

Desempenho de crescimento do açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) em solos com diferentes níveis de cádmio e matéria orgânica

Thiago Alves da Silva^{1*}, Wendrio Sales de Melo², Berenice Kussumoto de Alcântara da Silva³

¹Discente do Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia. ²Discente do Curso Bacharelado em Engenharia Agrônômica. ³Professora da Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Rio Branco, Acre, Brasil. *thiagofac@gmail.com

Recebido em: 27/01/2023

Aceito em: 18/05/2023

Publicado em: 31/07/2023

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.5.1-6>

RESUMO

Estudos dos efeitos de contaminantes ambientais tem se tornado frequentes devido ao aumento da preocupação com o meio ambiente em nível mundial. Dentre os poluentes, destaca-se o metal pesado cádmio que é um dos elementos químicos mais danosos para a saúde humana, sendo capaz de acarretar doenças que vão desde neurológicas, surgimento de dermatoses até o desenvolvimento de cânceres em diferentes órgãos do corpo humano, mesmo em baixas concentrações. No metabolismo vegetal, os metais podem afetar negativamente em processos como a fotossíntese, transporte de água e absorção de elementos essenciais, acarretando danos no desenvolvimento morfológico e fisiológico da planta. O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de *Euterpe precatoria* cultivada em solos com e sem matéria orgânica e contaminados por cádmio. Para a realização do experimento em casa de vegetação foi usado o delineamento experimental casualizado com 4 tratamentos e 5 repetições, sendo 2 plantas por repetição, totalizando 20 unidades experimentais. Em cada parcela experimental foram utilizados vasos com capacidade de aproximadamente 4 kg de solo com e sem matéria orgânica. As plantas não apresentaram sintomas de fitotoxicidade por cádmio. A matéria orgânica influenciou positivamente a produção de massa seca da raiz e parte aérea de *E. precatoria*, além de que foi observado bom desempenho dessa espécie quando cultivada em solo com Cd.

Palavras-chave: Fitorremediação. Palmeiras. Metais pesados. Matéria orgânica.

Performance of açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) growing in soils with different levels of cadmium and organic matter

ABSTRACT

Studies of the effects of contaminants have become frequent due the concern about the environment that has increasing worldwide. Among the pollutants, the heavy metal cadmium stands out, which is one of the most harmful chemical elements for human health. Cadmium causes neurological diseases, appearance of dermatoses and cancers in different organs of the human body, even at low concentrations. In plant metabolism, metals can negatively affect processes such as photosynthesis, water transport and absorption of essential elements, causing morphological and physiological damages, compromising the development of the plant. The present study aimed to evaluate the performance of *Euterpe precatoria* cultivated in soils with and without organic matter, non-contaminated and contaminated by cadmium. To carry out the

experiment in a greenhouse, a randomized experimental design was used with 4 treatments and 5 replications, with 2 plants per replication, totaling 20 experimental units. Pots with a capacity of approximately 4 kg of soil with and without organic matter were used in each experimental plot. The plants did not show symptoms of cadmium phytotoxicity. Organic matter influenced positively in the production of root and shoot dry mass of *E. precatória*, in addition, this species presented good performance when cultivated in soil with Cd.

Keywords: Phytoremediation. Palm trees. Heavy metals. Organic matter.

INTRODUÇÃO

A contaminação de solos e águas por metais pesados é um dos principais problemas ambientais das últimas décadas (HOSMAN, 2017). Apesar de ocorrerem naturalmente no solo, através de processos pedogenéticos, a quantidade de metais pesados disponíveis no solo têm aumentado, prejudicialmente, em decorrência de atividades antrópicas (BETTAIEB; ARBAOUI, 2018; SHEHATA et al., 2019).

O uso exagerado de fertilizantes e pesticidas químicos, aliado a crescente industrialização e processos de mineralização são elencados como as principais atividades causadoras de contaminação por metais (ROMEIRO et al., 2007). Entre os vários metais pesados existentes, o cádmio (Cd) é considerado um dos contaminantes mais tóxicos existentes, expondo efeitos negativos no metabolismo vegetal e também na saúde humana, mesmo em pequenas concentrações (PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Esse metal, ao contrário de outros poluentes orgânicos, não pode ser facilmente degradado e convertido em compostos inofensivos através de processos biológicos (NEDELKOSKA; DORAN, 2000). Nos organismos vivos, o Cd pode desregular funções enzimáticas, desnaturar proteínas, e consequentemente afetar o funcionamento celular, ocasionando danos e impactos irreversíveis a toda e qualquer forma de vida (MOSCHEM. GONÇALVES, 2020).

