



Potencial de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* para fitoextração de arsênio

R. F. Melo¹, L. E. Dias²; W. G. Nunes³ & R. W. Veloso⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, para fitorremediação de solos contaminados por arsênio. Amostras de solo foram incubadas por período de 15 dias com doses crescentes de arsênio (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de As disponível), como fonte utilizou-se o arsenato de sódio (Na₂HAsO₄). O ensaio foi conduzido por um período de 90 dias após o transplântio. Após 30 dias de exposição o *E. cloeziana* exibiu pontuações arroxeadas nas folhas basais com clorose internerval seguida de necrose e morte da gema apical na dose de 400 mg dm⁻³. As doses crescentes de arsênio no solo reduziram significativamente a produção de matéria seca de raízes e parte aérea, altura e diâmetro de planta das ambas às espécies, sendo mais acentuada nas plantas de *E. cloeziana*. Para as espécies, os maiores teores de As foram observados no sistema radicular, com maiores valores para *E. cloeziana* (305,72 mg kg⁻¹) na dose de 400 mg dm⁻³, sendo que o maior acúmulo de As foi observado nas plantas *E. grandis*, que demonstrou ser uma espécie com potencial para fitoextração de arsênio, com tendências de acumulação no sistema radicular e no caule.

Palavras chave: Fitorremediação, Arsenato, Toxicidade.

Introdução

A destruição da cobertura vegetal em áreas contaminadas agrava a degradação do solo, promovendo erosão hídrica e eólica e a lixiviação dos contaminantes para o lençol freático, desencadeando progressivo grau de contaminação de outras áreas. A recuperação desses ambientes exige estudos de diversas naturezas sobre o solo, a vegetação e a água [1] e se tratando de revegetação, baseia-se em encontrar plantas tolerantes aos contaminantes. Estudo sobre a viabilidade de espécies arbóreas para a reabilitação de áreas contaminadas, em especial por arsênio (As), tem merecido destaque, devido a grandes catástrofes ocorridas por contaminação com As em vários países do mundo, com morte de milhares de pessoas e animais, e sérios problemas de saúde na humanidade.

Estudo do potencial de espécies vegetal para fitorremediação de As, poderá reduzir os sérios problemas causados por este metalóide, por meio da

absorção e imobilização na planta. No caso de espécies arbóreas, o conhecimento dos padrões de absorção, translocação e acúmulo de íons metálicos, com estabelecimento dos limites de tolerância, permitem o desenvolvimento de técnicas para a fitorremediação de áreas contaminadas por tais elementos [5].

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento, teores, acúmulo e distribuição de arsênio em diferentes partes das plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. cloeziana* F. Muell, bem como, o potencial dessas para uso em programas de fitorremediação de solos contaminadas por arsênio.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, utilizando mudas com três meses de idade de *Eucalyptus grandis*, *E. cloeziana*.

Amostras subsuperficiais de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) foram destorroadas, peneiradas (4 mm) e analisada (Tabela 1). Amostras de solo foram incubadas por 15 dias (80 % de umidade) com diferentes doses de arsênio nas concentrações de 0; 50; 100; 200 e 400 mg dm⁻³, na forma de arsenato de sódio (Na₂HAsO₄). Testes preliminares indicaram que a disponibilidade foi de 12,9; 26,8; 58,7 e 128,8 mg dm⁻³, respectivamente, de As pelo extrator Mehlich-3.

Após o período de incubação, amostras de 1,94 dm³ de solo foram acondicionadas em vasos plásticos. Aos três meses após a germinação as mudas foram padronizadas quanto à altura e vigor, em seguida retirou-se o excesso do substrato e realizou-se o transplântio colocando uma planta por vaso. As unidades experimentais foram dispostas em um delineamento em blocos casualizados com três repetições. Durante o período experimental as temperaturas variaram de 22,4 a 38,3 °C e a variação mensal de umidade relativa foi de 38,6 a 70,0 %.

A adubação com macro e micronutrientes foi realizada na forma de soluções, as quais foram parceladas equitativamente em três aplicações, sendo a primeira no dia do transplântio, a segunda aos 30 dias e a terceira aos 65 dias após o transplântio. A adubação com macronutrientes constou da aplicação de 100 mg dm⁻³ de N, 150 mg dm⁻³ de P, 100 mg dm⁻³ de K, 150 mg dm⁻³ de Mg, 16 mg kg⁻¹ de S. Quanto aos micronutrientes foram aplicadas doses totais equivalentes a 0,81; 3,66, 4,00; 1,33; 0,15 e 1,56 mg dm⁻³ de B, Mn, Zn, Cu, Mo e Fe, respectivamente [2].

