o Mg combinados foram capazes de aliviar os efeitos do zinco em altas concentrações. O magnésio e a micorriza utilizados isoladamente, são capazes de aliviar a toxidez de elevadas concentrações de zinco em *Eucalyptus grandis*.

Palavras-chave: Biorremediação, Eucalipto, rizotoxidez, micorriza.

Abstract The handling of heavy metals has been generating a lot of waste that are dumped into the environment. The mycorrhizal fungi show resistance to heavy metals, as aid in the bioremediation of contaminated soils and vegetation recovery environments. Studies have shown that mycorrhizal fungi increase plant tolerance to heavy metals such as Zn, providing thus protect the host, reducing the metal translocation to the shoots of the plant. In addition to cases involving protection by mycorrhizal fungi, rizotoxidez alleviation of heavy

metal by magnesium (Mg) was observed in roots supplemented with manganese (Mn) and zinc (Zn). The plant used in the experiment was Eucalyptus (*Eucalyptus grandis*). We quantified the increase in plant growth, leaf area, leaf number and stem diameter, root dry weight and shoot at the end of the experiment, which was 62 days long. High doses of metals showed toxic to plants, where neither mycorrhizal nor Mg alleviate were able to combine the effects of zinc in high concentrations. Magnesium and mycorrhizal used alone, are capable of alleviate the toxicity of high concentrations of zinc in *Eucalyptus grandis*.

Keywords: Bioremediation, Eucalyptus, rizotoxidez, micorriza.

Introdução

Os metais pesados constituem elementos que possuem densidade relativa superior a $5g\ cm^{-3}$, e podem participar naturalmente da constituição de rochas e solos (Baker *et al.* 1994 Fernandes *et al.* 2006). Porém, a presença destes no solo pode se dar em decorrência de atividades antrópicas, que permitem a contaminação de ambientes antes não contaminados (Khan *et al.* 2000). A manipulação desses metais gera um grande número de resíduos que são lançados diretamente no ambiente (Pires *et al.* 2003).

Atividades como fundição, mineração, aplicações de fertilizantes minerais, descarte de pilhas e baterias em locais inadequados e utilização de lodo de esgoto contaminado como adubo orgânico tem aumentado significativamente a concentração de metais no solo, como o zinco (Zn) (Chaney 1993), onde em conjunto com uma série de agentes tóxicos, são responsáveis pela degradação de áreas e dificuldade de revegetação (Soares *et al.* 2001). Aliado ao baixo pH do solo, a biodisponibilidade deste

metal torna-se elevada e acessível à cadeia alimentar, tendo como ponto de entrada a absorção radicular (Khan *et al.* 2000).

O estudo deste elemento e de alternativas para amenizar seus efeitos no ambiente são importantes, sendo assim, a busca de organismos tolerantes (plantas e microrganismos) passa a ser uma ferramenta importante (Silva *et al.* 2010), uma vez que auxilia na biorremediação de solos contaminados e a recuperação vegetal dos ambientes (Pires *et al.* 2003).

Estudos têm demonstrado que fungos micorrízicos aumentam a tolerância das plantas aos metais pesados, como o Zn, proporcionando, desta forma, proteção ao hospedeiro, diminuindo a translocação do metal para a parte aérea da planta (Blaudez *et al.* 2000 Van Tichelen *et al.* 2001 Krupa & Kosdroj, 2004), como o fungo ectomicorrízico *Pisolithus microcarpus* que apresenta tolerância a diversos metais (Tharguetta 2008).

O gênero *Pisolithus* é o formador mais comum de associação micorrízica com *Eucalyptus* ssp. (Barros *et al.* 1978), que no Estado do Espírito Santo, é uma espécie florestal muito cultivada, devido ao seu rápido crescimento e grande rendimento econômico na produção de madeira e celulose (Rezende *et al.* 1994 Santos *et al.* 2001). Sabendo que o fungo aumenta a produtividade da biomassa vegetal, diminui os gastos com fertilizantes e ainda permite o melhor crescimento vegetal em um solo com elevadas concentrações de metal pesado, nota-se a extrema importância econômica e ambiental da interação fungo-planta (Targheta 2008).

Além dos processos envolvendo a proteção pelos fungos micorrízicos, a amenização da rizotoxidez de metais pesados por magnésio (Mg) foi observada em raízes suplementadas com manganês (Mn) e zinco (Zn) (Malcová *et al.* 2002 Pedler *et al.* 2004).

