

EFEITO DO CÁDMIO NA MORFOANATOMIA DE SALVINIA AURICULATA

Douglas Almeida Rodrigues (*douglasalmeida_rv13@hotmail.com*)

Paula Andrea Nascimento dos Reys Magalhães (*preys@hotmail.com*)

Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho (*sebastiao-vasconcelos@hotmail.com*)

Resumo

Diferente dos poluentes orgânicos, os metais pesados permanecem por muitos anos em ambientes aquáticos, sendo altamente tóxicos para as espécies da fauna e flora. Porém, diversas espécies possuem a habilidade de adaptação e sobrevivência nesses ambientes altamente contaminados, podendo ser tolerantes ou sensíveis a esses elementos, utilizadas como bioindicadoras da qualidade de água *in situ*, devido à capacidade que elas apresentam de absorção e acumular em seus tecidos, as substâncias inorgânicas do corpo d'água de um modo seletivo. *Salvinia auriculata* destaca-se pela facilidade de manipulação experimental e por ser encontrada facilmente em todo o país. O presente estudo objetivou avaliar as alterações morfológicas e anatômicas da *Salvinia auriculata* exposta a diferentes concentrações de Cd e seu efeito no crescimento da planta. O experimento foi conduzido no laboratório de Anatomia Vegetal IFGoiano/Campus Rio Verde, Goiás. Foram utilizados indivíduos de *Salvinia auriculata*, proveniente da empresa Aquários Plantados, localizada em Belo Horizonte, livre de contaminação de Cádmio (Cd). O material foi cultivado em sistema hidropônico durante 20 dias e, após o período experimental, as amostras foram submetidas a técnicas usuais de anatomia vegetal. Sintomas de toxidez foram observados em decorrência da presença de cádmio, a partir da menor concentração, com aparecimento de clorose e necrose. Análises microscópicas evidenciaram aumento da altura e largura das lacunas do aerênquima, do mesófilo e a redução das células da epiderme face abaxial, decorrente do aumento das doses desse metal. Observou-se que *S. auriculata* é uma planta sensível ao cádmio, sendo assim, indicada ao monitoramento ambiental.

Palavras-chave: ecológico; espécies aquáticas; poluição

Abstract

Unlike organic pollutants, heavy metals remain for many years in aquatic environments and are highly toxic to fauna and flora species. However, many species have the ability to adapt and survive in these highly contaminated environments and can be tolerant or sensitive to these elements, used as bio-indicators of water quality *in situ*, due to the ability they have to absorb and accumulate in their tissues inorganic substances from the water body in a selective way. *Salvinia auriculata* is distinguished by ease of experimental manipulation and because it is easily found throughout the country (Brazil). This study aimed to evaluate the morphological and anatomical changes of *Salvinia auriculata* exposed to different concentrations of Cadmium (Cd) and its effect on plant growth. The experiment was carried out in the laboratory of Plant Anatomy of Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute/Campus Rio Verde, Goiás State, Brazil). Individuals of *Salvinia auriculata* free of Cadmium contamination from the Planted Aquariums Company were used, located in Belo Horizonte City, Minas Gerais State, Brazil. The material was cultivated under hydroponic system for 20 days and, after the experimental period, the samples were subjected to the usual techniques of plant anatomy. Toxicity symptoms were observed due to the presence of cadmium in lower concentration, with the emergence of chlorosis and necrosis. Microscopic analysis showed increasing height and width of the gaps of aerenchyma, mesophyll, and the cells reduction of the abaxial epidermis surface, resulting from increasing doses of this metal. It was observed that *S. auriculata* is a sensitive plant to cadmium; therefore, it is nominated for environmental monitoring.

Key words: ecological; aquatic species; pollution

1.INTRODUÇÃO

A poluição do solo e da água por metais pesados ocorre devido às atividades industriais, agrícolas e pela urbanização, tornando-se um sério problema crescente e responsável por impactos no meio ambiente (CARNEIRO et al., 2002). A contaminação dos recursos hídricos por metais pesados tem sido motivo de preocupação de pesquisadores e órgãos governamentais (OLIVEIRA et al., 2001). Alguns desses metais como o chumbo, zinco, arsênio e o cádmio que, além de serem tóxicos em pequenas quantidades, são capazes de se acumular, interferindo na teia trófica.

