ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Fitorremediação do cobre em mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos

Roger Francisco Ferreira de Campos¹, Leyza Paloschi de Oliveira², Bianca Schweitzer³

¹Professor da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) e Mestrando pelo programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC) – Autor correspondente: roger@uiarp.edu.br, ²Professora da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) e Doutoranda pelo programa de pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), Brasil - leyza@uiarp.edu.br, ³DSC Química, pesquisadora da EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Estação Experimental de Caçador - biancaschweitzer@epagri.sc.gov.br.

Artigo recebido em 22/11/2016 e aceito em 24/04/2017

RESUMO

A fitorremediação é um processo essencial para a adaptação das plantas em área com excesso de metais pesados e xenobióticos, entre os mecanismos da fitorremediação a fitoestimulação consiste na associação de microrganismos com plantas, compondo um dos principais mecanismos de recuperação de áreas degradadas. Portanto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a interação da fitoestimulação das mudas de *Pinus taeda* associadas com os fungos ectomicorrizicos através da absorção de micro e macronutrientes. As mudas de *P. taeda* foram inoculadas com os fungos ectomicorrizicos USFC-36 (*Cenococcum geophilum* Fr.), UFSC-Rh72 (*Rhizopogon* sp.) e UFSC-Su103 (*Suillus cothurnatus* Sing.), submetida a diferentes concentrações de cobre, sob condições de viveiro. As mudas de *P. taeda* que não sofreram inoculação dos fungos ectomicorrizicos, apresentaram uma fitocapacidade somente na dose de 3 mg, em doses superiores as mudas apresentaram menos absorção do cobre. A fitoestimulação entre os fungos ectomicorrizicos UFSC-36, UFSC-Rh72 e UFSC-Su103 e as mudas de *P. taeda* apresentaram a capacidade de remediar o cobre presente em substrato. As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrizico USFC-36 foram eficientes na absorção do fósforo, contribuindo para novas pesquisas, onde se sabe que a região do meio oeste catarinense é pobre na disponibilização de fósforo no solo. Sabendo do potencial dessa associação, deve-se aprofundar estudos referente à fitoestimulação dos fungos ectomicorrizicos e a espécie *Pinus* sp.

Palavras-chave: fungos ectomicorrizicos. fitoestimulação. cobre.

Phytoremediation of copper in *Pinus taeda* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi

ABSTRACT

Phytoremediation is an essential process for adapting plants in an area with excess heavy metals and xenobiotics. Among phytoremediation mechanisms, phytostimulation consists of the association of microorganisms with plants, forming one of the main mechanisms for the recovery of degraded areas. Therefore, the objective of this work was to evaluate the phytostimulation interaction of *Pinus taeda* seedlings associated with ectomycorrhizal fungi through the absorption of micro and macronutrients. The seedlings of *P. taeda* were inoculated with the ectomycorrhizal fungi UFSC-36 (*Cenococcum geophilum* Fr.), UFSC-Rh72 (*Rhizopogon* sp.) and UFSC-Su103 (*Suillus cothurnatus* Sing.) and submitted to different concentrations of copper under conditions of nursery. The seedlings of *P. taeda*, which did not undergo inoculation of ectomycorrhizal fungi, presented a phyto-capacity only at the dose of 3 mg, at higher doses the seedlings presented less absorption of the copper. Phytostimulation among the ectomycorrhizal fungi UFSC-36, UFSC-Rh72 and UFSC-Su103 and the pine plants of *P. taeda* showed the ability to remediate copper present in substrate. The seedlings inoculated with the ectomycorrhizal fungus UFSC-36 were efficient in the absorption of phosphorus, contributing to new research, where it is known that the region of mid-west of Santa Catarina is poor in the availability of phosphorus in the soil. Knowing the potential of this association, we must deepen studies on the phytostimulation of ectomycorrhizal fungi and *Pinus* sp.

Keywords: fungi ectomycorrhizal. phytostimulation. copper.

Introdução

Um dos principais impactos ambientais no solo é a contaminação por metais pesados, essas áreas com toxicidade elevada são empregadas ao despejo incorreto de resíduos industriais (Barker et al., 1998), pela atividade agricultura e outras atividades antropogênicas. Sendo o cobre (Cu) um dos principais metais encontrados por essas atividades (Abreu et al., 2001). Os metais no solo possuem uma destinação imprescindível, quanto ao conhecimento de suas formas e as transformações no meio ambiente (Becktt, 1989).