De acordo com o contexto supracitado o objetivo deste trabalho foi comprovar a eficiência do magnésio (Mg^{2+}) como mitigador no crescimento *in vivo* de *E. grandis* micorrizado com o fungo ectomicorrízico *P. microcarpus* submetido a altas concentrações de zinco (Zn^{2+}), tendo como hipótese que íons magnésio (Mg^{2+}) podem aliviar o efeito negativo da disponibilidade de altas concentrações de zinco (Zn^{2+}) durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* inoculado com *Pisolithus microcarpus* (isolado 24).

Métodos

Substrato

O experimento foi desenvolvido na casa de vegetação do Centro Universitário Vila Velha e teve duração de 62 dias.

O substrato utilizado foi composto de areia e vermiculita, na proporção 10:1. Tal combinação foi esterilizada em autoclave a 121°C por 1 hora, por duas vezes consecutivas.

Espécie florestal

A planta utilizada no experimento foi o Eucalipto (*Eucalyptus*

grandis). Antes da germinação, as sementes foram desinfetadas 5 minutos no cloro autoclavado e 3 minutos no álcool, em seguida foram lavadas com água deionizada 3 vezes. Foram produzidas 48 mudas em areia lavada e esterilizada em autoclave. Após 20 dias foram transplantadas para vasos de cultivo contendo areia e vermiculita 10:1, inicialmente com capacidade de 300 mL e posteriormente de 700 mL, e suplementadas com solução de Clark, como descrito por Clark (1975), sem a adição de micronutrientes e $MgSO_4$, com o pH 5.5-5.6, 1 vez por semana.

Inoculante ectomicorrízico

O inoculante utilizado no experimento foi o fungo ectomicorrízico *Pisolithus microcarpus*, o qual foi cultivado em 25 mL de meio MNM (Marx 1969) em placas de Petri. Após 20 dias, a ectomicorriza foi inoculada em 24 mudas de eucalipto, através do método sanduíche.

Crescimento de plantas micorrizadas e não micorrizadas

Para este estudo foram empregados substratos contendo diferentes concentrações de metais, sob condições de casa de vegetação, sendo os mesmos metais utilizados nos experimentos *in vitro*, nas combinações entre: 0 e 1000 μM de Mg com 0, 500 e 1000 μM de Zn, sendo o controle a combinação 0 μM de Mg com 0 μM de Zn, tanto micorrizado quanto não micorrizado. Os metais foram aplicados diariamente, na forma de $MgCl_2$ e $ZnSO_4$.

Foram quantificados o incremento do crescimento da planta, área foliar, número de folhas e diâmetro do caule, peso seco da raiz e da parte aérea, no final do experimento, o qual teve 62 dias de duração.

Para a análise do incremento, foi medida a altura das plantas com o auxílio de uma régua, no início e no final do experimento, foi feita a subtração da altura final com a altura inicial, e o resultado foi o incremento do crescimento das plantas.

Na análise do peso seco, a parte aérea foi separada das raízes de cada planta. As raízes foram lavadas com jatos de água destilada. Cada parte foi embalada, catalogada e seca em estufa com aproximadamente 60°C por 24 horas, posteriormente foram determinados os respectivos pesos secos em balança de alta precisão.

Análise estatística

Foram calculadas as médias de cada tratamento em todos os parâmetros avaliados, que posteriormente foram analisadas utilizando o programa STATISTICA (versão 7.0, STATSOFT, USA), nos testes ANOVA Fatorial e Tukey ($p < 0.05$)

Resultados e discussão

No experimento *in vivo* realizado com mudas de *Eucalyptus grandis* inoculado e não inoculado com o fungo ectomicorrízico *P. microcarpus*, os tratamentos não micorrizados e sem o acréscimo de Mg apresentaram média de incremento inferior ao micorrizado e/ou

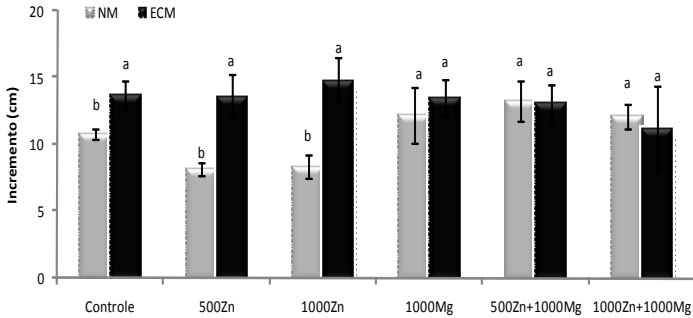


Figura 1 Média no crescimento do incremento in vivo do *Eucalyptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de μM , sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas.