No organismo vegetal, os metais podem afetar negativamente em processos como a fotossíntese, transporte de água e absorção de elementos essenciais, acarretando danos no desenvolvimento morfológico e fisiológico da planta (SHAHID et al., 2017; TAIZ et al., 2017). Entretanto, algumas espécies vegetais são capazes de se adaptar a essas condições de estresse e tolerar elevadas concentrações de metais em seus compartimentos (KELEPERTSIS; ANDRULAKIS, 1983).

Na busca de alternativas para descontaminar áreas contaminadas por metais pesados, pesquisadores e empresas tem-se optado por técnicas pautadas em princípios in situ (CHAVES et al., 2010). Tratando-se de solos contaminados, remediar o solo in situ dispõe uma grande vantagem, pois nessa modalidade não se faz necessário realizar

grandes transportes do solo contaminado, uma vez que o problema pode ser resolvido no local da contaminação (CHAVES, 2008).

A fitorremediação é uma técnica que vem sendo utilizada em projetos de recuperação de ambientes terrestres e aquáticos contaminados por metais pesados. Com essa estratégia podem ser utilizadas plantas, aproveitando suas características fisiológicas, para retirar e acumular contaminantes dispersos nas áreas afetadas (PIO et al., 2013). Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial fitorremediador de *E. precatoria* cultivada em solo contaminado com cloreto de cádmio ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada nas dependências da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC), no município de Rio Branco, Acre (S -9.946176 e W -67.868997). O clima local segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, com chuvas anuais variando entre 1.900 e 2.200 mm e temperaturas médias entre 24 e 26 °C (ALVARES et al., 2013).

Delineamento e instalação do experimento

A instalação das unidades experimentais seguiu o delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por 4 tratamentos e 5 repetições, sendo 2 plantas da espécie *E. precatoria* por repetição, totalizando 20 unidades experimentais. As mudas de *E. precatoria* foram obtidas no Viveiro da Floresta. No viveiro, essas mudas foram produzidas em casa de vegetação por meio de sementes crescidas em tubetes com capacidade de 115 cm³.

O substrato usado no viveiro é o da marca Maxfertil, conhecido como substrato misto para plantas, que leva em sua composição casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa, serragem e bioestabilizadores. As mudas estavam com idade de aproximada de 120 dias em ambiente controlado. Foram separados 40 vasos plásticos de polietileno de 3,8 litros para onde as mudas foram transplantadas. O substrato de cada tratamento utilizado no experimento foi obtido no viveiro da FUNTAC, peneirado em peneira de malha de 2 mm para obtenção de uma granulometria mais fina e homogeneizado em seguida.

Determinação dos tratamentos

Os tratamentos utilizados foram:

T1 – 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila + Contaminante (Cd);

T2 – 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila;

T3 – 55% Areia + 45% Argila + Contaminante (Cd);

T4 – 55% Areia + 45% Argila.

A matéria orgânica utilizada no experimento foi a Vivatto Plus, da marca Technes, que possui propriedades físico-químicas balanceadas.

Para o preparo da solução contaminante o cloreto de cádmio foi pesado em balança analítica de precisão e colocado na estufa a 108 °C por 4 horas para eliminação da umidade que possa ter sido absorvida pelo reagente. Em seguida, preparou-se uma solução com 0,36 g de cloreto de cádmio em 3 litros de água destilada.

A contaminação do solo foi realizada com a adição de 300ml de CdCl₂.H₂O para cada vaso e foi realizada de forma manual com auxílio de um becker, a partir da solução estoque de Cd. O solo foi dividido em 4 tratamentos, sendo realizada a contaminação individualmente em dois tratamentos (T1 e T3). Os vasos foram dispostos em uma área plana dentro da casa de vegetação onde passaram por um processo de incubação, com os vasos cobertos com uma lona de polietileno, durante três dias.