O cobre é um metal que possui uma interação dinâmica com o solo, devido a fatores com a mineralogia, quantidade de matéria orgânica, composição química e pH, em pequenas quantidades o cobre auxilia as plantas, como catalizador das reações bioquímicas, metabolismo dos carboidratos, síntese de clorofila, síntese do nitrogênio, na constituição de proteínas (Taiz e Zaiger, 2004), ativador das atividades enzimáticas (Carneiro, 2000), fotossíntese, respiração celular (May, 1984) e contribui para a síntese da melanina (Bell e Werller, 1986).

Em altas concentrações o cobre pode agir como agente redutor da microbiota do solo (Dias-Júnior, 1998), altera as estruturas das plantas através da deficiência de interações antagônicas (Sondré e Lenzi, 2001), afeta a queda de folhas e perda de pigmentação (Targhetta et al., 2013). O processo de recuperação do solo é muito lento e alguns mecanismos são essenciais para a recuperação do mesmo. O processo de biorremediação consiste em um sistema de tratamento com recuperação significativa e de baixo custo, onde organismos vivos como plantas e microrganismos realizam a remediação de poluentes ambientais (Gaylarde, 2005; Andrade et al., 2007).

Os impactos ambientais ocasionados pelos metais pesados não devem ser determinados somente pela sua concentração e densidade total, mas pela biodisponibilidade que é determinante na sua mobilidade no solo e absorção pelas plantas (Costa et al., 2007). O mecanismo de remediação das plantas é dominado fitorremediação, no qual algumas plantas com a fitoextração possuem a capacidade de acumular poluentes em seus tecidos (Andrade et al., 2007; Menon e Schröder, 2009). Segundo Last (2000) existe mais de 400 espécies de plantas de 40 famílias variadas que possuem a capacidade de realização a fitoextração de grandes quantidades de metais pesados.

Um dos mecanismos da fitorremediação é a fitoestimulação, denominação da ação em conjunto de microrganismos e plantas, que de forma direta ou indireta, contribui um com o outro Campos, R.F.F.; Oliveira, L.P.; Schweitzer, B.

para a extração dos agentes poluentes do solo (Andrade et al., 2007). Os Fungos Ectomicorrizicos (fECM) desenvolvem-se em associação mutualística com as raízes da espécie *Eucalyptus sp.* (Smith e Read, 2008) e *Pinus sp.* formando micorriza (Bellei et al., 1992; Oliveira et al., 1997; Oliveira, 2004; Smith e Read, 2008).

Segundo Targhetta et al. (2013) mudas de *Eucalyptus dunni* quando inoculados com fECM apresentara, maior sobrevivência e crescimento em substrato contendo 0, 10, 100 e 1000 mg.kg⁻¹ de alumínio, cromo, cádmio e manganês. Segundo Alexandre et al. (2012) o *Eucaliptuss sp.* é uma espécies tolerantes a metais pesados, e quando inoculadas com os fECM apresentam características de fitoestimulação, sendo um alternativa viável para áreas contaminadas com metais pesados.

Os fECM são tolerantes a metais pesados (Grazziotti et al., 2001), devido a quelação intracelular, mecanismos de detoxiação e tolerância dos efeitos tóxicos dos metais (Hall, 2002). A biorremediação realizada pelas micorrizas auxilia na fitorremediação das mudas, consequentemente realiza uma maior extração de metais do solo (Silva et al., 2006), devido ao aumento da produção de biomassa vegetal, o qual é um fator essencial para que ocorra a fitorremediação dos solos (Alexandre et al., 2012).

O *Pinus sp.* compõem 2,8 hectares de plantação no território brasileiro (Alves et al., 2003), estando em sétimo no ranking mundial de reflorestamento (PROGRAMA NACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2014). Sabendo que o *Pinus sp.* possui interação mutualística com os fungos ectomicorrizicos e que apresenta uma boa adaptação ecológica em diferentes condições edafoclimáticas no Brasil, deve-se buscar alternativas sustentáveis para o desenvolvimento dessa espécies, quanto em viveiro e a campos. Assim, objetivou-se por meio deste trabalho analisar a fitorremediação do *Pinus taeda* inoculado e não inoculado com fungos ectomicorrizicos sob diferentes concentrações de cobre.

Material e métodos

Foram utilizados isolados de fungos ectomicorrizicos, UFSC-36 (*Cenococcum geophilum* fr.), UFSC-Rh72 (*Rhizopogon sp.*), UFSC-Su103 (*Suillus cothumatus* Sing.), obtidas junto à coleção de culturas de fungos ectomicorrizicos do laboratório de Ectomicorrizas da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. O primeiro fECM é proveniente de frutificações coletadas em plantações de *Fugus sylvatica* em Champenoux – França e os dois

últimos são provenientes de plantações mistas de *Pinus sp.* em Santa Catarina.