O cádmio é altamente tóxico, frequentemente descartado de forma inapropriada no ambiente, podendo atingir o solo, o meio aquático ou o ar, por meio da queima de resíduos urbanos e de combustíveis fósseis, consequentemente contaminando o meio ambiente e alterando o ecossistema (PINO, 2005). Os problemas decorrentes desse metal, não se limitam apenas à área ambiental. A intoxicação por este metal aos seres vivos pode trazer problemas específicos conforme o tipo de contaminação ocorrida: quando a intoxicação ocorre por meio das vias aéreas, pela inalação da poeira de Cd, podem ocorrer problemas no trato respiratório e nos rins, podendo levar à morte; no caso de intoxicação via oral, quando ocorre a ingestão de uma quantidade significativa de Cd, pode advir envenenamento imediato e danos ao fígado e aos rins; já na intoxicação por contato, podem ocorrer alterações genéticas (BRADY e HUMISTON, 1986; WEBELEMENTS, 2015).

Visando obter uma tecnologia com baixo custo e eficiente, a recuperação de áreas contaminadas pela fitorremediação utilizando plantas aquáticas tem sido estudada em todo o mundo (GARDEA-TORRESDEY et al., 2005; VARDANYAN e INGOLE, 2006). Para avaliar a eficácia da fitorremediação, é necessário expor as espécies a serem trabalhadas frente ao contaminante. Pois, para que uma planta seja um bom fitorremediador, é necessário que ela acumule concentrações relativamente elevadas do poluente em seus tecidos, sem sofrer efeitos de toxidez. Caso a planta seja susceptível ao poluente, apresentando sintomas, ela é considerada um indicador ecológico da poluição.

Segundo Paiva (2002), as espécies quando submetidas a ambientes contaminados por metais pesados respondem de forma muito variável, tornando necessário testar o comportamento de cada espécie e o período da contaminação, sendo importante avaliar o efeito causado por esse metal na morfologia e crescimento a fim de analisar as consequências sofridas pelas macrófitas, confirmando sua utilização como bioindicadora. Devido à falta de estudo sobre o tema o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos do Cd na

morfologia e anatomia da *Salvinia auriculata* Aubl. a fim de contribuir com informações para sua utilização em trabalhos de monitoramento ambiental.

2.MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Anatomia vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGoiano/Campus Rio Verde). Indivíduos adultos de *Salvinia auriculata* Aubl. (Salvinaceae) foram adquiridos da empresa Aquários Plantados, localizada em Belo Horizonte.

2.1CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS

Indivíduos adultos de *Salvinia auriculata* foram desinfetados, utilizando para isso solução de hipoclorito de sódio 1% com imersão por 30 minutos nesta solução e, depois deste período, foram lavados com água deionizada para retirada do excesso de hipoclorito.

Posteriormente, as plantas foram previamente selecionadas, a fim de manter a homogeneidade, colocadas em uma bacia de capacidade de 25 L contendo solução nutritiva de Hoagland-Arnon modificada com 1/5 da força iônica, pH 6,5 por 6 dias, para a sua adaptação.

Após o período de adaptação, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade de 1,2 L de solução sendo (4 indivíduos/vasos), mantendo-se ajustando o pH para 6,5 da solução de Hoagland-Arnon, com adição das seguintes concentrações crescentes de Cádmio: 0 (T1); 2,5 (T2); 5 (T3); 7,5 (T4) e 10 (T5) μM na forma de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$.

As alterações morfológicas nas folhas foram observadas diariamente durante 20 dias. A solução foi trocada a cada três dias e aerada constantemente através de um compressor.