As plantas foram irrigadas diariamente conforme a necessidade da cultura e determinadas às medidas de altura

e diâmetro no momento do plantio e aos 90 dias após o mesmo. Aos 90 dias de exposição ao As, as plantas foram coletadas e separadas em folhas jovens (FJ), folhas intermediárias (FI), folhas basais (FB), caule (C), ramos (Ra) e raízes (R). As raízes foram lavadas com água de torneira até a retirada completa do solo, e após esse procedimento permaneceu por aproximadamente 1 minuto em solução a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl, seguida de vários enxágües com água deionizada. As plantas foram secas e determinados os pesos de matéria seca.

Para determinar a concentração de As nas diferentes partes das plantas, amostras de 1 g de material seco e finamente triturado foram submetidas à digestão nítrico-perclórica [7], em bloco digestor, controlando-se a temperatura atingindo no máximo 180°C . A quantificação dos teores de arsênio nos extratos de plantas foi realizada por espectrometria de emissão atômica, com plasma induzido em argônio (ICP/AES), no comprimento de onda de 193 nm. Para fins de avaliação da eficiência do método de determinação de As em material vegetal foi utilizado um padrão GBW07603 de referência de As, composto por ramos e folhas de arbustos cultivadas em áreas de mineração de zinco e chumbo na China, adquirida do Institute of Geophysical and Geochemical Exploration-Langtang-China. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e para as médias foi submetida à análise de regressão.

Resultados e Discussão

Verificou-se que apenas as plantas de *E. cloeziana* exposta a maior dose de As apresentaram lesões foliares, resultante da toxicidade ao As aos 8 dias de exposição, apresentando folhas basais arroxeadas com clorose internerval, seguida de necrose, sintomas típicos de toxidez por As [6]. Contudo, devido ao grande intervalo existente entre as doses fazem-se necessários estudos complementares para determinar a dose máxima de tolerância para esta espécie, que provavelmente, esteja entre 200 a 400 mg dm^{-3} , já que na dose de 200 mg dm^{-3} as plantas não emitiram sintomas foliares de toxidez. Já as plantas de *E. grandis* demonstraram serem tolerantes suportando doses elevadas de As, sem a manifestação de lesões foliares.

Foi possível constatar ganho na produção de matéria seca, de tal forma que o *E. grandis* apresentou maior produção de matéria seca, com ganho na parte aérea de 21 % e 8 %, nas doses de 50 e 100 mg dm^{-3} e no sistema radicular de 5 % e 6 %, respectivamente em relação à planta controle. Esses resultados corroboram com os encontrados por Tu et al., [8], que constataram aumento de até 107 % na produção de matéria seca em plantas de *Pteris vittata* quando submetidas às doses de 50 e 100 mg kg^{-1} após 12 semanas de exposição. Possivelmente o aumento na matéria seca dessas plantas, tenha sido proveniente da disponibilidade de fósforo, uma vez que o arsênio pode deslocar o fósforo adsorvido no solo.

A dose de 400 mg dm^{-3} de As promoveu redução da ordem de 31 e 84 %, na produção de matéria seca da parte aérea, respectivamente para *E. grandis* e *E. cloeziana* quando comparado com a planta controle (Figura 1). As plantas de *E. cloeziana* apresentaram maiores reduções na matéria seca da parte aérea, principalmente em função da fitotoxicidade apresentada por essa espécie, quando submetida a maior dose de As.

A produção de matéria seca de raízes variou, havendo redução significativa ($p \leq 0,01$) tanto para *E. grandis*, quanto para *E. cloeziana*, ajustando-se equações do tipo linear e raiz quadrada (Figura 1). O impacto que os metais pesados exercem na produção de raízes depende da sensibilidade da planta e da intensidade de contaminação. A produção de raízes é uma característica importante quanto à fitoestabilização de As em áreas contaminadas, pois protege o solo contra erosão, reduz a lixiviação, favorece a agregação e a atividade microbiana do solo [3].

Quanto a altura das plantas houve decréscimo significativo ($p \leq 0,01$) com resposta tipo raiz quadrada e quadrática (Figura 2) para ambas espécies, com redução de 35 e 44 % para *E. grandis* e *E. cloeziana* na dose de 400 mg dm^{-3} , respectivamente quando comparada com a planta controle.

