

MODULAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS DE *Khaya ivorensis* A. Chev. PARA FITORREMEDIAÇÃO DE CÁDMIO

Valter Junior dos Santos Saldanha¹; Josilene Do Carmo Mescouto De Sousa²; Denilson Pontes Ferreira³; Rafael Gomes Viana⁴; Liliane Corrêa Machado⁵; Cândido Ferreira de Oliveira Neto⁶.

¹Graduando em Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural da Amazônia.
valterdssaldanha@outlook.com.

²Mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia.
josimescouto@yahoo.com.br

³Mestrado em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia. pontes.agro@gmail.com

⁴Doutor em Fitotecnia. Universidade Federal Rural da Amazônia. rafael.gomes@ufra.edu.br

⁵Mestranda em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria. lilimachado.agro@gmail.com

⁶Doutor em Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural da Amazônia.
candido.neto@ufra.edu.br.

RESUMO

O cádmio é um metal pesado sem função biológica conhecida e de alta toxicidade, uma vez que causa uma série de perturbações em processos fisiológicos primordiais em vegetais. Logo, a contaminação do solo por este metal consiste em um grande problema a atividades agrícolas. Com isso, observa-se a necessidade de controle desse elemento no solo, sendo a fitorremediação uma das soluções recomendadas para essa problemática. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas ecofisiológicas de plantas de *Khaya ivorensis* A. Chev, submetidas a diferentes dosagens de CdCl₂. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém do Pará, entre os meses de dezembro de 2015 a abril de 2016. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 7 repetições. Com as crescentes doses do metal, as plantas apresentaram como resposta um declínio nos parâmetros ecofisiológicos, porém não a ponto de ocasionar a morte dos vegetais. O tratamento com a dose de 10 CdCl₂ mg/L⁻¹ obteve os maiores valores tanto para o fator de translocação quanto para o fator de bioacumulação, nenhum dos tratamentos apresentou nível crítico de toxidez. A espécie *Khaya ivorensis* A. Chev mostrou ser uma excelente alternativa para o método de fitorremediação em áreas contaminadas com cádmio.

Palavras-chave: Bioacumulação. Toxidez. Mogno Africano.

Área de Interesse do Simpósio: Biodiversidade.

1. INTRODUÇÃO

Compostos de elementos de densidade acima de 5 g/cm^3 , quando caracterizados como perigosos, são considerados metais pesados, compostos capazes de se comportar de forma altamente reativa e bio-acumulativa para certos organismos (BERTOLAZI et al., 2010). No caso do cádmio, não se tem conhecido de qualquer função biológica desse elemento (DONG et al., 2007), sendo considerado um dos metais de maior potencial ecotóxico, podendo gerar severos distúrbios à atividade biológica do solo, ao metabolismo vegetal e à saúde animal (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000). As principais fontes de contaminação deste elemento estão ligadas à utilização de fertilizantes, queima de combustíveis fósseis e, principalmente, atividade mineradora. Dentre os danos fisiológicos causados pelo cádmio estão a inibição do crescimento do eixo embrionário e da radícula em sementes (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000), limitação na absorção de macronutrientes e de água (DAS et al., 1997) e redução da taxa fotossintética e da condutância estomática (BARCELO & POSCHENRIEDER, 1990).

Uma das principais técnicas para a recuperação de solos contaminados com metais pesados é a fitorremediação (KAVAMURA & ESPOSITO, 2010), que consiste no emprego de espécies vegetais tolerantes a altos níveis de toxidez e que, simultaneamente, apresentem características como alta taxa de crescimento e produção de biomassa, sistema radicular expansivo e elevado acúmulo de metais na parte aérea (GARBISU & ALKORTA, 2001). Ademais, cresce a busca por espécies comerciais com potencial fitorremediador, como forma de conciliar a recuperação de uma área e o retorno comercial deste empreendimento.

A partir deste contexto, objetivou-se avaliar a potencialidade da *Khaya ivorensis* A. Chev para a fitorremediação de áreas contaminadas com cádmio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, em Belém-PA, no período de dezembro de 2016 a maio de 2017.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo 5 tratamentos (Controle, CdCl₂ 10 mg/L, CdCl₂ 20 mg/L, CdCl₂ 30 mg/L e CdCl₂ 40 mg/L) com 7 repetições cada, totalizando 35 unidades experimentais.

No 35º dia após aclimação, as mudas, foram transplantadas para vasos envolvidos com papel alumínio, contendo areia lavada e autoclavada. Os vasos continham solução de Sarruge (1975), com ¼ de força iônica. Após 16 dias de adaptação, foi iniciada a aplicação de cloreto de cádmio. As soluções foram renovadas semanalmente e o pH mantido entre 5,8 a 6,0 com adição de NaOH ou HCl 0,1 mol L⁻¹, quando necessário o ajuste. Após 60 dias em exposição ao metal pesado as plantas foram retiradas, e então, lavadas em água destilada e posteriormente medidas e separadas em folha, caule e raiz.