2.2 ANÁLISES ESTRUTURAL

Amostras foliares de 2 cm^2 da região do limbo foliar foram coletadas com o auxílio de uma pinça e cortadas com navalha descartável de uma plântula por vaso, após 20 dias de cultivo hidropônico e, fixadas em solução de Karnovsky, (KARNOVSKY, 1965), por 24 horas, desidratadas em série etílica crescente, pré-infiltradas e infiltradas em historesina (Historesin Leica), de acordo com as recomendações do fabricante.

O material foi seccionado transversalmente a 5 μm de espessura, em micrótomo rotativo (modelo RM 2155, Leica). Os cortes foram corados com a coloração azul de toluidina 0,05% pH 4,0 (O'BRIEN et al., 1964) e montados com Bálsamo do Canadá. As imagens foram obtidas em microscópio da marca Olympus modelo BX61 com câmera DP-72.

Para as análises micromorfométricas, foram efetuadas medidas das espessuras da epiderme (faces adaxial e abaxial), do mesofilo e das lacunas do aerênquima (altura e largura) das folhas. Todos os dados foram obtidos com auxílio do software ImageJ – Image Processing and Analysis in Java, versão 1.47, perfazendo um total de 10 observações/repetição para cada estrutura avaliada.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições e 5 tratamentos sendo cada repetição composta por 4 plantas por vaso. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão, utilizando-se o programa estatístico Assistat.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento de plântulas

S. auriculata expostas ao (Cd) apresentaram sintomas visíveis de toxidez, como clorose e necrose na superfície foliar com tonalidade marrom, até na menor dosagem de 2,5 µM (Figura 1B). Com o aumento das doses desse metal adicionado à solução nutritiva, as alterações que a planta sofreu foram intensificadas (Figura 1C, 1D, 1E e 1F) quando comparadas com a testemunha, livre desse gradiente (Figura 1A). Esse é um sintoma claro observado em plantas terrestres, como cevada (SRIDHAR et al., 2007) e também aquáticas, como *Salvinia auriculata* (SIRIWANT et al., 2006) expostas a esse metal.

Segundo Qian et al. (1999), os íons de Cd²⁺ parecem ser eficientemente absorvidos pelas raízes das plantas, sendo seu transporte para outras partes, muito baixo. Além disso, o cádmio pode causar diminuição do crescimento, atrofia no desenvolvimento radicular, enrolamento e descoloração das folhas (HUTCHINSON e CZYRSK, 1975), necrose nos tecidos (MAINE et al., 2000) e danos em sistemas metabólicos ou na síntese das proteínas (OLIVEIRA et al., 2001).

Nas concentrações mais elevadas (10 e 20 µM de Cd) o sintoma de toxidez mais comumente observado por Oliveira (2001) trabalhando com aguapé, foi à presença de clorose interveinal nas folhas, corroborando com o trabalho presente. O mesmo autor trabalhando com *Salvinia* observou a partir de concentrações de Cd de 5 µM redução na capacidade de sobrevivência das plantas, comportamento esse não observado no presente estudo.

Estudos mostram que a exposição de plantas a concentrações elevadas de Cd proporcionam a inibição no crescimento e sintomas visíveis de clorose nas folhas (ZHOU et al., 2008; CLEMENS, 2006), causado pela queda fotossintética, redução na absorção e no transporte de nutrientes (LARSSON et al., 1998). Quando expostas a este gradiente, a planta

evidencia danos morfológicos, devido à substituição do Fe^{+2} pelo Cd^{+2} durante os processos fisiológicos (STOHS e BAGCHI, 1995). Yoshihara et al (2006) trabalhando com *Nicotiana tabacum* observaram que o cádmio causa deficiência do Fe^{+2} .



Figura 1. *Salvinia auriculata* mantidas por 20 dias em solução nutritiva com diferentes concentrações de Cd. Controle (A) e tratadas com 2,5; 5; 7,5 e 10 μM de Cd (B, C, D E-F) respectivamente. Observaram-se manchas escuras na parte aérea (\rightarrow).