Após a incubação do solo, foram coletadas duas amostras de 200 g de substrato de cada tratamento. As amostras de solo foram enviadas ao laboratório LABRAS para serem realizadas análises químicas do solo antes do plantio das mudas de *E. precatória*.

Na caracterização química dos solos de cada tratamento (Tabela 1) o pH(H₂O) foi determinado, na relação solo: solução de 1:2,5, pelo método potenciométrico (EMBRAPA, 1997). Potássio, cálcio, magnésio e hidrogênio foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, na relação de 1:10, conforme descrito em Embrapa, (2009).

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo de cada tratamento adotado no experimento.

TRATAMENTO	pH	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	Cd
T1	5,6	0,37	3,45	1,69	2,25	31,00
T2	6,2	0,61	4,22	2,31	2,35	0,16
T3	6,1	0,16	3,12	0,99	1,45	71,63
T4	6,2	0,27	4,08	1,35	1,55	0,05

T1 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila + Contaminante (Cd); T2 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila; T3 = 55% Areia + 45% Argila + Contaminante (Cd); T4 = 55% Areia + 45% Argila.

O transplântio das mudas foi realizado com o auxílio de uma pá de jardinagem, servindo para abertura da cova, posteriormente as mudas foram retiradas dos tubetes. Figura 1 A e transplantadas para os substratos Figura 1 B. As plantas permaneceram em casa de vegetação onde foram monitoradas mensalmente por 40 dias.

Figura 1 - A - Muda de *E. precatória* retirada do tubete para plantio; B - 40 unidades experimentais de mudas de *E. precatória* dos 4 tratamentos dispostos em casa de vegetação.



Durante o período do experimento, as plantas receberam diariamente água proveniente de irrigação automática dentro da casa de vegetação. Passado o período pré-estabelecido do plantio das mudas, foram efetuadas novas coletas de duas outras amostras de solo, de 200 g cada, de cada tratamento, para serem enviadas ao LABRAS para análises químicas e biodisponibilidade do metal pesado (Cd) que foi usado para contaminar os substratos.

Determinação da massa seca

As plantas foram coletadas e lavadas com água da torneira até a retirada completa do solo. Em seguida, foram separadas a raiz e parte aérea, sendo estas acondicionadas em envelopes de papéis kraft e secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura entre 60 e 65 C até atingirem condições de peso constante.

Na sequência, o peso úmido e o peso seco de cada compartimento (raiz e parte aérea) Figura 2 foi determinada em balança analítica de precisão. A massa seca total foi obtida pelo somatório da massa seca da raiz, caule e folha em cada indivíduo. Após o

processo de secagem, o material vegetal foi triturado em moinho de facas, acondicionado em sacos plásticos, vedados e enviados ao laboratório LABRAS para análises químicas.

Figura 2 - Amostras de raiz e parte aérea de *E. precatória* lavadas e seccionadas por compartimento.



Antes do transplante, foram selecionadas 5 mudas de *E. precatória* para determinação do incremento de massa seca. As 5 unidades amostrais passaram pelo mesmo processo de secagem e pesagem adotados para material vegetal utilizados nesse estudo. O incremento de massa seca final, após o transplante, foi obtido através da seguinte fórmula:

$$IMs = MSf - MSi$$

Onde:

IMs = Incremento de biomassa seca;

MSf = Massa seca final do experimento;

MSi = Massa seca inicial (antes do transplante das mudas).

Análise química do tecido vegetal e análise estatística

Foi separado o material vegetal de quatro mudas de cada tratamento para quantificar biomassa seca e determinar as concentrações de metais pesados presentes em cada compartimento das amostras (raiz e parte aérea). Amostras de 10 g do material seco e finamente triturado de 4 plantas de cada tratamento, estão sendo submetidas a análises químicas e os resultados serão apresentados na dissertação posteriormente.