A mensuração de FB e FT são definidos como a concentração do elemento na planta em relação à concentração do elemento no solo e concentração do elemento na parte aérea em relação à concentração do elemento nas raízes, respectivamente, utilizando-se, para os cálculos, as concentrações dos elementos presentes em solução (SHAH et al., 2008).

Os níveis críticos de toxidez de Cd na solução nutritiva são estimados com base nas equações de regressão obtidas em cada espécie, em resposta às concentrações do elemento em solução.

As variáveis *E*, *gs*, *ci* *EUA* e *A* foram avaliadas através medidor portátil IRGA e medidas sob condições ambientais favoráveis, entre as 9:00 e 11:00 da manhã, sendo um folíolo por planta colocada dentro da câmara, sempre na região mediana da folha totalmente expandida.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística, utilizando-se análise de variância (ANOVA) no programa Sisvar versão 5.4 e, as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para *gs*, foi observado uma diminuição em função das doses de CdCl₂ (Tabela 1), podendo estar relacionado aos efeitos na inibição das incorporações de nitrato e potássio, associados à abertura e fechamento estomático (GOMES et al., 1998). Cupertino (2006), ao trabalhar com doses crescentes de cádmio em *Hevea brasiliensis*, relata que, foi observada redução na quantidade de estômatos, em função da aplicação de cádmio.

Ocorreu decréscimo em *A* com o aumento das doses de CdCl_2 (Tabela 1). O que pode ter ocorrido devido aos efeitos do cádmio na inibição da fotossíntese, dissipando energia e impedindo, assim, sua absorção nos centros de reação do fotossistema II (FAGIONI et al., 2008; PARMAR et al., 2014), além de afetar a atividade das enzimas rubisco (WANG et al., 2009). Chugh e Sawhney (1999) em estudos realizados com *Pisum sativum* L. evidenciaram que o cádmio exerceu um efeito deletério sobre as enzimas fotossintéticas, diminuindo progressivamente com aumento da concentração deste metal.

Os resultados para *E* apresentaram tendência similar a *g_s* (Tabela 1). Este metal altera as taxas de absorção líquida de CO_2 , a transpiração e a condutância estomática (PRASAD, 1995). Os estômatos estão intimamente relacionados com os processos de fotossíntese e transpiração na planta, pois essas células exercem um papel chave na regulação da perda de água e na entrada de CO_2 no mesofilo (PEREIRA, 2013).

Na avaliação dos valores da *C_i*, quanto maior a dose de CdCl_2 aplicada, menor foi a *C_i* (Tabela 1). Essa diminuição pode ser atribuída à redução da disponibilidade de CO_2 no interior da folha, provocada pelo fechamento estomático, em resposta a toxicidade causada pelo cádmio. Segundo Nascimento (2009), habitualmente, o aumento nos valores de *C_i* é acompanhado de acréscimos na *g_s*. Assim, a limitação estomática seria o principal fator da limitação do desempenho fotossintético, pois quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO_2 para a câmara subestomática.

Tabela 1 – Valores médios de condutância estomática (*g_s*), fotossíntese (*A*), Transpiração (*E*) e Concentração interna de CO_2 (*C_i*) em plantas de *Khaya ivorenses* submetidas a diferentes doses de cloreto cádmio.

Variáveis	Dosagens de Cádmio				
	0	10	20	30	40
<i>g_s</i> (mmol $\text{H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	145,26 ^a	54,95 ^b	26,29 ^c	12,52 ^{cd}	9,30 ^d
<i>A</i> ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	12,49 ^a	7,71 ^b	4,78 ^c	2,34 ^d	1,03 ^d
<i>E</i> (mmol $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	3,18 ^a	1,58 ^b	0,87 ^c	0,40 ^d	0,17 ^d
<i>C_i</i> ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	239,37 ^a	157,77 ^b	113,02 ^c	96,71 ^c	85,48 ^c