O aumento das doses de As no solo também exerceu efeito diferenciado no diâmetro de colo das plantas estudadas (Figura 2). Observou-se que as plantas de *E. grandis* apresentaram redução de apenas 28 % enquanto as de *E. cloeziana* tiveram redução de 72 %, nas doses de 400 mg dm^{-3} em relação à planta controle. Essa acentuada redução no diâmetro de plantas de *E. cloeziana* reforça a sensibilidade apresentada por essa espécie ao arsênio.

Observou-se acentuado aumento nos teores de As na matéria seca da parte aérea e das raízes como o aumento das doses de As (Tabela 2). O teor de As nas raízes apresentou efeito diferenciado entre as espécies, sendo seus valores maiores do que aqueles encontrados para a parte aérea. Para os teores de As nos diferentes compartimentos, ajustaram-se os modelos raiz quadrada, quadrático e linear (dados não mostrados). A distribuição diferenciada de elementos tóxicos nos compartimentos da planta é, de certo modo, relacionada com a absorção e translocação do elemento como observado em plantas de leucena e sesbania [4], e pode estar diretamente relacionada a mecanismos de tolerância [1].

Os maiores teores de As nas espécies estudadas foram encontrados no sistema radicular na ordem de $222,37 \text{ mg kg}^{-1}$ para o *E. grandis* e $305,72 \text{ mg kg}^{-1}$ para *E. cloeziana*. Apesar dos maiores teores terem sido encontrados no sistema radicular nas plantas de *E. cloeziana*, a concentração de apenas $5,75 \text{ mg kg}^{-1}$ em suas folhas basais foi suficiente para promover o aparecimento de lesões foliares. Concentrações desse elemento entre 0,1 e $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ na matéria seca da parte aérea são consideradas tóxicas para plantas [9]. Entre os compartimentos da parte aérea estudados destacam-se os teores de As no caule de ambas as espécies na dose de 400 mg dm^{-3} , com destaque para *E. grandis* com valores bastante elevados, quando se compara com os teores na dose de 200 mg dm^{-3} (Tabela 2), chegando a ser superior na ordem de 870 %.

As plantas de *E. grandis* apresentaram tendência de translocar e acumular o As no caule apresentando teores que chegaram a ser 13 vezes superiores a concentração de arsênio em plantas normais, (considerando o limite de 5 mg kg⁻¹) que, conforme [9], algumas plantas podem acumular níveis elevados de metais chegando a 1000 vezes mais que o nível normal, acumulado pela maioria das espécies.

O acúmulo total de As variou de 0,46 a 2,46 mg planta⁻¹, indicando comportamento muito diferenciado entre as espécies em relação ao acúmulo desse elemento (Tabela 3). Plantas de *E. grandis* apresentaram maior quantidade relativa de As na parte aérea apresentando capacidade de translocação do As, imobilizando principalmente no caule. Espécie com essa característica pode facilitar o processo de fitoextração do As evitando sua entrada nos componentes do ecossistema, tendo-se em vista que o caule (a madeira) tem elevado valor econômico e pode ser utilizado pela indústria para diversos fins. No entanto, estudos devem ser realizados para conhecer o comportamento dessa espécie em doses maiores que as utilizadas nesse ensaio. Provavelmente o tempo de exposição ao contaminante tenha sido curto e que o potencial máximo para fitoextração possam ser obtidos quando exposta a maiores doses de As por longo período.

Conclusões

As plantas de *E. grandis* apresentaram elevada tolerância ao As, crescendo satisfatoriamente em solo contendo até 400 mg dm⁻³.

A maior capacidade de translocação de As das raízes para a parte aérea observada para o *E. grandis* sugere o potencial dessa espécie para programas de fitoextração, no entanto, para a confirmação desse potencial são necessários estudos em condições de campo por maior período de exposição ao As.

As plantas de *E. cloeziana* mostraram-se sensíveis ao As aplicado ao solo, podendo ser considerada como planta indicadora da contaminação e ambientes contaminados.