O metal empregado no estudo foi o cobre na forma de CuSO_4 , nas concentrações de 0;1,5; 3,0; 6,0 e 24 mg. O substrato é constituído de uma mistura de turfa e vermiculita na proporção de 4:1 (v/v), sendo submetido a um ciclo de autoclavagem (120°C por 60min) para esterilização. Após o resfriamento do substrato foi realizado a adubação com o adubo Osmocote Mini Prill (5m) na dosagem de 7,5g para cada 5l de turfa e vermiculita e adicionado os FECM na forma de alginato de cálcio, esta composição foi distribuída proporcionalmente em recipientes cônicos de PVC (tubetes de 60 ml), previamente desinfetados com solução a 1% de hipoclorito de sódio, durante 12 horas e enxaguados com água destilada. Cada um deles recebeu duas sementes de *P. taeda*.

As sementes de *P. taeda* utilizadas no estudo são provenientes da segunda geração do reflorestamento da empresa ADAMI S/A de Caçador-SC. Para o desenvolvimento utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial compreendendo um metal em cinco doses, com 77 tubetes para cada dose, compondo 1540 tubetes no experimento.

Os substratos foram regados diariamente como o processo automático de irrigação da empresa ADAMI S/A, mantidas em viveiro durante seis meses. Após realização da parte experimental em viveiro, foram sorteadas 22 mudas de *P. taeda* e levadas para o laboratório de ensaios químicos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI (Caçador-SC), para análise de micro (Cu) e macronutrientes (N e P).

As raízes foram separadas da parte aérea da planta, mantidas em estufa (Marconi modelo MA

037) com circulação forçada de ar quente (60°C) por três dias. As amostras secas foram moídas em moinhos tipo Willey, com facas e câmeras de aço inoxidável com peneiras de 0,5 mm. A concentração do cobre foi determinada por espectrometria de absorção atômica (Perkin Elmer modelo AA 200), após digestão nitroperclórica ($\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ 6:1). Do extrato da digestão também foi determinado a concentração de fósforo através do método espectrofotométrico, usando molibdato e vanadado em meio ácido, formando um complexo de coloração amarela que absorver na região de 420 nm (Schveitzer e Suzuki, 2013). Foi determinada a concentração de nitrogênio pelo método Kjeldhal (AOAC, 2007).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.7 beta (Silva e Azevedo, 2009).

Resultados e discussão

A fitorremediação do cobre na parte aérea das mudas de *P. taeda* aumenta conforme a concentração do cobre com alguns isolados fungicos (Tabela 1). As mudas que sofreram inoculação dos fungos ectomicorrizicos apresentaram maior absorção de cobre nas dosagens de 0 e 6 mg do que a testemunha. Na dosagem de 24 mg não obteve desenvolvimento das mudas.

A Tabela 1 apresenta a absorção de cobre na parte aérea das mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os FECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 1. Análise do cobre na parte aérea das mudas de *Pinus taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrizicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE COBRE NA PARTE AÉREA				
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
UFSC-36	0,13	0,06	0,02	0,10	0,08 a
UFSC-Rh72	0,05	0,06	0,08	0,10	0,07 a
UFSC-Su103	0,08	0,14	0,13	0,17	0,13 a
Testemunha	0,06	0,11	0,16	0,09	0,11 a
----- mg.L ⁻¹ -----					
Média*	0,08 A	0,09 A	0,09 A	0,11 A	

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrizico UFSC -103 apresentou maior fitorremediação com a concentração de 6 mg. As mudas inoculadas com os fungos

ectomicorrizico UFSC-36 e UFSC-Rh72 apresentaram menor acumulo na parte aérea com a dosagem de 1,5 e 3 mg de cobre e a menor fitorremediação na dosagem de 6 mg em um

comparativo com as mudas inoculadas. As mudas que receberam o inoculo micorrizico dos fECM UFSC-Rh72, apresentaram menor fitodisponibilidade de cobre na parte aérea com as dosagens de 0, 1,5 e 3 mg do que a testemunha.

