



Potencial de uso de espécies arbóreas para a revegetação de rejeito salino contaminado com arsênio⁽¹⁾

Amanda Longhi Cordeiro⁽²⁾; Lorena A. O. P. Guimarães⁽³⁾; Fabiana Domingos Barros⁽⁴⁾; Luiz Eduardo Dias⁽⁵⁾; Igor Rodrigues de Assis⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq.

⁽²⁾ Graduanda em Engenharia Florestal; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; amanda_longhi@hotmail.com; ⁽³⁾ Pesquisadora; Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper; ⁽⁴⁾ Graduanda em Agronomia; Universidade Federal de Viçosa; ⁽⁵⁾ Professor; Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO: O beneficiamento dos minérios de ouro explotados em Paracatu/MG gera rejeitos com características químicas e físicas limitantes ao crescimento de plantas, principalmente pelo elevado teor de arsênio (As) e salinidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de uso de quatro espécies vegetais arbóreas para a revegetação de rejeito salino contaminado com As. As espécies *Tibouchina granulosa* (quaresmeira), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá), *Euterpe edulis* Mart. (juçara) e *Cassia grandis* (cássia-rósea) foram plantadas por meio de mudas, sendo avaliadas por um período de quatro meses. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Foram avaliados atributos dos substratos e das plantas. Diversas plantas apresentaram sintomas de toxicidade por As. No entanto, somente as quaresmeiras morreram. A quaresmeira apresentou o maior índice de translocação de As (51 %), o que pode ter sido a principal causa da morte das plantas. O paricá apresentou a maior produção de biomassa. A juçara apresentou fortes sintomas de toxicidade e, portanto, não é recomendada para a revegetação dos rejeitos. Dentre as espécies avaliadas, o paricá é a que apresenta o maior potencial para a implantação inicial de vegetação arbórea no substrato, seguida da cássia-rósea.

Termos de indexação: rejeitos, recuperação ambiental; espécies nativas.

INTRODUÇÃO

O As é o primeiro da lista prioritária das substâncias mais perigosas para a saúde humana. O As pode estar presente em minérios de ouro, o que significa que a exploração desse metal pode acarretar problemas ambientais. Por essa razão, os resíduos gerados na lavra e no beneficiamento requerem cuidados específicos.

Os rejeitos produzidos no beneficiamento do minério possuem elevada acidez, salinidade e teores de As. Além disso, apresentam potencial de geração de acidez e de solubilização de elementos

como As, Fe e S. Essas são limitantes ao desenvolvimento de plantas, o que dificulta o processo de revegetação da bacia onde são depositados.

A revegetação de substratos sulfetados normalmente envolve a implantação de uma camada selante, seguida de uma camada superficial de solo. No entanto, podem existir condições em que as características dos substratos permitem a revegetação direta com espécies previamente selecionadas.

Espécies que possuem tolerância ao As e à salinidade podem apresentar respostas promissoras. Para isso, é necessário identificá-las e avaliar o potencial de revegetação das mesmas.

A escolha das espécies para a revegetação dos substratos sulfetados deve considerar alguns aspectos. Um deles, é o órgão de acúmulo do metaloide na planta. Se o As for acumulado nos frutos, por exemplo, ele poderá entrar na cadeia alimentar, aumentando os problemas ambientais devido à contaminação da fauna.

Carvalho (2003) explica que, em virtude da abundante produção de frutos e da forte atração que exerce sobre a fauna (aves, roedores e mamíferos), a juçara (*Euterpe edulis* Mart.) atrai e mantém polinizadores, dispersores e predadores de sementes, sendo importante para a fixação de animais e para a dispersão das espécies da floresta. Essas características são bastante favoráveis ao processo de recuperação ambiental. Por isso, espécies como a juçara seriam importantes para a revegetação da bacia de rejeitos. No entanto, é imprescindível avaliar onde o As é estocado nessas plantas.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de quatro espécies vegetais arbóreas para a revegetação de rejeito salino contaminado com As, proveniente do beneficiamento de minério de ouro.

MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado como substrato para o plantio consistiu em rejeitos provenientes do



beneficiamento de minério de ouro explotado no Morro do Ouro, Paracatu/MG, coletados em uma bacia de depósito. O minério é um filito bastante intemperizado, com teores de sulfetos em torno de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ e granulometria de calhau a argila (ASSIS, 2006).

Para a caracterização inicial do substrato, três amostras foram coletadas para análise. Foram analisados granulometria; argila dispersa em água; capacidade de campo (CC), determinada em extrator de Richards, no potencial de -10 kPa ; densidade do substrato (Ds) e densidade de partículas (Dp), determinadas pelos métodos da proveta e do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Foram determinados, ainda, pH em água e em KCl; teores disponíveis de P, K, S, Fe, Zn, Mn e B e trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} e Al^{3+} (EMBRAPA, 1997); fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000) e teor de carbono orgânico total, determinado pelo método adaptado de Yeomans e Bremner (1988), cujos resultados foram multiplicados por 1,724 para obtenção do teor de matéria orgânica (MO). Para a determinação do teor de As disponível, foi utilizado o extrator Mehlich 3 (Mehlich, 1984). A quantificação do As foi realizada por espectrometria de emissão óptica, com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), no comprimento de onda de $193,696 \text{ nm}$.

O experimento foi conduzido em vasos plásticos, em casa de vegetação. O substrato para o preenchimento dos vasos foi seco ao ar e peneirado com malha de 4 mm de abertura e homogeneizado com o equivalente a $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de corretivo de acidez. O substrato também foi homogeneizado com fosfato de amônio monobásico P.A., e em seguida, umedecido com água deionizada. Os substratos foram, então, incubados em sacos plásticos por 23 dias. Após o período de incubação, foram transferidos para os vasos e mudas das espécies *Tibouchina granulosa* (quaresmeira), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá), *Euterpe edulis* Mart. (juçara) e *Cassia grandis* (cássia-rósea) foram plantadas (uma planta por vaso).

Os substratos foram adubados com N, K, B e Mo. As doses de N e K foram parceladas em duas aplicações (metade da dose em cada). A primeira parcela foi aplicada dezessete dias após o plantio, junto com B e Mo. A segunda parcela de N e K foi aplicada trinta dias após o plantio. Para o suprimento dos nutrientes, foram utilizados nitrato de amônio P.A., cloreto de potássio P.A., borato de sódio P.A. e molibdato de amônio P.A.

O delineamento experimental foi em blocos

casualizados, com cinco repetições. O período experimental compreendeu de novembro de 2012 a abril de 2013 (120 dias de cultivo).

Mensalmente, a altura e o diâmetro (da base) das plantas foram medidos. Foram calculadas as taxas de crescimento absoluto em altura (TCAh) e em diâmetro (TCAd), no período experimental de 120 dias.

Ao final do período experimental, as plantas foram separadas em partes aérea e radicular. O material vegetal foi lavado e colocado em estufa a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, onde permaneceu até atingir massa constante, sendo posteriormente pesado e moído.

Foram realizadas análises dos mesmos elementos da caracterização inicial do substrato, com alteração apenas para a determinação do As e do P, e foi determinada a condutividade elétrica (EMBRAPA, 1997). A quantificação dos teores de As e P foi realizada por ICP-OES.

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância, sendo as médias de cada espécie comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O substrato possui baixa fertilidade, pelos baixos teores de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} e B (Tabela 1). Os teores de Zn, Fe e Mn foram classificados como altos, e o de S, como muito bom, sendo que os de Fe e S estão acima dos valores mínimos das classes alto e muito bom.

Melo (2006) cita que os sintomas característicos de toxicidade de As em plantas são murchamento das folhas, crescimento lento de raízes e brotos, necrose e cor arroxeadas nas folhas basais. Esses sintomas foram observados em diversas plantas em todas as espécies, em diferentes intensidades.

Ao final do terceiro mês de cultivo, todas as plantas de quaresmeira estavam mortas.

No terceiro mês de cultivo, as plantas de paricá e cássia-rósea estavam vigorosas, apresentando nos folíolos pequenas lesões esbranquiçadas no paricá e coloração arroxeadas, clorose e necrose nas extremidades na cássia-rósea.