3.2 Análises estrutural

Comparadas ao controle (Figura 2A) na região do limbo foliar, as alterações na arquitetura do parênquima, com o aumento das lacunas do aerênquima das folhas de *Salvinia auriculata* (Figuras 2B, 2C, 2D, 2E e 2F) foram evidentes. Em plantas aquáticas, o aerênquima desenvolve-se principalmente por desintegração de células, seguindo alguns fatores: a deficiência de oxigênio promove a produção de etileno pelo estímulo anaeróbico, o qual causa um aumento na atividade da celulase, que conduz a desintegração de células e o desenvolvimento de aerênquima (FAHN, 1982). Neste caso, o aerênquima funciona como uma estratégia alternativa para a obtenção de O_2 (DREW et al., 2000).

O mesmo fato pode ser observado na presença de Cd, pois este elemento metálico estimula a produção de etileno em espécies vegetais (CHEN e KAO, 1995; TOPPI et al., 1998). Embora no presente trabalho não tenha sido avaliada a concentração de etileno nos

diferentes tratamentos, acredita-se que as alterações observadas nas lacunas do aerênquima foliar de *S. auriculata* podem estar relacionadas à alteração nas concentrações desse hormônio (DANTAS, et al. 2001).

Além de alterações nas células da epiderme, verificou-se acúmulo de conteúdos fortemente corados pelo azul de toluidina (metacromasia) na região abaixo da epiderme adaxial (Figuras 2B, 2C e 2D). Tanto na concentração de 7,5 μM de Cd como na de 10 μM alguns pontos da parede se romperam (Figuras 2C, 2E e 2F).

As principais alterações causadas por poluentes nas plantas são: aumento ou diminuição na produção de algumas enzimas, alterações genéticas, alterações quantitativas e qualitativas de metabólitos (PASQUALINI et al., 2003; GEROSA et al., 2003; KLUMPP et al., 2006). Em decorrência, surgem sintomas como clorose e necrose em tecidos e órgãos, podendo levar à mortandade da planta, como foi observado no presente estudo.

O aumento das doses de Cd na solução exerceu efeito negativo sobre o crescimento das plantas. As plantas apresentaram sensibilidade a esse íon, uma vez que a menor dose deste metaloide, além de causar sintomas visíveis nas folhas, como deterioração do tecido foliar, influenciou negativamente no seu crescimento, durante os vinte dias de experimento.

Sritdhar et al. (2005) trabalhando com *Brassica juncea* (L.) e *P. ferrugineum* observaram que o elemento Zn ocasionou a compactação do mesófilo e a diminuição dos espaços intercelulares em suas folhas. Já em *E. canadenses*, Vecchia et al., (2005) observaram um aumento nas células do mesófilo, após a exposição ao íon Cd, diminuindo o número de células por área.