Agradecimentos

Os autores manifestam agradecimentos ao CNPq (CT-Mineral) e a Rio Paracatu Mineração pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. 2000. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 299-352 p.
- [2] ALVAREZ V., H.V. 1974. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1974. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 125p.
- [3] CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. 2002. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. Pesq. agropec. bras., Brasília, 37:1629-1638.
- [4] MELO, R. F. 2006. Potencial de espécies vegetais para fitorremediação de um solo contaminado por arsênio. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFV, Viçosa. 107p.
- [5] KAHLE, H. 1993. Response of roots of trees to heavy metals. Environmental and Experimental Botany, Great Britain, 33:99-119.
- [6] O'NEIL, P. 1990. Arsenic. In: Heavy Metals in soils. Alloway, B.J., (Ed.). John Willey & Sons, New York. 83-99 p.
- [7] TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre : UFRGS, 174 p.
- [8] TU, C., MA, L.Q. & BONDADA B. 2002. Arsenic accumulation in the hyperaccumula Chinese brake and its utilization potential for phytoremediation. J. Environ. Qual. 31:1671-1675.
- [9] WAUCHOPE. R. D. 1983. Uptake, translocation and phytotoxicity of arsenic in plants. Chapt. 25, In: W.H Lederer and RJ Fensterheim (eds.), Arsenic: Industrial, Biomedical, Environmental Perspectives. New york: Van Nostrand Reinhold Co. (I). 348-375p.

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra de LVA utilizada na condução do experimento

pH H ₂ O	P-rem	As-rem	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O
..... mg L ⁻¹mg dm ⁻³cmol _c dm ⁻³			dag kg ⁻¹	
5,20	26,29	27,82	1,10	25	0,00	0,00	1,32	4,50	2,01
Areia grossa ^{6/}	Areia fina ^{6/}	Silte ^{6/}	Argila ^{6/}	Dens. Aparent ^{7/}	Classe textural		Equiv. Umidad ^{7/}		
.....%.....									
40	17	2	41	1,29	Argilo-arenoso		kg kg ⁻¹		

P e K disponíveis: Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al trocáveis: Extrator KCl mol/L; CTC a pH 7,0 extraída com acetato de cálcio 1 ml L⁻¹; Análise textural pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997); Eq. Umidade: EMBRAPA (1997); P-rem – Fósforo remanescente e As-Rem - arsênio remanescente do solo, conforme Alvarez et al. (2001) e Ribeiro Jr (2002), respectivamente.

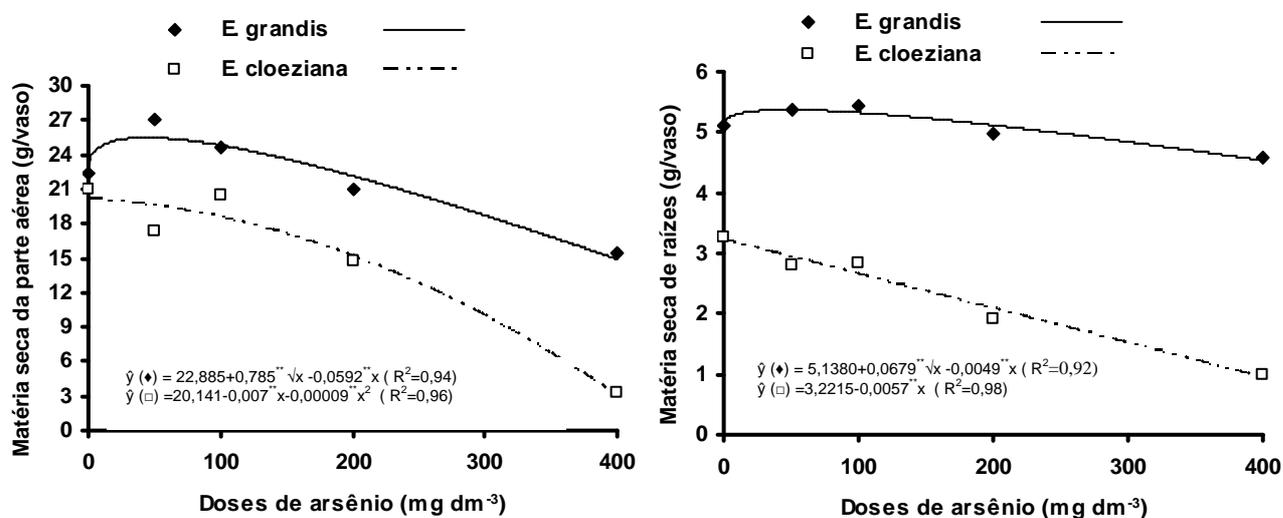


Figura 1. Peso de matéria seca da parte aérea e de raízes de *E. grandis* e *E. cloeziana* submetidas a diferentes doses de arsênio. ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