com Mg, ou seja, a micorriza e o Mg, separadamente, foram capazes de aliviar a toxidez do Zn ($F=7,315$; $gl=1$; $p=0,01$). Contudo ao analisar separadamente, constata-se que nos tratamentos não micorrizados (NM), o acréscimo de Mg aliviou a toxidez do Zn, entretanto no tratamento micorrizado, nota-se que o acréscimo de Mg não interferiu na média do incremento, demonstrando então que apenas a micorriza ou apenas o Mg seriam suficientes para aumentar a resistência do eucalipto à toxicidade do Zn (Figura 1 e 2).

Um trabalho realizado por Pinto *et al.* (2009) obteve resultados semelhantes ao tratamento NM, em que plantas de *E. urophylla* em solução nutritiva, apresentaram redução linear na altura com o aumento da concentração de Zn, contudo ao adicionar o silício (Si), este parâmetro se apresenta com reduções quadráticas, indicando que a presença desse elemento foi capaz de aliviar os efeitos da toxicidade de Zn.



Figura 2 Visão final do crescimento in vivo do *Eucalyptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de μM

Pedler *et al.* (2000) explicam o efeito aliviador do Mg em um trabalho semelhante ao presente, no qual observaram que a inclusão de Mg causou aumento significativo nas concentrações de Zn nas raízes e na parte aérea de trigo e rabanete, desta forma, concluíram que o efeito protetor do Mg não era devido à sua capacidade de diminuir a absorção ou translocação de Zn, mas provavelmente, o Mg ajuda a desintoxicar o Zn internamente, como interferindo no modo de ação do efeito tóxico do Zn, ou através da promoção do seu sequestro de alguma forma, entretanto, o sequestro do Zn no vacúolo tem sido considerado uma hipótese mais plausível.

O resultado do tratamento ectomicorrizado (ECM), é diferente do encontrado por Antonioli *et al.* (2010), no qual o fungo *P. microcarpus* não foi capaz de assegurar um melhor desenvolvimento de mudas de *E. grandis* e *Peltophorum dubium* em solos com quantidades elevadas de cobre. Este resultado corrobora com o encontrado por Soares *et al.* (2007), em que a colonização de mudas de *Trema micrantha* com *Glomus etunicatum* não teve efeito protetor para planta em elevada concentração de Cd. Outro estudo mostra que 100 mg.L^{-1} de Cd inibe o efeito protetor dos fungos arbuscular *Glomus deserticola* e do saprófito *Trichoderma koningii* em soja. Este mesmo estudo mostra que os fungos não foram capazes de proteger a planta da toxicidade de 3000 mg.L^{-1} de chumbo (Pb) (Arriagada *et al.* 2004)

As menores médias de incrementos apresentadas foram nos tratamentos não-micorrizados (NM) e sem Mg, nas doses de $500 \mu\text{M}$ de Zn (8,15 cm) e $1000 \mu\text{M}$ de Zn (8,35 cm) enquanto que as maiores foram observadas nos tratamentos micorrizados (ECM), no controle e nas doses $500 \mu\text{M}$ de Zn, $1000 \mu\text{M}$ de Zn e $1000 \mu\text{M}$ de Mg (13,65, 13,63, 14,80 e 13,53 cm) respectivamente.

Na análise da média do diâmetro do caule em *Eucalyptus grandis* observa-se diferença significativa ($F=4,054$; $gl=1$; $p=0,05$) em tratamentos micorrizado e não-micorrizado. Dentre os não-micorrizados o tratamento que apresentou o maior diâmetro foi o de $1000 \mu\text{M}$ de Mg (4,70 cm) e o menor no de $500 \mu\text{M}$ de Zn (3,51 cm), entretanto, a planta inoculada com a ectomicorriza demonstrou maior diâmetro na dose de $1000 \mu\text{M}$ de Zn (4,46 cm) e o menor na concentração de $1000 \mu\text{M}$ de Mg (3,66 cm) (Figura 3).