Os dados foram agrupados em planilhas eletrônicas e na sequência, os dados de médias das variáveis paramétricas foram submetidos a análises de variância (teste de Levene) e teste de Tukey para comparação das médias ($p \leq 0,05$), utilizando a plataforma R-studio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de massa seca de E. precatoria

Durante os 40 dias do experimento, o acúmulo de massa seca pelas plantas de *E. precatoria* apresentou diferenças significativas dentro dos tecidos analisados (raiz e parte aérea) (Tabela 2). Mesmo com a elevada dosagem do cádmio nos solos, o crescimento das plantas foi positivamente afetado, o que não era esperado pela quantidade de contaminante adicionado no solo. Entre os tratamentos adotados no estudo, o tratamento que não levou o contaminante (Cd) sem presença de matéria orgânica (T4) apresentou a menor média no incremento acumulado de massa seca nas plantas ($0,99 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto o tratamento contaminado com cádmio e com matéria orgânica (T1) apresentou o maior acúmulo ($3,76 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 2 - Valores médios de massa seca bruta e incremento de massa seca nos tecidos raiz e parte aérea de *E. precatoria* após 40 dias de cultivo em casa de vegetação.

TRATAMENTO	MASSA SECA BRUTA		INCREMENTO MASSA SECA	
	----- (g kg^{-1}) -----		----- (g kg^{-1}) -----	
	RAIZ	P. AÉREA	RAIZ	P. AÉREA
T1	2,32	3,99	1,35a	2,42 ^a
T2	1,84	3,54	0,87ab	1,97ab
T3	1,90	3,17	0,93ab	1,60ab
T4	1,11	2,42	0,14b	0,85b

T1 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila + Contaminante (Cd); T2 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila; T3 = 55% Areia + 45% Argila + Contaminante (Cd); T4 = 55% Areia + 45% Argila. Letras minúsculas diferentes significam diferenças estatísticas de incremento de massa seca dentro de cada tecido (raiz e parte aérea).

O incremento de massa seca da raiz do tratamento T1 ($1,35 \text{ g Kg}^{-1}$) foi superior aos demais tratamentos. Os tratamentos com matéria orgânica sem Cd T2 ($1,84 \text{ g Kg}^{-1}$) e sem matéria orgânica com Cd T3 ($0,87 \text{ g Kg}^{-1}$) apresentaram valores semelhantes, não apresentando diferença significativa entre si ($P \leq 0,05$), para esse compartimento das plantas. Já o tratamento T4 ($0,14 \text{ g Kg}^{-1}$) manifestou o menor valor para incremento de massa seca de raiz.

Segundo Vandecastelle (2005), a ausência de efeito no crescimento radicular é um indicativo da alta tolerância que uma planta pode apresentar, uma vez que esta estrutura é considerada indicador mais sensível de uma planta, por conta do seu contato direto com o solo. Segundo Kabata e Pendias (2001), o teor total crítico em solos para as plantas é de $3 \text{ a } 8 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cd, ocorrendo acima destes valores já é possível observar sinais de toxidez para os tecidos.

Neste experimento, os tratamentos que receberam o cádmio apresentaram resultados positivos para incremento de massa seca, ou seja, o cádmio foi benéfico para o aumento a produção de massa seca em *E. precatória*. Accioly e Siqueira (2000) citam que dependendo do grau de fitotoxidez do contaminante, existe uma ampla faixa de efeitos negativos sobre o desenvolvimento inicial da planta, o que não foi observado nesse trabalho.

Analisando o incremento da parte aérea, observou-se que as plantas de *E. precatória* que foram submetidas ao estresse do cádmio expressou o maior valor médio para incremento de massa seca nesse compartimento T1 (2,42 g Kg⁻¹). Já o tratamento T4 (0,85 g Kg⁻¹) mostrou o menor valor médio para incremento no mesmo compartimento (Tabela 3). Neste estudo o resultado foi contrário ao que seria esperado, tendo em vista que o cádmio é um elemento não essencial e tóxico às plantas, sendo que altas concentrações desse contaminante, tais como foram adotadas nesse experimento

Andrade (2010), ao analisar teor de cádmio em plantas de arroz em solos incubados com resíduo siderúrgico, observou uma redução da matéria seca das plantas quando submetidas ao estresse do cádmio, o que não foi possível verificar nesse estudo com cultivo de *E. precatória* em solo contaminado com cádmio. As plantas de *E. precatória* não apresentaram sintomas de fitotoxicidade, durante os 40 dias de experimento, mesmo cultivadas em solo contaminado com o metal.