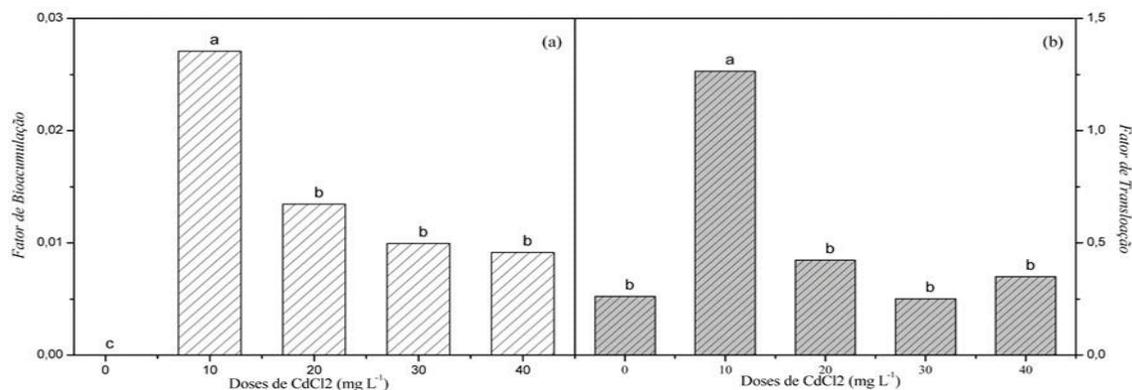
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Josilene Sousa.

Diferente das demais variáveis analisadas, a EUA mostrou que quanto maior a dose aplicada, maior o resultado obtido, apresentando resultados médios de 6,01; 5,86; 5,69; 4,95 e 3,93 para os tratamentos com as doses de 40, 30, 20, 10 e 0 de CdCl_2 mg L^{-1} , respectivamente. Este comportamento sugere que a eficiência de uso da água apresenta pouca correlação com a taxa de assimilação de CO_2 . Prasad (1995) relatou que o Cd altera as taxas de absorção líquida de CO_2 , a transpiração, a condutância estomática e a eficiência do uso da água.

A espécie demonstrou comportamento similar entre FT e FB (Figura). O FT foi maior apenas no tratamento com a dosagem de 10 mg L^{-1} (para os outros tratamentos este fator foi baixo, logo, houve restrição na translocação do metal para a parte aérea da planta, pois, para tentar minimizar os efeitos adversos à exposição de elementos-traço as plantas desenvolvem mecanismos de tolerância a esses elementos, como a exclusão e a acumulação. ACCIOLY et al. (2004) observaram maiores teores de Cd na raiz em relação à parte aérea, sendo um indicativo da limitação da translocação desses metais para a parte aérea em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Figura 1 – Valores médios para o Fator de Bioacumulação (a) e Fator de Translocação (b), em plantas de *Khaya ivorenses* submetidas a diferentes doses de cloreto cádmio.



Fonte: Josilene Sousa.

A nível de toxidez, não foi apresentado nível crítico (50%) em nenhum dos tratamentos testados no presente trabalho.

4. CONCLUSÃO

O *Khaya ivorensis* não é uma espécie hiperacumuladora, contudo é uma espécie indicada para ser utilizada em programas de fitorremediação.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. et al. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.775-783, 2004.

CUPERTINO, I. C. F. S. Respostas morfofisiológicas e nutricionais de plantas jovens de seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex. ADR. de Juss.) Muell.-Arg.] cultivadas na presença de alumínio, cádmio, níquel e zinco. **Tese** (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006.

DAS, P.; SAMANTARAY, S.; ROUT, G.R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 98, p.29- 36, 1997.

DONG, J; MAO, W.H; ZHANG, G.P; WU, F.B; CAI, Y. Root excretion and plant tolerance to cadmium toxicity – a review. **Plant soil environ**, 53(5): 193-200, 2007.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, n. 3, p. 229- 236, May 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed. London, 2000. p.123 – 167.

KAVAMURA, V. N.; ESPOSITO, E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 1, p. 61-69, 2010.

NASCIMENTO, S. P do. Efeito do déficit hídrico em feijão caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca. **Dissertação**. (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.

PEREIRA, A. C. C. *Parkia gigantocarpa* Ducke (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) sob deficiência hídrica no solo: respostas fisiológicas, bioquímicas e de crescimento. 105f. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Federal Rural Da Amazônia, 2013.

PRASAD, N.M.V. Cadmium toxicity tolerance in vascular plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.35, p. 525-545, 1995.

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. *Summa Phytopathologica*, **Botucatu**, v. 1, n.3, p.231- 33, 1975.

SHAH, F.R., N. AHMAD, K.R. MASOOD AND D.M. Zahid. The influence of Cd and Cr on the biomass production of Shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) seedlings. **Pak. J. Bot.**, 40(4): 1341-1348, 2008.

WANG, H. B.; WONG, M. H.; LAN, C. Y.; BAKER, A. J. M.; QIN, Y. R.; SHU, W. S.; CHEN, G. Z.; YE, Z. H. Uptake and accumulation of arsenic by 11 *Pteris* taxa from southern China. **Environmental Pollution, Barking**, v. 145, n. 1, p. 225-233, Jan. 2009.