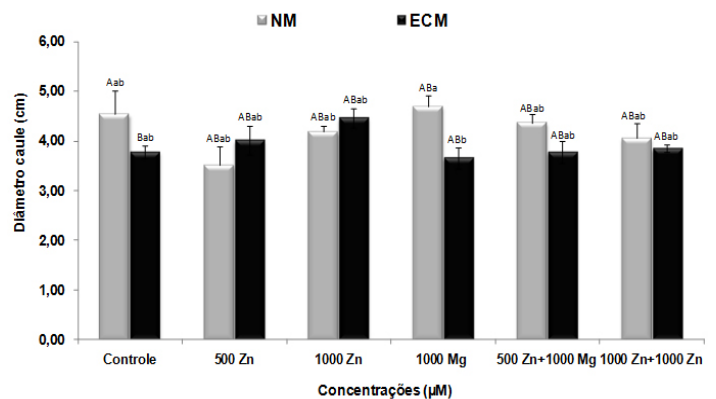


Figura 3 Média no diâmetro do caule in vivo do *Eucalyptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de μM , sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas no qual letras maiúsculas ilustram a significância de Mg e minúsculas de Zn.

A interação fungo e dose de Mg foi significativa ($F=4,212$; $gl=1$; $p=0,047$), entretanto a diferença expressou-se no controle diferente entre micorrizado e não-micorrizado, ou seja, a interferência do fungo foi mais expressiva, visto que o acréscimo de Mg não interferiu nos tratamentos. Outra interação que também se mostrou significativa foi fungo e dose de Zn ($F=4,013$; $gl=2$; $p=0,027$) sendo a dose $1000 \mu\text{M}$ de Mg diferente entre não micorrizado e micorrizado (Figura 3).

Antoniolli *et al.* (2010) testaram o efeito da inoculação micorrizica de *P. microcarpus* em duas essências florestais, *E. grandis* e *Peltophorum dubium*, e constataram que não houve interferência positiva da inoculação fúngica. Segundo esses autores, provavelmente esse fungo não é capaz de estabelecer uma simbiose perfeita com mudas de eucalipto, assim os efeitos da micorrização podem não ser claramente observados. Todavia, este resultado se difere do encontrado no atual trabalho, visto que o fungo mostra uma perfeita simbiose com o eucalipto, demonstrada na interferência do fungo no parâmetro abordado.

O zinco, em um estudo de Natale *et al.* (2004), influenciou positivamente sobre o diâmetro do caule em mudas de maracujazeiro, com o máximo desenvolvimento deste parâmetro na dose de 5 mg.dm^{-3} , fato também observado no presente trabalho, pois o Zn também teve influencia significativa no diâmetro do caule.

Na média do numero de folhas, apenas na interação fungo*Dose Mg não influenciou significativamente ($F=0,089$; $gl=1$; $p=0,77$) (Tabela 1).

Neste parâmetro, a maior média do numero de folhas foi obtida pelo tratamento micorrizado na dose de $500 \mu\text{M}$ de Zn (56 folhas), enquanto que a menor foi na dose de $1000 \mu\text{M}$ de Mg (20 folhas). Entretanto no tratamento não-micorrizado a maior média do numero de folhas foi na dose controle (36 folhas) e o menor foram nas concentrações de $1000 \mu\text{M}$ de Mg e $1000 \mu\text{M}$ de Zn+ $1000 \mu\text{M}$ de Mg (29 e 26 folhas, respectivamente) (Figura 4). Oposto ao observado tanto no tratamento ECM quanto no NM, Boaro *et al.* (1996), notou que o Mg tem a capacidade de aumentar o número de folhas, este resultado foi obtido com apenas 2,4 ppm desse mineral, na 3ª colheita realizada, entretanto na 5ª colheita, viu-se que apenas 97,2 ppm de Mg foi capaz de aumentar o numero de folhas em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Em contrapartida, Cañizares (2001) objetivando estudar o efeito da quantidade fornecida de Mg sobre o desenvolvimento de

Tabela 1 Resultados do teste de ANOVA fatorial para média do numero de folhas de *Eucaliptus grandis* micorrizados e não-micorrizados com *Pisolithus microcarpus*.

Parâmetros	Graus de Liberdade	F	p
Intercepto	1	2451.433	0.000000
Fungo	1	4.133	0.049467
Dose Mg	1	181.019	0.000000
Dose Zn	2	18.641	0.000003
Fungo*Dose Mg	1	0.089	0.766671
Fungo*Dose Zn	2	20.280	0.000001
Dose Mg*Dose Zn	2	6.439	0.004068
Fungo*Dose Mg*Dose Zn	2	24.448	0.000000