A Tabela 2 apresenta a absorção de cobre nas mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os fECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 2. Análise da fitorremediação do cobre nas raízes das mudas de *P. taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrizicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE COBRE NA RAIZ				
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
UFSC-36	0,14	0,35	0,44	0,44	0,34 a
UFSC-Rh72	0,15	0,43	0,82	0,63	0,51 a
UFSC-Su103	0,32	0,36	0,50	0,81	0,50 a
Testemunha	0,17	0,29	0,42	0,37	0,31 a
----- mg.L ⁻¹ -----					
Média*	0,19 B	0,36 AB	0,55 A	0,56 A	

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As mudas que foram inoculadas com fungo ectomicorrizico UFSC-72 apresentou maior absorção de cobre na raiz do *P. taeda* sob as concentrações de 1,5 mg e 3 mg. As mudas que sofreram a inoculação do fungo UFSC-103, apresentou maior absorção de cobre na concentração de 6 mg de cobre.

As mudas de *P. taeda* que foram inoculados com fECM, apresentaram maior absorção de cobre nas raízes quando submetida a diferentes concentrações de cobre do que a testemunha. Segundo Smith e Read (1997) e os fungos ectomicorrizico auxiliam as mudas na absorção de metais pesados quando submetida à em diferentes concentrações nas raízes. Segundo Campos et al. (2017) mudas de mudas de *P. taeda* Pinus taeda inoculadas com fECM apresentaram maior sobrevivência do que mudas não inoculadas submetidas a diferentes concentrações de cobre. Targhetta et al. (2013) observou essa características em mudas de *Eucalyptus dunnii* quando submetidas a estresse por metais pesados. Em um estudo de levantamento de micronutrientes no solo de uma plantações de *Pinus caribea*, apresentaram se obteve uma média de 15 ppm de cobre em Latossolo amarelo, porem as dosagens do

tecido não foram adequadas para dosar o nível de cobre da parte aérea e raízes (Chaves e Corrêa 2003).As mudas de *P. taeda* apresentam menor absorção de cobre na parte aérea do que nas raízes da mudas inoculadas e não inoculadas. Essas características foram observadas em um estudo de absorção de cobre em mudas de *P. caibaea* sob emissão de diferentes soluções nutritivas (Haag et al., 1991) Segundo Lastra et al. (1988) o acumulo de teores de cobre na raiz da espécie *Pinus* sp. é maior que a parte área, devido a ação do mecanismo protetor da espécie contra o aumento destes elementos nas acículas para não afetar o sistema fotossintético das plantas. Chandra et al (2010) complementa que ácidos orgânicos presentes nos exsudatos das raízes, realizam a ligação com ácidos limitando a movimentação do metal para a parte aérea. Neste estudo, observou-se que a fitoestimulação ocorre, devido às mudas da testemunha mostram menos absorção de cobre do que as mudas inoculadas com os fungos ectomicorrizicos.

A Tabela 3 é apresentada a absorção do nitrogênio nas mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os fECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 3. Análise do nitrogênio (N) da parte aérea das mudas de *P. taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrizicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE NITROGÊNIO NA PARTE AÉREA				
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
UFSC-36	14,00	18,48	12,99	15,12	15,15 a
UFSC-Rh72	12,25	19,25	14,67	11,83	14,50 a
UFSC-Su103	17,50	16,80	21,00	15,47	17,69 a
Testemunha	17,01	18,79	18,79	15,54	17,53 a
----- g.kg ⁻¹ -----					

Média	15,19 A	18,33 A	16,86 A	14,49 A
-------	---------	---------	---------	---------

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As mudas inoculadas com os fungos ectomicorrizicos UFSC-36 apresentou menor concentração de nitrogênio na parte aérea das mudas do que a testemunha. As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrizico UFSC-103 apresentou maior presença de nitrogênio na parte área com as doses de 0 mg e 3 mg de cobre do que os demais fungos ectomicorrizicos e testemunha.

As mudas inoculadas com os fungos ectomicorrizicos UFSC-72 e testemunha apresentaram maior valor de nitrogênio na concentração de 1,5 mg de cobre.

A Tabela 4. apresenta a absorção do nitrogênio nas raízes das mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os fECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 4. Análise do nitrogênio (N) da raiz das mudas de *P. taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrizicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE NITROGÊNIO NA RAIZ				Média
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	
UFSC-36	15,30	17,50	14,70	15,80	15,83 a
UFSC-Rh72	12,30	17,90	12,60	15,20	14,50 a
UFSC-Su103	16,90	13,70	13,70	17,20	15,38 a
Testemunha	17,40	16,80	11,90	16,20	15,38 a
----- g.kg ⁻¹ -----					
Média	15,45 A	16,45 A	13,20 A	16,08 A	

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As mudas inoculadas com os fungos ectomicorrizicos UFSC-36 apresentaram maior valor de nitrogênio na raiz na dosagem de 3 mg do que os demais fungos ectomicorrizicos estudados.