Lindino et al. (2011), ao conduzir um experimento com a espécie *Crotalaria spectabilis* para remoção de metal pesado do solo, constatou que as plantas tiveram uma taxa de 100% de sobrevivência, porém apresentaram redução nas taxas de crescimento em massa seca. Resultados similares aos encontrados por Romeiro et al. (2007) ao estudar a capacidade da espécie *Canavalia ensiformes* de extrair o chumbo de um solo contaminado, pois mesmo com diminuição no crescimento das plantas do experimento, a espécie foi considerada pelos autores uma boa tolerante ao chumbo.

Potencial fitoextrator de E. precatória

Um fato importante ao avaliar a eficiência de cada espécie em absorver os metais pesados em excesso no solo é avaliar a quantidade retida em relação à matéria seca da planta. Na determinação do teor de Cd presente nos dois compartimentos das plantas (raiz e parte aérea), verificou-se que a espécie alvo do estudo apresenta um comportamento distinto quanto absorção, transporte e acúmulo desse metal em seus tecidos. Na tabela 3

pode ser observado os resultados para os teores do metal de interesse nos tecidos vegetais de *E. precatoria*.

Tabela 3 - Concentração de Cd em diferentes tecidos (raiz e parte aérea) de *E. precatoria* após 40 dias de plantio em casa de vegetação.

TRATAMENTO	ACÚMULO DE METAL NOS TECIDOS (mg/kg ⁻¹)	
	RAIZ	P. AÉREA
T1	6,17c	0,02 ^a
T2	0,02a	0,02 ^a
T3	8,05b	0,02 ^a
T4	0,02a	0,02 ^a

T1 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila + Contaminante (Cd); T2 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila; T3 = 55% Areia + 45% Argila + Contaminante (Cd); T4 = 55% Areia + 45% Argila. Letras minúsculas diferentes significam diferenças estatísticas de acúmulo de Cd dentro de cada coluna (raiz e parte aérea).

A partir dessa análise, verifica-se na tabela 3, que somente na raiz o acúmulo do metal foi detectado. Os tratamentos que levaram o contaminante (T1 e T3) apresentaram acúmulo de Cd Tavares (2009) explica que esse fato ocorre, pois na maioria dos casos à absorção de metais pesados pelas plantas pode ser limitado pela baixa solubilidade e difusão destes nos solos. Logo, torna-se importante, estudos voltados para uso de espécies capazes extrair e transportar o máximo de metal pesado presente no ambiente contaminado.

Com base nos resultados da Tabela 3, verifica-se que *E. precatoria*, foi eficaz em fitoextrair o Cd e acumular na raiz. Mesmo em elevadas concentrações desse contaminante no solo, a espécie foi capaz de absorver quantidades significativas desse metal sem afetar seu desenvolvimento. Vários mecanismos em que o sistema radicular pode contribuir com a tolerância de plantas a metais pesados são considerados, como a regulação da absorção do elemento na rizosfera, acúmulo desses nas raízes, preservando a sua integridade e funções primárias, e a baixa translocação para a parte aérea (ARDUINI et al., 1996).

Entretanto, Santos (2005) observou em seu estudo com mostarda, amaranto e kenaf, proporcionalmente mais metal na parte aérea do que na raiz, concluindo que o principal mecanismo de impedimento à translocação de metais para a parte aérea não foi à retenção do metal na raiz, mas sim, algum outro mecanismo ligado à limitação na absorção dos metais.

Watanabe (1997), descreve que uma boa planta hiperacumuladora deve ter como características: alta taxa de acumulação mesmo em baixas concentrações do

contaminante, capacidade concomitante de acúmulo de diversos contaminantes, alta taxa de crescimento e de produção de biomassa, resistência a pragas e doenças, capacidade de absorção e concentração e tolerância ao contaminante. *E. precatoria* mostrou ser uma espécie que dispõe de algumas características citadas por Watanabe. Uma vez que as mudas foram tolerantes ao metal pesado, apresentou incremento em produção de biomassa e acumulou metal pesado em seu sistema radicular.

Concentração de Cd no solo após o período de plantio

De acordo com a tabela 4, nota-se que nos solos contaminados com o metal pesado (Cd), onde foi cultivada a espécie *E. precatoria* ocorreu uma redução na concentração desse contaminante.

Tabela 4 - Propriedades químicas do solo de cada tratamento adotado no experimento após 40 dias de cultivo de *E. precatoria* em casa de vegetação.