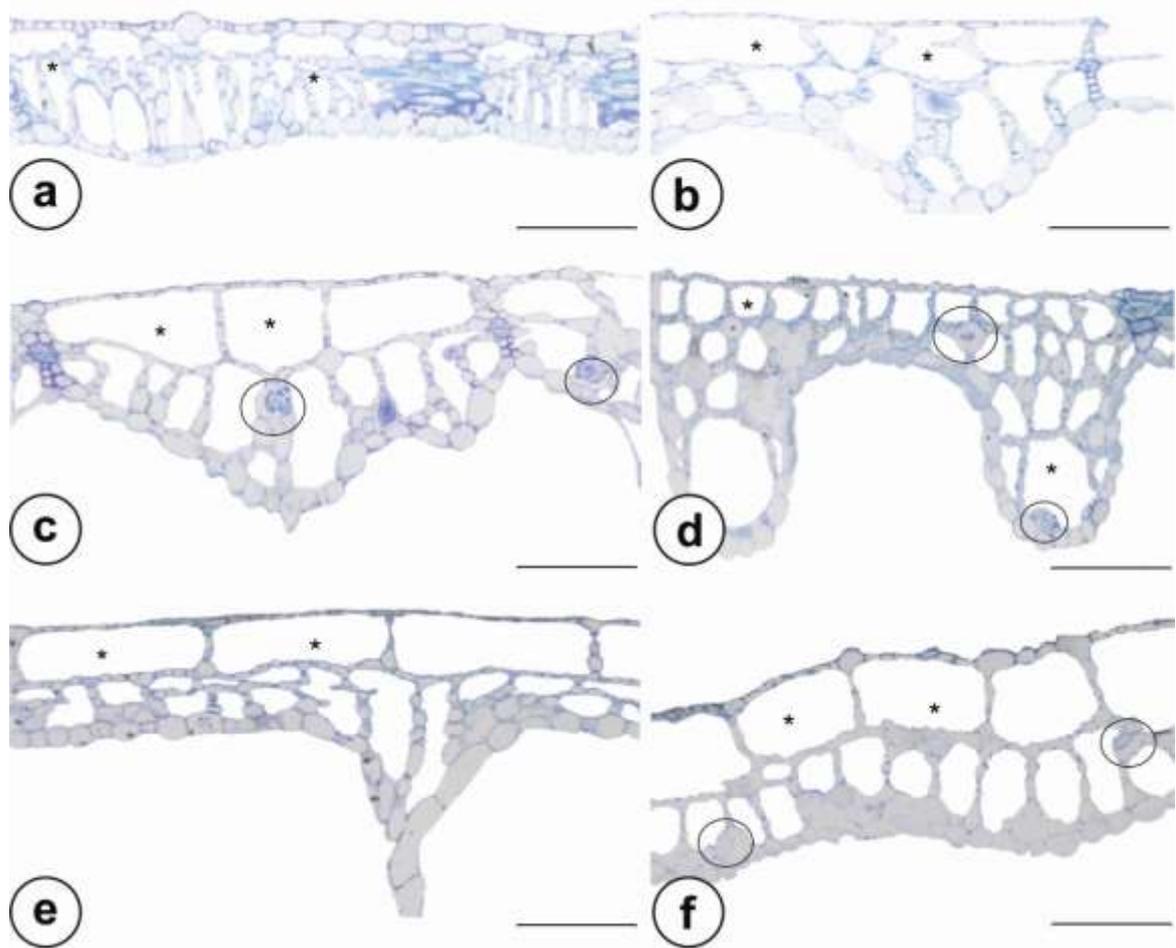


Figura 2. Limbo foliar de *Salvinia auriculata* (cortes transversais corados com azul de toluidina), após 20 dias de experimento. A: controle; B: 2,5µM de Cd; C: 5µM de Cd; D: 7,5 µM de Cd e E-F:10 µM de Cd. Desarranjo e aumento das lacunas do aerênquima (*). Acúmulo de conteúdos fortemente corados (círculo). Escala da foto de 200 µm.

Para a altura da epiderme da face adaxial, observou-se que a partir da dose de 2,5 µM as células apresentaram maior alongação, resultando em aumento da espessura desse tecido com o aumento das concentrações de Cd (Figura 3). Plantas cultivadas sem a presença de Cd apresentaram células epidérmicas da face abaxial maiores (35,21 µm), enquanto que as menores médias foram observadas nos tratamentos com 7,5 e 10 µM de Cd (Figura 3). Na análise de regressão, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o linear. Guglieri, Longhi-Wagner e Zuloaga (2007) trabalhando com folhas de *P.aquaticum* observaram redução da espessura do limbo foliar com o aumento das concentrações de Cd (4, 7, 10, 13 e 15 µM de Cd), não corroborando com o presente trabalho.