O paricá foi a espécie que apresentou a maior produção de matéria seca aérea (MSA) e total (MST). A matéria seca radicular (MSR) foi superior nas plantas de paricá e cássia-rósea.

A TCAh do paricá foi superior à das demais espécies. Além disso, o paricá e a juçara apresentaram os maiores valores de TCAd. De acordo com Lorenzi (2008), o paricá é uma das árvores nativas da Amazônia de mais rápido



crescimento que se conhece. Por essa razão, seu crescimento foi superior ao das demais espécies avaliadas.

Apesar de a cássia-rósea ter apresentado baixa TCAd, sua TCAh foi inferior apenas à do paricá. O cultivo no substrato parece não ter sido limitante ao desenvolvimento da cássia-rósea. De acordo com Carvalho (2003), essa espécie é plástica quanto a solos, ocorrendo naturalmente em solos úmidos, com drenagem boa a lenta e com textura que varia de arenosa a franca.

A juçara não é uma espécie exigente quanto às características edáficas. De acordo com Carvalho (2003), a juçara desenvolve-se em solos ácidos, pobres em P, Ca, K e Mg e com drenagem de boa a regular. Mesmo tolerando solos de baixa fertilidade, a juçara não apresentou potencial para a revegetação do substrato. Apesar de sua TCAd ter sido elevada, essa espécie apresentou sintomas de toxicidade de As, o que mostra a sensibilidade da espécie ao metaloide.

O paricá apresentou os maiores teores e conteúdos de As na biomassa, exceto na parte aérea, em que o teor de As foi maior na quaresmeira (**Tabela 2**). O maior acúmulo de As (conteúdo total do metaloide na biomassa) também foi obtido pelas plantas de paricá.

A quaresmeira e a cássia-rósea apresentaram o maior e o menor índice de translocação de As (IT), respectivamente. A baixa translocação de As é um dos mecanismos de tolerância ao metaloide.

O arsenato, como é quimicamente análogo ao fosfato, interfere nas reações (vitais) de fosforilação, pois se liga à ADP, formando ADP-As, prejudicando a biossíntese de ATP, o que provoca alterações no fluxo energético das células das plantas (Hughes, 2002). Segundo Nascimento (2007), a tolerância ao As está relacionada com a manutenção das funções fotossintéticas e, portanto, quanto menor o transporte do As para a parte aérea, menor o comprometimento da taxa fotossintética e maior a tolerância da planta. Nesse sentido, o elevado teor de As na parte aérea da quaresmeira pode ser a principal causa da morte das plantas.

Paricá, juçara e cássia-rósea acumularam o As, preferencialmente, em suas raízes. Zhao et al. (2008) citam que a explicação para a limitada translocação de As é que o arsenato é rapidamente reduzido a arsenito e, em seguida, se liga a tióis de algumas moléculas, como as fitoquelatinas, sendo sequestrado nos vacúolos das raízes. Assim, a adaptação de plantas para resistir a elevados níveis de arsenato depende da produção indispensável de complexos As-fitoquelatinas (Hartley-whitaker et al.,

2001).

Paricá e juçara apresentaram os maiores conteúdos de P na biomassa, e quaresmeira e cássia-rósea, os menores. Braga et al. (1995), verificaram que a quaresmeira possui alta exigência nutricional e o seu crescimento foi mais comprometido pela ausência de N, P, Ca e S.

O murchamento das folhas da quaresmeira pode ter sido causado, principalmente, pela salinidade do substrato.

O paricá possui uma característica importante para a revegetação da bacia de rejeitos em Paracatu, que é a capacidade de tolerar condições de deficiência hídrica. Carvalho (2005) verificou que o déficit hídrico induziu o surgimento de mecanismos de tolerância à seca no paricá. Desse modo, além de ter apresentado os melhores resultados de produção de biomassa, taxas de crescimento e acúmulo de As, o paricá possui, ainda, a capacidade de se desenvolver mesmo em períodos secos. Isso reforça a potencial dessa espécie para a revegetação da bacia.