TRATAMENTO	pH	K ⁺	----- cmol _c dm ⁻³ -----			Cd mg kg ⁻¹
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	
T1	5,8	0,36	4,13	1,71	3,2	8,56
T2	5,7	0,39	3,96	1,55	3,4	0,05
T3	6,1	0,18	3,06	0,78	2,3	8,77
T4	6,3	0,15	3,31	0,78	1,9	0,02

T1 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila + Contaminante (Cd); T2 = 30% Matéria Orgânica + 40% Areia + 30% Argila; T3 = 55% Areia + 45% Argila + Contaminante (Cd); T4 = 55% Areia + 45% Argila.

Os tratamentos T2 e T4 apresentaram baixos teores de Cd, como não houve adição de Cd nesses tratamentos, esses valores correspondem ao teor de metal presente no solo amostrado em estudo. Os tratamentos T1 e T3, por sua vez exibiram valores maiores de Cd, uma vez que esses tratamentos receberam altas dosagens do contaminante para análise da capacidade de *E. precatoria* em desenvolver-se em solos com elevados teores desse elemento, bem como sua capacidade em translocá-lo para raiz ou parte aérea.

Em todos os tratamentos que foram cultivados *E. precatoria* observa-se a redução dos teores de Cd no solo em relação aos valores iniciais antes do cultivo da espécie. No tratamento T1 houve uma redução de 31,00 mg kg⁻¹ para 8,56 mg kg⁻¹, o T3, que também levou o Cd em sua composição, mostrou uma redução de 71,63mg kg⁻¹ para 8,77mg kg⁻¹

Cetesb (2014) considera que valores de Cd a partir de 3,0 mg kg⁻¹ no solo representam riscos potenciais, diretos ou indiretos, para o desenvolvimento de espécies vegetais, especialmente culturas agrícolas. Alguns estudos mostram que valores acima

desse valor de referência ($3,0 \text{ mg kg}^{-1}$) é capaz de causar fitotoxidez às plantas. Estudos têm indicado que espécies perenes, ao contrário de espécies agrícolas, são mais resistentes a elevadas doses de metais pesados, além disso, essas espécies são acumuladoras de biomassa, um ponto positivo no processo de fitorremediação de metais pesados.

Silva (2011) avaliou o efeito do Cu sobre o crescimento e qualidade de mudas das espécies florestais açoita-cavalo e aroeira-vermelha. Os resultados revelaram que as doses testadas de Cu não alteraram a qualidade de mudas de aroeira-vermelha, sendo ainda considerado benéfico para o desenvolvimento das plantas de açoita-cavalo que removeu do solo em média 64 mg kg^{-1} . O mesmo aconteceu com *E. precatoria*, neste estudo, pois durante o monitoramento do experimento foi possível observar que, mesmo nos tratamentos que levaram alta dosagem do Cd o desenvolvimento das mudas não foi afetado.

Soares et al., (2000) ao avaliar o efeito de concentrações crescentes de metal pesado em mudas de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* observaram que altas concentrações do contaminante não causaram redução na absorção e translocação de outros micronutrientes, não representando mecanismo de fitotoxidez desse metal. Santos et al. (2010), no mesmo sentido, analisando mudas florestais em experimento não encontraram sinais visíveis de fitotoxidez, e consideraram essa característica como um dos indicadores de espécies fitorremediadora.

Borin (2010), ao estudar fitorremediação de Cd e Zn por *Amaranthaceae* constataram que a espécie *Alternanthera* sp. é hiperacumuladora de cádmio, indicadora de zinco e pode ser utilizada em programas de fitorremediação para estabilizar áreas contaminadas com altas concentrações destes elementos. A espécie escolhida para este estudo também não apresentou sinais de fitotoxidez e mostrou-se eficiente em acumular Cd apenas no sistema radicular, o que passa a ser um ponto positivo, pois *E. precatoria* produz um fruto que é bastante consumido por seres humanos.

CONCLUSÃO

Na concentração de Cd testada no experimento não houve inibição no incremento de biomassa de *E. precatoria*. Portanto, mesmo com elevada concentração do contaminante (Cd), a espécie não apresentou sinais de toxicidade.