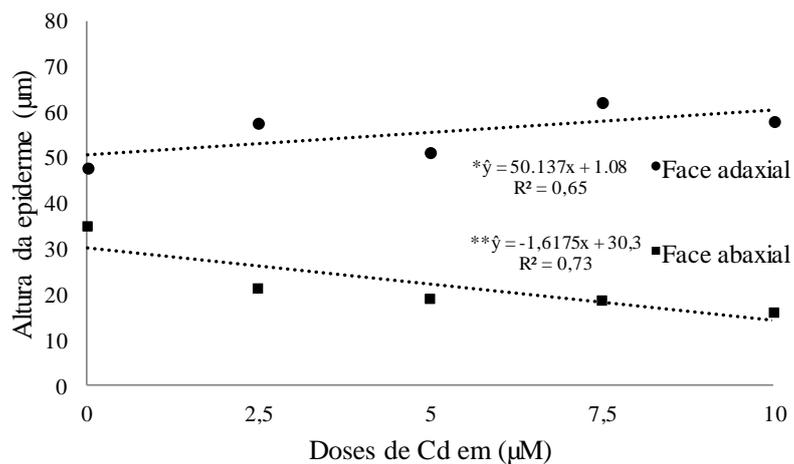


Figura 3. Análise de regressão da altura da epiderme da face abaxial e adaxial das folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução de Hoagland-Arnon, submetidas, a diferentes concentrações de cádmio.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 13,56 (face adaxial),

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 26,29 (face abaxial).

Para a espessura do mesofilo, o modelo de regressão que melhor se adequou aos resultados foi o linear. Os tratamentos com cádmio nas doses de 7,5 µM e 10 µM demonstraram expansão na espessura do mesofilo (Figura 4). Trabalhando com *S.mole*, Paulo (2013) observou o aumento da espessura do mesofilo nas concentrações de 10 e 20 µM de Cd. Alterações na área e na proporção dos tecidos foliares podem ser consequências devido à exposição contínua aos metais pesados (LUX et al., 2011; VACULÍK et al., 2012). Assim, o aumento de espessura na região do mesofilo nas maiores concentrações de cádmio representa maior diâmetro das folhas.

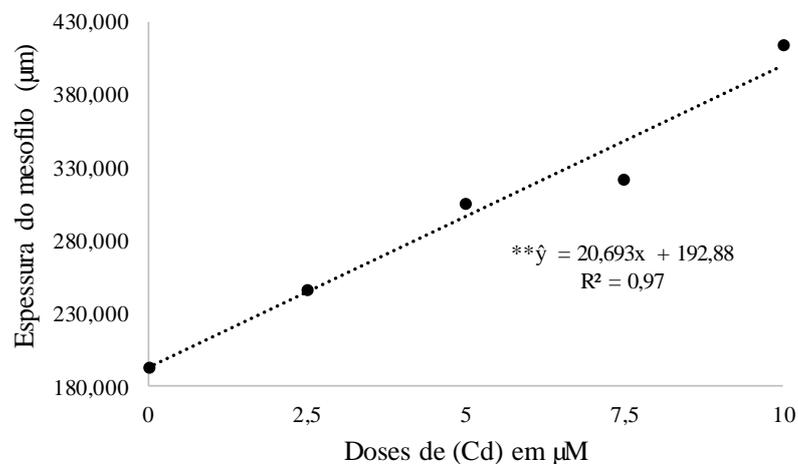


Figura 4. Análise de regressão da espessura do mesofilo das folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução de Hoagland-Arnon, submetidas, a diferentes concentrações de cádmio.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,43.

Na figura 5, observou-se que a altura das lacunas do aerênquima em doses mais altas de cádmio foi maior quando comparadas ao controle. Os tratamentos influenciaram na alongação do aerênquima (Figura 5). Os aumentos das doses apresentaram maiores índices, podendo observar que o tratamento com 10 μM de cd apresentou 426 μm de espessura, diferindo dos demais tratamentos (Figura 5). Pereira (2010) trabalhando com *E. crassipes* submetidas ao cádmio não observou alterações na proporção dos aerênquimas até nas maiores concentrações desse metal.