As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrizico UFSC-72 apresentou maior valor de nitrogênio nas raízes com a dosagem de 1,5 mg de cobre. As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrizico UFSC-103 apresentou maior valor de nitrogênio na dosagem 6 mg de cobre em um comparativo com os demais fECM.

Nesse estudo, observou-se que a presença do cobre no substrato das mudas de *P. taeda* inoculadas com os fECM proporciona maiores teores de nitrogênio na parte aérea do que as mudas

que não sofreram inoculação, essa característica também pode ser observada na testemunha. Segundo Carneiro (2000) o nitrogênio é um macronutriente necessário para o processo de desenvolvimento das plantas, sendo responsável pelo crescimento da planta, pela produção de novas células, e é um importante componente da clorofila, enzimas, proteínas estruturais, ácidos meólicos e outros componentes orgânicos (Epstein e Blomm, 2006).

A Tabela 5. apresenta a absorção do nitrogênio na parte aérea das mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os fECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 5. Análise do fósforo (P) da parte aérea das mudas de *P. taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrizicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE FÓSFORO NA PARTE AÉREA				Média
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	
UFSC-36	5,53	5,63	5,67	4,89	5,43 a
UFSC-Rh72	5,58	6,35	5,50	5,18	5,65 ab
UFSC-Su103	5,96	6,85	6,46	5,83	6,73 a
Testemunha	5,47	6,02	5,66	5,76	5,73 ab
----- g.kg ⁻¹ -----					
Média	5,63 A	6,21 A	5,82 A	5,41 A	

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrízico UFSC-103 apresentaram maior valores de fósforo em todas as doses de cobre na parte aérea do que a testemunha.

Segundo Barbieri et al. (2011) o fungo micorrízico facilita a absorção de fósforo pela mudas de *Bixa orellana* L., conhecida popularmente como urucum, atendendo a sua exigência em relação a necessidade do nutriente.

As mudas inoculadas com fECM UFSC-36 apresentaram menor absorção de fósforo do que a testemunha na parte aérea da planta na dosagem de 6mg. A inoculação do fECM UFSC-72 em mudas de *P. taeda* apresentou maior valor na dosagem 1,5 mg comparado com a testemunha na análise aérea. Pode ser observado na testemunha que as mudas de *P. taeda* quando inoculadas com os fungos ectomicorrízicos proporcionam maiores quantidades de fósforo para as plantas. Os fECM UFSC-Su103 apresentou maior potencial de absorção de fósforo para as mudas de *P. taeda* quando submetido à diferentes concentrações de cobre.

O fECM UFSC-Su103 apresentou maior eficiência na absorção de nitrogênio na parte aérea como nas raízes das mudas. O estudo mostra que

quanto maior a dose de cobre, menor é a retenção de cobre na parte aérea das mudas. A inoculação de fungos micorrízicos na soja aumenta a concentração de nitrogênio da parte aérea das plantas (Bressan e Siqueira, 2001). Os fungos ectomicorrízicos contribuem com a disponibilização e na absorção de nitrogênio (Tibbett e Sanders, 2002). Na medida em que os microrganismos do substrato decompõem a matéria orgânica, vai ocorrendo a liberação de amônia. Na presença de bases, essa oxidação é maior, produzindo íons nitrato. Em solos florestais esta reação é lenta visto que a maioria deles é carente em bases (Carneiro, 2000).

O fósforo é um macronutriente importante para o desenvolvimento de mudas (Carneiro et al., 1996), sua disponibilidade natural é muito pequena (Neves et al., 1990). As mudas inoculadas com os fungos ectomicorrízicos UFSC-72 e UFSC-113 e a testemunha sem inoculação apresentaram parâmetros iguais de fósforo na curva das análises aérea das mudas.

A Tabela 6 apresenta a absorção do nitrogênio na raiz das mudas de *P. taeda* inoculadas e não inoculadas com os fECM sobre diferentes concentrações de cobre.

Tabela 6. Análise do fósforo (P) da raiz das mudas de *P. taeda* que receberam diferentes concentrações de cobre, com inoculação de fungos ectomicorrízicos e testemunha.