p- diferença significativa, $p < 0,05$

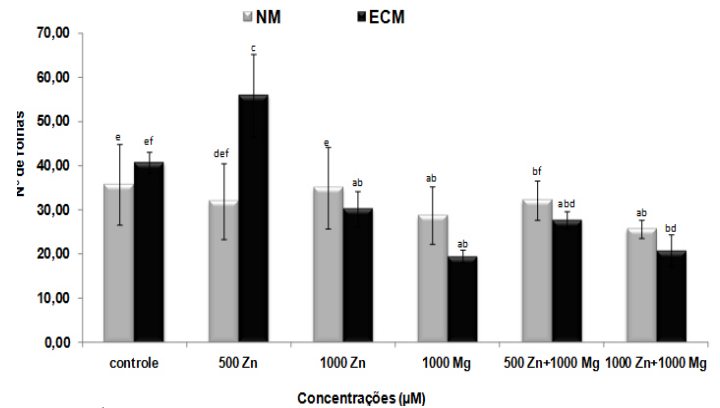


Figura 4 Média do numero de folhas *in vivo* do *Eucaliptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de μM , sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas

pepino (*Cumcumis sativus* L.), não observou efeito significativo das doses de Mg no parâmetro número de folhas.

Em um trabalho realizado por Corrêa *et al.* (2002), com aceroleira (*Malpighia glabra*) e interação de fósforo (P) e Zn, o menor número de folhas foi encontrado na dose de 5 mg.dm^{-3} de Zn e 0 mg.dm^{-3} de P, analisando desta forma, vê-se que a micorriza está amenizando a toxidez do Zn, visto que na concentração de $500 \mu\text{M}$ de Zn foi o maior resultado encontrado para numero de folhas, diferente do resultado encontrado pelo autor. Corroborando com este resultado, Lins *et al.* (2007) pesquisando o efeito de fungos micorrizicos arbusculares (FMA) no crescimento de leucena (*Leucaena leucocephala*) em solos de mineração de cobre (Cu), concluiu que plantas inoculadas em solo contaminado tiveram numero de folhas semelhantes ao tratamento em solo não contaminado, demonstrando, a capacidade micorrizica de amenizar a toxidez do Cu.

Em relação à área foliar, apenas a inoculação micorrizica influenciou significativamente no resultado ($F=8,93$; $gl=1$; $p=0,005$). O tratamento micorrizado atingiu médias superiores ao não-micorrizado, excetuando no tratamento de $1000 \mu\text{M}$ de Zn, em que a média não apresentou diferença significativa com o tratamento não-micorrizado. No tratamento micorrizado as maiores médias foram atingidas na concentração de $1000 \mu\text{M}$ de Mg ($31,59 \text{ mm}^2$) e a menor na dose de $500 \mu\text{M}$ de Zn ($17,46 \text{ mm}^2$) (Figura 5). Essa habilidade do Mg em aumentar áreas foliares é demonstrada por Pereira (2011), em um estudo com doses de Mg em

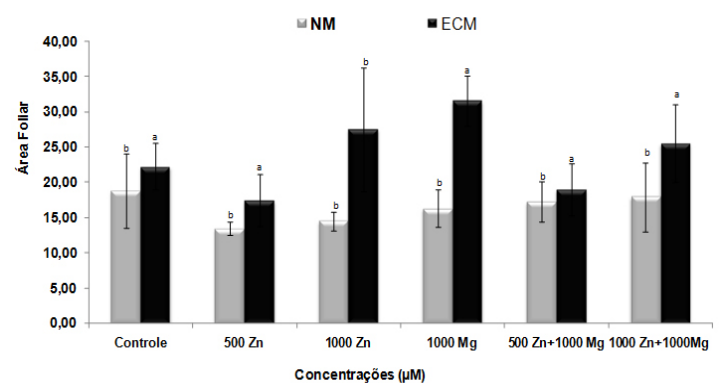


Figura 5 Média da área foliar *in vivo* do *Eucaliptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de μM , sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas.

Tabela 2 Resultados do teste de ANOVA fatorial para peso seco da parte aérea de *Eucaliptus grandis* micorrizados e não-micorrizados com *Pisolithus microcarpus*.

Parâmetros	Graus de liberdade	F	p
Intercepto	1	16754.22	0.000000
Fungo	1	2.36	0.137675
Dose Mg	1	112.57	0.000000
Dose Zn	2	4.24	0.026502
Fungo*Dose Mg	1	24.82	0.000043
Fungo*Dose Zn	2	3.12	0.062304
Dose Mg*Dose Zn	2	45.05	0.000000
Fungo*Dose Mg*Dose Zn	2	13.25	0.000133

p- diferença significativa, $p < 0,05$

solução nutritiva e capim-mombaça (*Panicum maximum*), mostra que à medida que se acrescenta Mg na solução, a área foliar sofre um aumento linear, desta forma, a maior área foliar foi atingida pelo maior valor de Mg (60 mg.L⁻¹). A inoculação micorrizica é outro parâmetro analisado que mostra capacidade de aumentar as áreas foliares em solos contaminados com metal (Oliveira *et al.* 2010).