E. precatoria destacou-se por reduzir a concentração de Cd no solo, principalmente nas raízes, além de mostrar-se uma espécie tolerante ao contaminante, e

por essa característica deve ser investigado seu potencial fitoextrator em condições de campo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Viveiro da Floresta por ceder as mudas de *E. precatoria* para o estudo, bem como à Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC) por disponibilizar a casa de vegetação e laboratório para realização do experimento.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. 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-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. v. 1, p. 299-352
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, A. F. M de; SOBRINHO, N. M. B. do A.; MAZUR, N. Teor de zinco, cádmio e chumbo em plantas de arroz em solos incubados com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 10, p. 1087-1093, 2010.
- ARDUINI, L.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A. Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. **Physiologia Plantarum**, v. 97, p. 111-117, 1996
- BETTAIEB, T.; ARBAOUI, S. Heavy metal accumulation in micropropagated plants of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 6, n. 1, p. 32-33, 2018.
- BORIN, A. L. D. C; **Fitorremediação de cádmio e zinco por Amaranthaceae**. 169 f. 2010. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais) - Universidade de Lavras, Minas Gerais, 2010.
- CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de áreas contaminadas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Cetesb, 2011.
- CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas Senna multijuga, Schizolobium amazonicum e Caesalpinia echinata**. 87 f. 2008. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- CHAVES, L. G. H.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoeira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 263-277, 2010.
- KABATA, P. A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Flórida: CRC. 2001. 413 p.
- KELEPERTSIS, A. E; ANDRULAKIS, I. Geobotânica-biogeoquímica para exploração mineral de depósitos de sulfeto no norte da Grécia - Acumulação de metais pesados por *Rumex acetosella* L. e *Minuartia verna* (L.) Hiern. **Jornal de Exploração Geoquímica**, v. 18, n. 3, p. 267-274, 1983.

- LINDINO, C. A.; TOMCZAK, A. C. G. J. Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de cádmio e chumbo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 25-32, 2011.
- MOSCHEM, J. C.; GONÇALVES, P. R. Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares. **Health and Biosciences**, v. 1, N. 2, p. 88-100, 2020.
- NEDELKOSKA, T. V.; DORAN, P. M. Características da absorção de metais pesados por espécies vegetais com potencial para fitorremediação e fitominação. **Engenharia de Minerais**, v.13, n. 13, p. 549-561, 2000.
- OSMAN, M. E.; EL-FEKY, S. S.; ELSHAHAWY, M. I; SHAKER, E. M. Mechanism of phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) to Pb, Cd and Zn. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 4, p. 30-40, 2017.
- PENDIAS, A. K.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, 432 p., 2001.
- PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade de *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 2., p. 203-210, 2013.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes*. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.
- SANTOS, F. S. AMARAL SOBRINHO, N. M. B. DO; NASCIMENTO, V. S.; HOFFMANN, R. B.; MAZUR, N. Fitorremediação por *Brachiaria humidicola* de área de disposição de um resíduo perigoso. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 1. p. 22-29, 2005.
- SANTOS, G. C. G. DOS et al. Vegetable species for phytoextraction of boron, copper, lead, manganese and zinc from contaminated soil. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p.713-719, 2010.
- SHAHID, M., DUMAT, C., KHALID, S., SCHERECK, E., XIONG, T., NIAZI, N. K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. **Journal of Hazardous Materials**, v. 325, n. 5, p. 36-58, 2017.
- SHEHATA, S. M.; BADAWY, R. K.; BADAWY, Y, I, E. Phytoremediation of some heavy metals in contaminated soil. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 189, p. 1-15, 2019.
- SILVA, R. F.; LUPATINI, M.; ANTONIOLLI, Z. I.; LEAL, L. T.; JUNIOR, C. A. M. Comportamento de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong cultivadas em solo contaminado com cobre. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p.103-110, 2011.
- SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S.; GRAZZIOTTI, P. H. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, n. 3, p. 213-225, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed., Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- VANDECASTELE, B.; LAING, G. D.; FILIP, P. Q. Differences in Cd and Zn bioaccumulation for the flood tolerance *Salix cinérea* in seasonally flooded contaminated sediments. **Science of the Total Environment**, v. 341, p. 251-263, 2005.
- WATANABE, M. E. Phytoremediation on the brink of commercialization. **Environment Science Technology**, v. 31, p. 182-186, 1997.