Isolado/Concentração	ANÁLISE DE FÓSFORO NA RAIZ				
	0 mg	1,5 mg	3 mg	6 mg	Média
UFSC-36	12,34	12,91	12,93	11,84	12,51 a
UFSC-Rh72	9,77	10,83	9,86	9,73	10,05 b
UFSC-Su103	10,09	10,28	9,88	9,64	9,97 b
Testemunha	10,40	10,10	9,54	9,79	9,96 b
	----- g.kg ⁻¹ -----				
Média	10,65 A	11,03 A	10,55 A	10,25 A	

*Valores seguidos pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As análises de absorção de fósforo nas raízes do *P. taeda* foram superiores as encontradas na parte aérea das mudas. As mudas inoculadas com o Fungo UFSC-72 apresentaram menor valor de fósforo na dose de 3 mg. As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrízico UFSC-103 apresentaram um valor inferior na dosagem de 6 mg perante os outros testes inoculos. A testemunha apresentou um valor inferior de fósforo nas dosagens de 1,5 mg e 3 mg de cobre que os fECM.

Observou-se que as mudas que sofreram inoculação do fungo ectomicorrízico UFSC-36, apresentaram o maior nível de fósforo nas raízes. Segundo Tibbett e Sanders (2002), os fungos ectomicorrízicos influenciam na disponibilização do fósforo para as mudas.

Campos, R.F.F.; Oliveira, L.P.; Schweitzer, B.

Características de maior absorção de fósforo pelo fungo ectomicorrízico UFSC-36, podem ser comprovados devido à maior ramificação das raízes com o micélio externo e o efeito solubilizado dos fungos ectomicorrízicos sobre fosfato orgânico presente no substrato (Souza et al., 2004).

Segundo Griffiths e Caldwell (1992), fungos ectomicorrízicos podem mineralizar o fosfato orgânico do solo com a produção de fosfatases. Conforme Souza et al. (2004) os fungos ectomicorrízicos *Chondrogaster angustisporus* e *Pisolithus microcarpus* auxiliaram a absorção de fósforo e no crescimento de mudas de *E. dunnii*. Segundo Oliveira (2004) os fungos ectomicorrízicos são capazes de colonizar o

sistema radicular das mudas de *P. taeda*, mas diferem entre si no crescimento e nutrição das plantas.

Alguns fECM promovem maior acúmulo de fósforo na parte aérea de mudas de *P. taeda* (Oliveira, 2004). Segundo Hagg (1991) o excesso de cobre pode alterar os níveis de nitrogênio e fósforo no *Pinus sp.* Essa característica foi observada nas mudas que não sofreram inoculação de fungos ectomicorrizicos. A inoculação dos fungos ectomicorrizicos UFSC-36, UFSC-72 e UFSC-113 no *P. taeda* deixaram as mudas menos suscetíveis na alteração de fósforo. Porém, essas características não foram observadas nas análises de nitrogênio.

Observou-se a fitorremediação nas doses de 0 mg, 1,5 mg e 3 mg, porém a capacidade de fitoextração do *P. taeda* diminuiu na dosagem de 6 mg de cobre, mostrando sua fitocapacidade. Tsutiya (1999) descreve que o cobre é um dos metais pesados que apresenta menor risco ao meio ambiente em pequenas concentrações, sendo aceitáveis em solos agrícolas. Kabata-Pendias e Pendias (2001) descreve que o cobre em pequenas concentrações apresenta ser um componente importante na nutrição das plantas, em concentrações mais elevadas exercem um efeito negativo sobre a biosfera. Souza et al (2004) em um estudo de análise de diferentes concentrações de fósforo, apresenta que fungos ectomicorrizicos tende a se desenvolver melhor em pequenas quantidades de fósforo. Essa característica também foi observada na inoculação de fECM em mudas de *P. taeda* (Oliveira, 2004).

O *Pinus sp.* possui a capacidade de acumular o cobre nas paredes das células radiculares conhecida como as fitoquelatinas, como complexos funcionais de átomos de nitrogênio ou sulfatos em peptídeos de metais pesados (Lastra et al., 1988). Segundo Mench e Martin (1991) as raízes podem liberar fitossideróforos que complexam fortemente com o cobre, auxiliando na imobilização em substrato.

Pesquisas desenvolvidas com espécies de reflorestamento vêm sendo desenvolvidas para uma melhor sobrevivência em viveiro e a campo. Segundo Soares (1999), espécies de *Eucalypto maculata* e *Eucalypto urophylla* definiu que a concentração crítica dessas espécies é 12,2 mg/kg em níveis de cobre. Por sua vez, o cobre é um metal passíveis de recuperação com o mecanismo da fitorremediação, característica atribuída por possui pouca mobilidade na rizosfera (Andrade et al., 2007).