Diferente do aqui demonstrado, Natale *et al.* (2004) ao analisar a aplicação de Zn em mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis*), viu que na dose de 5 mg de Zn dm⁻³ as plantas atingiram valores máximos de área foliar, entretanto, nas maiores doses de Zn (6 e 8 mg.dm⁻³) este parâmetro diminui.

Em relação ao peso seco da parte aérea, de todos os parâmetros analisados, apenas o fungo ($F=2,36$; gl=1; $p=0,137$) e fungo*Dose de Zn ($F=3,12$; gl=2; $p=0,062$) não se apresentaram significância (Tabela 2).

Tanto no tratamento micorrizado (ECM) como no tratamento não micorrizado (NM), a dose que apresentou maior peso seco da parte aérea foi a de 1000 µM de Zn (7,23g e 7,19g, respectivamente), em contrapartida, a dose que apresentou menor peso seco em ambos os tratamentos foi a dose de 1000 µM de Zn + 1000 µM de Mg (ECM = 4,8g e NM = 5,12g). Observa-se que nas doses controle, 1000 µM de Zn e 1000 µM de Zn + 1000 µM de Mg, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos micorrizados e não-micorrizados (Figura 6).

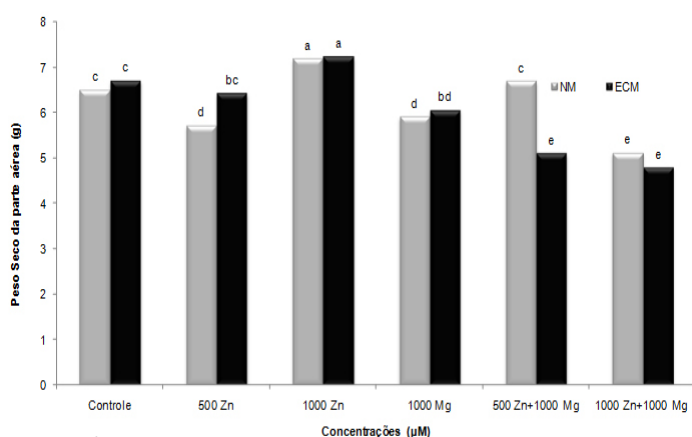


Figura 6 Média do peso seco da parte aérea de *Eucaliptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de µM, sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas.

Tabela 3 Resultados do teste de ANOVA fatorial para peso seco da raiz de *Eucaliptus grandis* micorrizados e não-micorrizados com *Pisolithus microcarpus*.

Parâmetros	Graus de liberdade	F	p
Intercept	1	10121.22	0.000000
Fungo	1	48.49	0.000000
Dose Mg	1	2.56	0.122722
Dose Zn	2	75.41	0.000000
Fungo*Dose Mg	1	189.17	0.000000
Fungo*Dose Zn	2	95.35	0.000000
Dose Mg*Dose Zn	2	4.73	0.018555
Fungo*Dose Mg*Dose Zn	2	13.68	0.000108

p- diferença significativa, $p < 0,05$

Entretanto, outros estudos mostram que o suprimento de Mg em solução nutritiva, incrementa a produção de massa seca da parte aérea, contudo existe escassez de resultados publicados com referência a influencia de Mg na produção de massa seca de plantas (Pereira 2001).

Na análise de peso seco da raiz, foram observados dois padrões no tratamento não micorrizado, sendo um sem a aplicação de Mg e outro com a aplicação, onde ocorre um decréscimo do peso seco da raiz das doses controle para 1000 µM de Zn e da dose 1000 µM de Mg para 1000 µM de Zn + 1000 µM de Mg. No tratamento micorrizado e apenas com a adição de Zn, o fungo foi capaz de aliviar a toxidez deste metal, permitindo que a planta desenvolvesse mais biomassa radicular se comparado com as plantas não-micorrizadas (Fungo: $F=48,49$; gl=1; $p=0,00001$; Fungo*Dose Zn: $F=95,35$; gl=2; $p=0,00001$), entretanto ao acrescentar o Mg, o fungo tornou-se ineficiente na aliviação, visto que as plantas não-micorrizadas obtiveram melhor desenvolvimento da raiz (Fungo*Dose Mg: 189,17; gl=2; $p=0,00001$) (Figura 7 e Tabela 3).