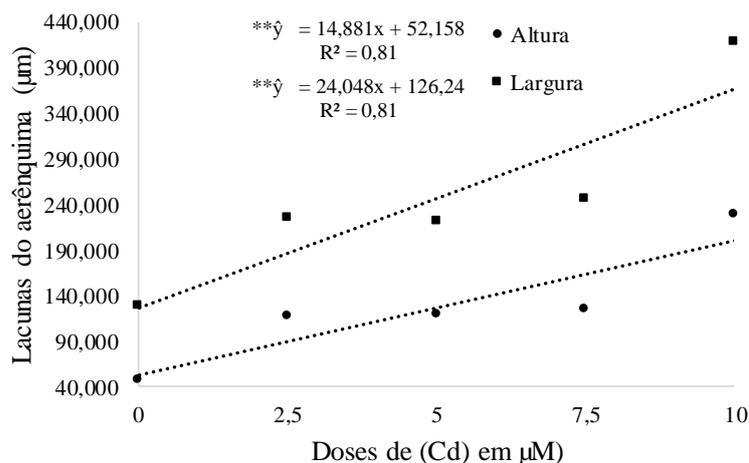


Figura 5. Análise de regressão da altura das lacunas do aerênquima das folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução de Hoagland-Arnon, submetidas, a diferentes concentrações de cádmio.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 37.49 (altura das lacunas),

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 14.58 (largura das lacunas).

4. CONCLUSÃO

Salvinia auriculata é uma espécie sensível ao Cd, apresentando sintomas visíveis de toxidez, como clorose e necrose, na superfície foliar, a partir da menor dose desse elemento, restringindo, dessa forma, o seu uso na descontaminação de ambientes contaminados. Por outro lado, é indicada ao programa de monitoramento ambiental como um indicador ecológico.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Cnpq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, aos meus orientadores pela oportunidade dada de desenvolver este projeto e à toda equipe do laboratório de Anatomia Vegetal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. **Química Geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v: 1. 1986.

CARNEIRO, M. A.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. de; **Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v: 37, n. 11, p. 1629-1638, 2002.

CHEN, S.L. & KAO, C.H. Prior temperature exposure affects subsequent Cd-induced ethylene production in rice leaves. **Plant Science**. V: 104: p.135-138, 1995.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochimie**, Paris, v: 88, n. 11, p. 1707-1719, Nov. 2006.

DANTAS, B.F.; ARAGÃO, C.A. & ALVES, J.D. **Cálcio e o desenvolvimento de aerênquimas e atividade de celulase em plântulas de milho submetidas à hipoxia**. Scientia Agrícola v: 58: p.251-257, 2001.

DREW, M.C.; HE, C.J. & MORGAN, P.W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science** v: 5: p.123-127, 2000.

FAHN, A.. Plant Anatomy. Oxford, **Pergamon Press**. p.544, 1982.

GARDEN-TORRESDEY, J. L.; PERALTA-VIDEA, J.; LA ROSA, G.; PARSON, J. G. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. **Coordination Chemistry Reviews**, Switzerland, v: 249, n. 17/18, p. 1797-1810, 2005.

GEROSA, G.; MARZUOLI, R.; BUSSOTTI, F.; PANCRAZI, M.; BALLARIN-DENTI, A. Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. **Environmental Pollution**, v: 125: p.91-98, 2003.

GUGLIERI, A.; LONGHI-WAGNER H.M.; ZULOAGA, F. O. Panicum Sect. Dichotomiflora (Hitc. & Chase) Honda e P. sect. Virgata Hitc. & Chase ex Pilg. (Poaceae: Panicoideae: Paniceae) no Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v: 21, n. 4, p. 785-805, 2007.

HUTCHINSON, T. C.; CZYRSK, A. H. **Heavy metal toxicity and synergism to floating aquatic weeds**. Verh. Int. Ver. Limnol., v: 19, p. 2102-2111, 1975.

KARNOVSKY, M. J. A. **formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy**. **Journal of Cell Biology**, v: 27, p. 137-138, 1965.

KLUMPP, A., ANSEL, W.; KLUMPP, G., CALATAYUD, V., CARREC, J. P., HE, S., PEÑUELA, J., RIBAS, A., RO-POULSEN, H., RASMUSSEN, S., SANZ, M. J.; ERGNE, F. Tradescantia micronucleus test indicates genotoxic potencial of traffic emissions in European cities. **Environmental Pollution**, v: 139, p. 515-522. 2006.

LARSSON, E. L.; BORNMAN, J. F.; ASP, H. Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in Brassica napus. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v: 49, n. 323, p. 1031-1039, June. 1998.

LUX, A. et al. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 21-37, 2011.