Conclusões

As mudas que sofreram inoculação do fECM do UFSC- 36 (*Cenococcum geophilum* Fr.) foram mais eficientes na absorção de fósforo (P), esta inoculação é indicado para solos com baixa disponibilidade deste nutriente. As mudas que sofreram inoculação do fECM UFSC- 113 (*Suillus jcothurnatus*) foram mais eficientes na fitoestimulação do cobre, sendo o fungo mais indicado nas concentrações altas de cobre. O fungo fECM UFSC-72 (*Rhizopogon sp.*) é indicado para o uso nas baixas dose de cobre, apresentando um potencial na absorção de cobre e nitrogênio na dosagem de 1,5 mg.

Os resultados obtidos na inoculação de fungos ectomicorrizicos em mudas de *Pinus taeda* são favoráveis para os sistemas de reflorestamento e produção em viveiro, já que essa metodologia proporciona menos danos ao meio ambiente, por permitir a manutenção da microbiota do solo, que contribui para o processo de descontaminação do solo, porém necessita de um aprimoramento nas análises de fitorremediação ideal do cobre pelo o *P. taeda*.

Agradecimentos

À empresa ADAMI S/A MADEIRAS, pela disponibilização da utilização do viveiro. À EPAGRI pela disponibilização do laboratório de Análise Química e a UFSC pela disponibilização dos inoculos fúngicos. Ao Programa de Bolsas Universitárias do Estado de Santa Catarina (UNIEDU) pelo fornecimento de bolsa para realização deste trabalho.

Referências

- Abreu, C.A., Abreu, M.F., Andrade, J.C., 2001. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usados a solução DTPA em Ph 7,3. In: Ray (Ed) Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agropecuário, 251-261.
- Alexandre J.R., Oliveira M.L.F., Santos, T.C., Canton G.C., Conceição, J.M., Eutropio, F.J., Cruz, Z.M.A, Dobbss, L.B., Ramos, A.C., 2012. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. Natureza on line 10 , 23-28.
- Alves, A.G.M.P., Silva, C.A.V., Santos-Junior, E.R., Moisés, L.G., Pereira, M.C.S., Bremer, O.A., 2003. Florestamento na região sul do Brasil: Uma análise econômica. Porto Alegre: BRDE.