CONCLUSÕES

O potencial de revegetação segue a ordem paricá > cássia-rósea. O paricá é a espécie que apresenta melhor tolerância às condições adversas do substrato. Dentre as espécies avaliadas, é a que apresenta maior potencial para a implantação inicial de vegetação arbórea no substrato utilizado nessa pesquisa. A juçara apresenta fortes sintomas de toxicidade e, portanto, não é recomendada para a revegetação. A quaresmeira é a espécie mais sensível ao cultivo no substrato, pois todas as plantas morreram durante o período experimental.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25(1):27-32, 2000. (Boletim Informativo)
- ASSIS, I.R. Mitigação da lixiviação de arsênio, ferro e enxofre e revegetação de substratos minerados em área de ocorrência de drenagem ácida. 2006. 90 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.
- BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; VENTORIM, N.; AUBERT, E.; LOPES, G.A. Requerimentos nutricionais de quatro espécies florestais. Revista Árvore, 19:18-31, 1995.
- CARVALHO, C.J.R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (S. parahyba var. *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. Revista Árvore, 29(6):907-914, 2005.



- CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Floresta, 2003. v1. 1039 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- HARTLEY-WHITAKER, J.; AINSWORTH, G.; VOOIJS, R.; BOOKUM, V.T.; SCHAT, H.; MEHARG, A.A. Phytochelatins are involved in differential arsenate tolerance in *Holcus lanatus*. *Plant Physiology*, 126:299–306, 2001.
- HUGHES, M.F. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 33:1-16, 2002.
- LEITÃO FILHO, H.F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub- tropicais do Brasil. IPEF, 35:41-46, 1987.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v1. 384 p.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(2):1409-16, 1984.
- MELO, R.F. Potencial de espécies vegetais para fitorremediação de um solo contaminado por arsênio. 2006. 107 f. Tese (doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.
- ZHAO, F.J.; MA, J.F.; MEHARG, A.A.; McGRATH, S.P. Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytologist*, 181:777–794, 2008.

Tabela 1 - Caracterização inicial do substrato utilizado no experimento

pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T
H ₂ O	KCl	— mg dm ⁻³ —			— cmol _c dm ⁻³ —						
4,57	4,28	20,7	68	15,2	0,79	0,35	0,10	0,4	1,38	1,48	1,78

Mn	Cu	B	S	As	Cr	Ni	Cd	Pb	CC	ADA	Ds	Dp
— mg dm ⁻³ —												
13	1,56	0,19	141,6	111,9	0,82	6,96	0,07	1,21	0,391	0,004	1,10	2,4

V	m	PST	MO	P-rem	Zn	Fe	AG	AF	Silte	Argila
— % —		dag kg ⁻¹		mg L ⁻¹	mg dm ⁻³		— kg kg ⁻¹ —			
78,2	6,8	3,71	0,91	55,1	3,44	1.026	0,020	0,239	0,705	0,036

SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio; PST: percentagem de sódio trocável = Na x 100 / T; MO: matéria orgânica; P-rem: fósforo remanescente; CC: capacidade de campo; ADA: argila dispersa em água; Ds: densidade do substrato; Dp: densidade de partículas; AG: areia grossa; AF: areia fina. pH: relação 1:2,5; P, K, Na, Fe Zn, Mn e Cu: extrator Mehlich I; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0; MO: carbono orgânico x 1,724; B: água quente; S: extrator fosfato monocalcico em ácido acético; As: extrator Mehlich 3, determinação por ICP-OES.

Tabela 2 - Médias dos teores, conteúdos e índice de translocação de arsênio (IT) na matéria seca das espécies avaliadas, após quatro meses de cultivo

Espécie	Teor (mg/kg)		Conteúdo (mg/planta)			IT (%)
	Parte aérea	Raíz	Parte aérea	Raíz	Total	
Quaresmeira	12,81a	45,34ab	0,015b	0,014c	0,030c	51a
Paricá	7,30b	62,42a	0,046a	0,129a	0,175a	27b
Jussara	5,79bc	44,79ab	0,010b	0,038bc	0,049bc	20bc
Cássia-rósea	2,49c	32,62b	0,006b	0,068b	0,075b	8c

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

**XXXV Congresso
Brasileiro de
Ciência do Solo**

CENTRO DE CONVENÇÕES - NATAL / RN



**O SOLO E SUAS
MÚLTIPLAS FUNÇÕES**
02 a 07 DE AGOSTO DE 2015