Pedler *et al.* (2004) encontra resultado semelhante ao tratamento NM, onde 100 µM de Mg aumentou o peso seco das raízes de trigo (*T.aestivum*) e rabanete (*Raphanus sativus*) expostas a Zn, o

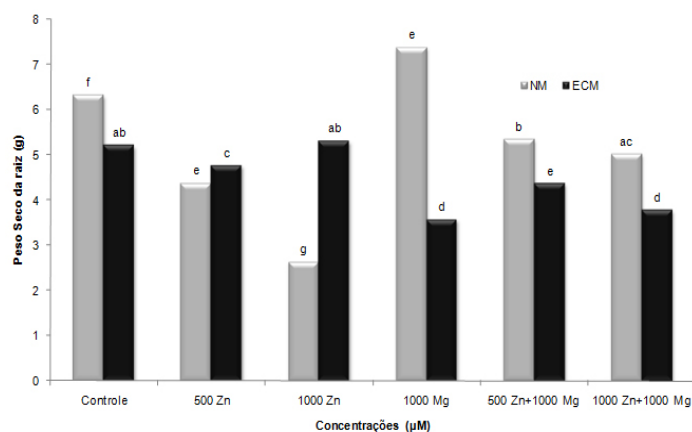


Figura 7 Média do peso seco da raiz de *Eucaliptus grandis* inoculado (ECM) e não inoculado (NM) com *Pisolithus microcarpus* em diferentes doses dos metais Zn e Mg em concentrações de µM, sendo que letras diferentes indicam diferenças significativas.

autor especula que isso ocorre porque a inibição do crescimento das raízes expostas ao Zn na ausência de Mg pode ser em parte, apenas uma deficiência do Mg induzida nos tecidos apicais.

Estudos mostram que o elemento o elemento Zn tem influencia negativa na produção de biomassa seca da raiz em diversas espécies florestais, incluindo o eucalipto, e nas doses mais elevadas desse metal, o peso seco da raiz foi quase nulo (Caires 2005 Pinto *et al.* 2009), resultado semelhante ao demonstrado nesse trabalho, em que no tratamento NM, as plantas apresentaram menor peso seco da parte aérea na concentração mais elevada de Zn (1000 μM).

Arriagada *et al.* (2007) mostraram que a inoculação de fungos micorrizicos (*G. mosseae* e *G. deserticola*) não aumentou o peso seco da raiz em *E. globulus* submetidos a diversas concentrações de Al, resultado contrário do encontrado no presente estudo, onde os fungos conseguiram aumentar a produção de massa seca da raiz de *E. grandis* em elevadas concentrações de Zn, sem a aplicação de Mg.

Objetivando avaliar a produção de massa seca em plantas em função de doses de Mg, Pereira (2001) realizou um experimento utilizando *Panicum maximum* (mombaça), e observou que o ponto de máxima produção da massa seca da raiz, foi na maior dose de Mg utilizada (60 mg L⁻¹), e a menor produção foi na omissão deste elemento, isso sugere que a massa seca da raiz é altamente dependente de Mg, como foi observado no atual trabalho nos tratamentos NM.

A hipótese nula deste trabalho foi negada, visto que o magnésio não aliviu a toxidez de altas concentrações de zinco na associação *E. grandis*-*P. microcarpus*. Entretanto observou-se que o Mg aliviu elevadas concentrações de Zn em eucaliptos sem a inoculação micorrizica, em contrapartida, a micorriza sem a aplicação de Mg foi capaz de tornar o *E. grandis* mais tolerante a toxidez do Zn.

Desta forma, conclui-se que o magnésio e a micorriza utilizados isoladamente, são capazes de aliviar a toxidez de elevadas concentrações de zinco em *Eucalyptus grandis*.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia (LMAB) do Centro Universitário Vila Velha (UVV) pelo apoio à pesquisa e por disponibilizar a estrutura para o desenvolvimento do trabalho. A FAPES pela bolsa de mestrado de Gabriela C. Canton e de IC de Maria Lorraine F. Oliveira. O Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia é suportado com recursos dos projetos universais FAPES/45434484/09 e CNPq/475436/2010-5 e também FUNADESP 09/2011.