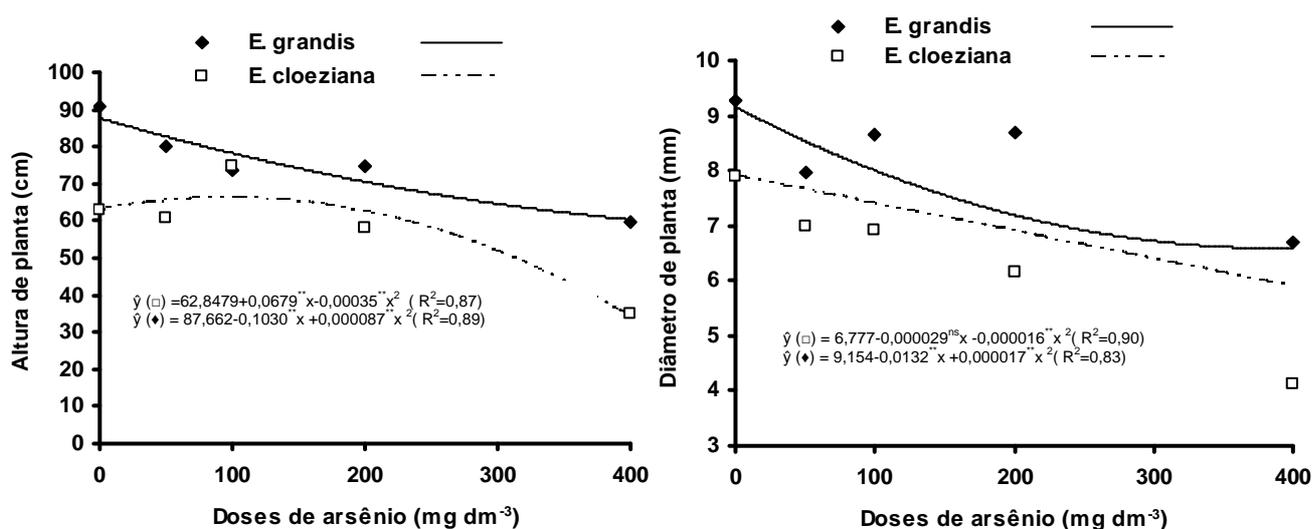


Figura 2. Altura e diâmetro de plantas de *E. grandis* e *E. cloeziana* submetidas a diferentes doses de As no solo. * e ^{ns} efeito significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste F e não significativo, respectivamente.

Tabela 2. Teores de arsênio em folhas jovens (FJ), intermediárias (FI), basais (FB), ramos (Ra), caule (C) e raízes (R) em plantas em *E. grandis* e *E. cloeziana* em função de diferentes doses de arsênio

ESPÉCIES	DOSES	AsFj	AsFI	AsFB	AsRa	AsC	AsR
		mg kg ⁻¹					
<i>E. grandis</i>	0	*	*	*	*	*	*
	50	0,55	1,25	1,95	0,59	1,00	21,97
	100	0,99	2,39	1,03	1,34	1,39	99,13
	200	1,23	4,03	11,88	2,42	6,61	159,70
	400	2,69	8,53	11,06	6,73	64,13	222,37
	CV(%)	8,73	8,72	2,77	4,06	4,06	1,38
<i>E. cloeziana</i>	0	*	*	*	*	*	*
	50	0,82	1,78	1,83	1,38	1,07	17,47
	100	1,19	2,44	3,93	1,87	2,64	44,85
	200	2,93	3,30	6,66	3,21	3,62	152,56
	400	2,82	3,01	5,75	0,86	36,20	305,72
	CV(%)	4,62	7,27	5,77	9,27	10,36	2,73

* Concentrações abaixo do limite de detecção pelo método de dosagem (ICP/AES)

Tabela 3. Conteúdo de arsênio na parte aérea (PA), raízes (R) e total (T) após a coleta das plantas (AsDisp) em plantas de *E. grandis*, e *E. cloeziana* em função de diferentes doses de arsênio aplicadas no solo

ESPÉCIES	DOSES	PA	R	T
		mg dm ⁻³		
<i>E. grandis</i>	0	*	*	*
	50	0,14	0,12	0,39
	100	0,26	0,54	0,80
	200	0,55	0,79	1,34
	400	1,44	1,02	2,46
	CV(%)	15,48	5,50	5,39
<i>E. cloeziana</i>	0	*	*	*
	50	0,12	0,05	0,17
	100	0,25	0,13	0,37
	200	0,29	0,29	0,58
	400	0,16	0,30	0,46
	CV(%)	4,65	5,16	3,97

* Concentrações abaixo do limite de detecção pelo método de dosagem (ICP/AES)