- Andrade, J.C.M., Tavares, S.R.L., Muhler, F.C., 2007. Fitorremediação - O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental, São Paulo, Editora Oficina de Textos.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2007. Official methods of analysis. 18.ed. Washington.
- Barbieri, D.J., Braga, L.F., Sousa, M.P., Roque, C.G., 2011. Análise de crescimento de *Bixa orellana* L. sob efeito da inoculação micorrízica e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de plantas medicinais*. [online].13, 129-138.
- Barker, S.J., Tagu, D., Delp, G., 1998. Regulation of root and fungal morphogenesis in mycorrhizal symbioses. *Plant Physiology*, Rockville, 116, 1021-1207.
- Beckett. P.H., 1989. The use of extractants in studies on traces metais in soll. Sewage sluge, on sludge-treated soil. *Advances in Soil Science*, 9, 143-176.
- Bell, .A.A., Wheeler, M.H., 1986. Biosynthesis and functions of fungal melanins. *Phytopatholog* 24, 411-451.
- Bellei, M.M., Garbaye, J., Gil, M., 1992. Mycorrhizal succession in young *Eucalyptus viminalis* plantations in Santa Catarina (Southern Brazil). *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 54, 205-213.
- Bressan, W., Siqueira, J.O., Vasconcellos, C.A., Purcion, A.A.C., 2001. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 36, 315-323.
- Brunner, I., 2001. Ectomycorrhizas: their role in forest ecosystems under the impact of acidifying pollutants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Zürich, 4, 13-27.
- Campos, R.F.F., Oliveira, L.P., Schweitzer, B., 2017. Tolerância do *Pinus teada* inoculado com fungos ectomicorrízicos (fECM), sob diferentes concentrações de cobre. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 512-520.
- Carneiro, J.G.A., 2000. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF.
- Carneiro, M.A.C., Davide, J.O.S.A.C.D., Curi, L.J.G.N., Vale, F.R., 1996. Fungo Micorrízico e Superfosfato no crescimento de species arboreas tropicais. *Scientia Forestalis*. 50, 21-36.
- Chandra, R.P., Abdussalam, A.K., Salim, N., Jos, P.T., 2010. Distribution of bio-accumulated Cd and Cr in two *Vigna* species and the associated histological. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, India, 6, 4-12.
- Chaves, R.Q., Corrêa, G.F., 2003. Micronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. *Revista Árvore*. 27, 769-778.
- Costa, C.N., Meurerll, J.E., Bissanill, C.A., Tedesco, M.J., (2007) Fracionamento de Cádmiu e Chumbo em solos. *Revista Ciência Rural*, 37, 1323-1328.
- Dias-Júnior, H.E, Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Silva, R., 1998. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de industrias de zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 22, 631-640.
- Epstein, E., Blomm, A.J., 2006. Nutrição mineral das plantas. 2 Edição, Editora Planta.
- Gaylarde, C.C., Bellinaso, M.L., Manfio, G.P., 2005. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento*, 34, 36-43.
- Grazziotti, P.H., Siqueira, J.O., Moreira, F.M., Carvalho, D., 2001. Tolerância de fungos ectomicorrízicos a metais pesados em meio de cultura adicionado de solo contaminado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 831-837.
- Griffithes, R.P., Caldwell, B.A., 1992. Mycorrhizal mat communities in forestsoils. In: Read, D.J., Lewis, D.H.; Fitter, A.H., Alexander, I.J. (Ed.). *Mycorrhizas in ecosystems*. Wallingford: CAB International. 98-105.
- Haag, H.P., Martinez, H.E.P., Moraes, M.L.T., 1991. Micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet II. Níveis internos de cobre e boro sob suficiência e sob omissão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26, 419-430.
- Hall, J. L., 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 56, 1-11.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, pp.413.
- Last, M.M., 2000. Phytoextration of metais from cantaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, Kansas Satte University, 2, 2-5.
- Lastra, O., Chueca, A., Lechica, M., López Gorge, J., 1988. Root Uptake and Partition of Copper, Iron, Manganese, and Zinc in *Pinus radiata* Seedlings Grown under Different Copper Supplies. 132, 16-22.
- May, J.T., 1984. Basic concepts of soils management. In: SOUTHERN pine nursery handbook. USDA. For. Serv., Southern Region, Cap.1, 1-25.

- Mench, M., Martin, M., 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L., and *Nicotiana rustica* L. *Plant Soil*, 132, 187-196.
- Menon, A.R.; Schröder, P., 2009. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*. 16, 162-175.
- Neves, J.C.L., Gomes, J.M., Novais, R.F., 2001. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: Barros, N.F., Novais, R.F. (Eds.) *Relação solo-eucalipto*. Viçosa: Editora Folha de Viçosa.
- Oliveira, L.P., 2004. Produção de inoculantes, seleção e aplicação de fungos ectomicorrízicos em mudas de *Pinus taeda* L. Tese (Mestrado). Florianópolis, UFSC.
- Oliveira, V.L., Schmidt, V.D. B., Bellei, M.M., 1997. Patterns of arbuscular- and ectomycorrhizal colonization of *Eucalyptus dunnii* in southern Brazil. *Annales des Sciences Forestières*, 54, 73-461.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O AMBIENTE. Rumo a uma economia verde (Online). Disponível em: http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/GER_synthesis_pt.pdf. Acessado em 28 de Março de 2014.
- Schveitzer, B., Suzuki, A., 2013. Métodos de análise foliar utilizados no Laboratório de Ensaio Químico da Epagri/EECd. Doc. n 242.
- Silva, S.; Siqueira, O.J.; Soares, C.R.F.S., 2006. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 1749-1757.
- Silva, F.A.S., Azevedo, C.A.V., 2009. Principal components analysis in the software assistatstatistical attendance. In: *World congress on computers in agriculture*, 7, Reno-NV_USA: America Social Agriculture Biology Engineer,
- Smith, S.E., Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2. ed. London: Academic Press.
- Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, London: Academic Press.
- Soares, C.R.F.S. 1999. Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Sodré, F.F., Lenzi, E., 2001. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. *Química Nova*. 24, 324-330.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2004. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed.
- Targhetta, B.L., Oliveira, V.L., Rossi, M.J., 2013. Tolerância de fungos ectomicorrízicos e plantas associadas a níveis tóxicos de metais. *Revista Árvore*, 37, 825-833.
- Tibbett, M., Sanders, F.E., 2002. Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality. *Annals of Botany*, Oxford, 89, 783-789.
- Tsutiya, M.T., 1999. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In.: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.753-761.