MAINE, M. A.; DUARTE, M. V.; SUNÉ, N. L. Cadmium Uptake by Floating Macrophytes. **Water Research**, v. 35, Issue 11, p. 2629-2634, 2000.

O'BRIEN, T. P; FEDER, N; MCCULLY, M. E. **Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O**. Protoplasma, v: 59, p.368-373, 1964.

OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvinia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13(3): p. 329-341. 2001.

OLIVEIRA, F. C; MATTIAZZO, M. E.; **Mobilidade de metais pesados em um Latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar.** Revista Scientia Agricola, v: 58, n. 4, p. 807-812, 2001.

PAIVA, H. N; CARVALHO, J. G; SIQUEIRA, J. O. **Índice de translocação de nutrientes em mudas de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de Ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) Submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo.** Revista Árvore, 26(4): p.467-473, 2002.

PASQUALINI, S., PICCIONI, C., REALE, L., EDERLI, L., TORRE, G. D.; FERRANTI, F. Ozone-induced cell death in tobacco cultivar Bel W3 plants. The role of programmed cell death in lesion formation. **Plant Physiology**, v: 133, p. 1122-1134. 2003.

PAULO, M. P. **Anatomia e Fisiologia de Plantas de *Schinus molle* L. (Anacardiaceae) expostas ao cádmio: Mecanismos de Tolerância e Potencial para Fitorremediação.** Dissertação (mestrado em Concentração Botânica) – Universidade Federal de Lavras, p. 77, 2013.

PEREIRA, F. J. **Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivadas na presença de arsênio, cádmio e chumbo.** Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras p. 116, 2010.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

QIAN, J. H.; ZAYED, A.; ZHU, Y.L.; YU, M.; TERRY, N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: III. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species. **J Environ Qual**, 28(5), p. 1448-1456, 1999.

SIRIWANT, P., MALEEYA, K., PRAYAD, P. and SUCHART, U. Toxicity and bioaccumulation of cadmium and lead in *Salvinia cucullata*. **Journal of Environmental Biology**, v: 27, nº. 4, p. 645-652. 2006.

SRIDHAR, B.B.M.; DIEHL, S.V.; HAN, F.X.; MONTS, D.L. & SU, Y. Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*). **Environmental and Experimental Botany** v: 54, p. 131-141, 2005.

SRIDHAR, B. B. M.; HAN, F. X.; MONT, D. L.; SU, Y. Effects of Zn and Cd accumulation on structural and physiological characteristics of barley plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v: 19, n. 1, p. 15-22, Jan/Mar. 2007.

STOHS, S. J.; BAGCHI, D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v: 18, n. 2, p. 321-336, Feb. 1995.

TOPPI, L.S.; LAMBARDI, M.; PAZZAGLI, L.; CAPUGGI, G.; DURANTE, M. & GABBRIELLI, R. Response to cadmium in carrot in vitro plants and cell suspension cultures. *Plant Science* v: 137: p.119-129, 1998.

VACULÍK, M. et al. Root anatomy and element distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. **Environmental Pollution**, Barking, v: 163, p. 11-126, 2012.

VARDANYAN, L. G.; INGOLE, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolin (India) lake systems. **Environment International**, New York, v: 32, n. 2, p. 208-218, 2006.

VECCHIA, F.D.; LA ROCCA, N.; MORO, I.; DE FAVERI, S.; ANDREOLI, C. & RASCIO, N. Morphogenetic ultrastructural and physiological damages suffered by submerged leaves of *Elodea canadensis* exposed to cadmium. **Plant Science** v: 168: p.329-338, 2005.

ZHOU, Q. A.; ZHANG, J.; FU, J.; SHI, J.; JIANG, G. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 606, n. 2, p. 135-150, Jan. 2008.

WEBELEMENTS. Chemistry. Disponível em: <<http://www.webelements.com>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

YOSHIHARA, T.; HODOSHIMA, H.; MIYANO, Y.; SHOJL, K.; SHIMADA, Y.; Goto, F.
Cadmium inducible Fe deficiency responses observed from macro and molecular views in tobacco plants. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 25, n. 4, p. 265-373, Apr. 2006.