Referências

Antoniolli ZI, Santos LC, Lupatini M, Leal LT, Schirmer GK, Redim M (2010) Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, na

- associação micorrizica e no cultivo de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliotti* Engelm e *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. *Ciência Florestal* 20: 419-428.
- Arriagada CA, Herrera MA, Borie F, Ocampo JA (2007) Contribution of arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi to the aluminium resistance of *Eucalyptus globulus*. *Water Air Soil Pollution* 182: 383-394.
- Baker AJM, McGrath SP, Sodoli CMD e Reeves RD (1994) The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metalaccumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling* 11: 41-49.
- Barros NF, Brandi RM, Reis MS (1978) Micorriza em eucalipto. *Revista Árvore* 2: 130-140.
- Blaudez D, Jacob C, Turnau K, Colpaert JV, Ahonen-Jonnarth U, Finlay R, Botton B, Chalot M (2000) Differential responses of ectomycorrhizal fungi to heavy metals in vitro. *Mycology Research* 104: 1366-1371.
- Boaro SSF, Rodrigues JD, Pedras JF, Rodrigues SD, Delachieve ME, Mischam MM (1996) Níveis de magnésio em solução nutritiva e o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca): Avaliação de parâmetros biométricos. *Scientia Agricola* 53: 254-260.
- Caires SM (2005) **Comportamento de mudas de espécies florestais nativas da fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Cañizares KAL (2001). **Enxertia, potássio e magnésio na nutrição, desenvolvimento e produção de pepino**. Tese de Doutorado. Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Horticultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".
- Chaney RL (1993). Zinc phytotoxicity. In, Robson AD. Zinc in soils and plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 135-150.
- Clark RB (1975). Characterization of phosphatase of intact maize roots. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 23: 458-460.
- Corrêa FLO, Souza CAS, Carvalho JG, Mendonça V (2002) Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de aceroleira. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24: 793-796.
- Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ (2000) Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.
- Krupa P, Kozdrój J (2004) Accumulation of heavy metals by ectomycorrhizal fungicolonizing birch trees growing in an industrial desert soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 20: 427-430.
- Lins CEL, Maia LC, Cavalcante UMT, Sampaio EVSB (2007) Efeito de fungos micorrizicos arbusculares no crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* (LAM.) de Wit. Em solo de caatinga sob impacto de mineração de cobre. *Revista Árvore* 31: 355-365.
- Malcová R, Gryndler M, Vosátka M (2002) Magnesium ions alleviate the negative effect of manganese on *Glomus claroideum* BEG23. *Mycorrhiza* 12: 125-129.
- Marx DH (1969) The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. *Phytopathology* 59: 153-163.
- Natale W, Prado RM, Leal RM, Franco CF (2004) Efeito da aplicação de zinco no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira Fruticultura* 26: 310-314.
- Oliveira DEC, Silva AV, Almeida AF, Sai EF, Junior OR (2010) Fungos micorrizicos argusculares e rizóbio no crescimento inicial de *Acacia*

- mangium* Willd. Em solo de mineração da região sudoeste do estado de Goiás. **Global Science and Technology** 3: 1-10.
- Pedler JF, Kinraid TB, Parker DR (2004) Zinc rhizotoxicity in wheat and radish is alleviated by micromolar levels of magnesium and potassium in solution culture. **Plant and Soil** 259: 191-199.
- Pereira WLM (2001) **Doses de potássio e magnésio em solução nutritiva para capim-mombaça**. Tese de Doutorado. Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba: Universidade de São Paulo.
- Pires FR, Souza CM, Silva AA, Procópio SO, Ferreira LR (2003) Fitorremediação de solos contaminados com herbicida. **Planta Daninha** 21: 335-341.
- Rezende GDSP, Bertolucci FLG, Ramalho MAP (1994) Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Cerne** 1: 045-050.
- Santos VL, Muchovej RM, Borges AC, Nevez JCL, Kasuya MCM (2001) Vesícula-arbuscular-/ecto-micorriza succession in seedlings of *Eucalyptus* spp. **Brazilian Journal of Microbiology** 32: 81-86.
- Soares CRFS, Graziotti PH, Siqueira JO, Carvalho JG, Moreira FMS (2001) Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36: 339-348.
- Soares CRFS, Siqueira JO, Carvalho JG, Guilherme RLG (2007) Nutrição fosfática em micorriza arbuscular na redução da toxicidade de cádmio em tremema [*Trema micrantha* (L) Blum.]. **Revista Árvore** 31: 783-792.
- Targhetta BL (2008) **Tolerância de fungos ectomicorrízicos e plantas associadas a níveis tóxicos de metais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Ciências Biológicas. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.