

AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE IPÊ-ROXO (*HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* (MART. EX DC.) MATTOS)), NATIVA DO CERRADO MARANHENSE COMO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS

Data de aceite: 01/09/2023

Talita Nicole da Silva Lima

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<http://lattes.cnpq.br/1420275779048615>

Adâmis Nascimento dos Santos

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<http://lattes.cnpq.br/1807560265008453>

Ivaneide de Oliveira Nascimento

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<http://orcid.org/0000-0001-7095-7092>

Jeovania Oliveira Lima

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<http://orcid.org/0000-0001-7465-8540>

Gabriel Guzzard Santos da Cruz

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<http://orcid.org/0009-0007-1060-4747>

Jorge Diniz de Oliveira

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<https://orcid.org/0000-0001-9421-0524>

Thatyane Pereira de Sousa

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<https://orcid.org/0009-0009-1263-0388>

Niara Moura Porto

Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
<https://orcid.org/0000-0003-3704-7294>

RESUMO: O ambiente é continuamente contaminado por ações antrópicas, através de resíduos industriais e agrícolas. Com o avanço da biotecnologia uma proposta promissora é o uso da fitorremediação na despoluição do solo. Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar o comportamento fisiológico do ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), na fitorremediação de solo contaminado por Mn, Zn e Pb em condições de casa de vegetação. O experimento foi

conduzido em delineamento inteiramente casualizado em fatorial 2 x 3, sendo 2 tratamentos (T1= solo dopado; T2= solo não dopado), 3 datas de avaliações, com seis repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O solo preservado utilizado no experimento, apresentou alta disponibilidade de manganês (Mn), se caracterizou como solo ácido, CTC baixa e teor de matéria orgânica abaixo de 10%. O índice de clorofila, número de folhas, altura de planta e o tamanho da raiz, das plantas de ipê-roxo, apresentaram o mesmo comportamento tanto em solo dopado quanto em solo não dopado. Aos 45 dias o ipê-roxo em solo dopado, alcançou maior altura, maior massa fresca da parte aérea e raiz e seca da parte aérea. Apresentando potencial para ser utilizada como ferramenta na fitorremediação de solos com concentração de Mn (Manganês), Pb (Chumbo) e Zn (Zinco).

PALAVRAS-CHAVE: Espécie do Cerrado, fitorremediação, fisiologia, micronutrientes.

PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF IPÊ-*(HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* (MART. EX DC.) MATTOS) NATIVE FROM THE CERRADO MARANHENSE AS A POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS

ABSTRACT: The environment is continuously contaminated by human actions, through industrial and agricultural waste. With the advancement of biotechnology, a promising proposal is the use of phytoremediation in soil depollution. In this sense, the present work aimed to analyze the physiological behavior of the purple ipê (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), in the phytoremediation of soil contaminated by Mn, Zn and Pb under greenhouse conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design in a 2 x 3 factorial, with 2 treatments (T1= doped soil; T2= non-doped soil), 3 evaluation dates, with six replications. The data obtained were subjected to analysis of variance, and the means compared by the Tukey test at a 5% probability level. The preserved soil used in the experiment, showed high availability of manganese (Mn), was characterized as acid soil, low CEC and organic matter content below 10%. Chlorophyll index, number of leaves, plant height and root size of ipê-roxo plants showed the same behavior both in doped soil and in non-doped soil. At 45 days, the ipê-roxo in doped soil reached greater height, greater fresh mass of shoots and roots and dry mass of shoots. Showing potential to be used as a tool in the phytoremediation of soils with concentrations of Mn (Manganese), Pb (Lead) and Zn (Zinc).

KEYWORDS: Cerrado species, phytoremediation, physiology, micronutrientes

1 | INTRODUÇÃO

A natureza tem sofrido continuamente com a ação antrópica, como a falta de tratamento dos esgotos, ou até mesmo dejetos industriais e agropecuários que são jogados indiscriminadamente no meio ambiente prejudicando o mesmo, sendo o solo e as plantas um dos primeiros a serem afetados. Em consequência, diariamente substâncias químicas são dispensadas no ambiente sem o devido tratamento.

Essa poluição que atinge o solo pode ser advinda de metais potencialmente tóxicos (Ali *et al.*, 2013), sendo o manganês (Mn), o chumbo (Pb) e o zinco (Zn) os metais

que se encontram presentes no solo. Dentro deste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar o uso de fotossintetizantes e sua microbiota com a finalidade de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos (Dinardi *et al.*, 2003).

As plantas do cerrado, apresentam potencial de serem indicadas como fitorremediadoras, uma vez que naturalmente se desenvolvem em ambientes com baixa fertilidade de solo e condições climáticas adversas. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) aponta que no Estado do Maranhão encontra-se o Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas, um inventário florístico revelou que das 914 espécies de árvores e arbustos registradas em 315 localidades de Cerrado, somente 300 espécies ocorrem em mais do que oito localidades, e 614 espécies foram encontradas em apenas uma localidade (Ratter *et al.*, 2003). Localizadas em grande parte no solo Maranhense, uma dessas espécies encontradas é o ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), capaz de reter contaminantes e ser utilizada na fitorremediação de áreas degradadas.

As plantas possuem uma enorme capacidade de absorver os poluentes do meio ambiente e realizar sua desintoxicação através de diversos mecanismos (Ali *et al.*, 2013). Estudos apontam que o ipê-roxo é resistente a contaminação, sendo assim, é umas das plantas usadas em solos degradados, o uso do cádmio (Cd) promove a redução no teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na raiz e os micronutrientes foliar não são afetados. Paiva *et al.* (2000) relata que a parte aérea do ipê-roxo é a mais sensível em relação a raiz da planta. Em ambientes contaminados as raízes das plantas fitoquelantes vão se expandir a uma maior área, para captura dos metais, esses fitoquelantes que fazem com que elas tolerem altos teores de Zn e Cd.

Dessa forma a fitorremediação envolvendo o emprego de plantas que apresentam a capacidade de absorção de elementos químicos e substâncias químicas consideradas tóxicas ao meio ambiente, removendo e imobilizando ou tornando os contaminantes inofensivos para o ecossistema, se apresenta como uma metodologia viável (Marques *et al.*, 2011). Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar o comportamento fisiológico do ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), na fitorremediação de solo contaminado por Mn (II), Zn (II) e Pb (II) em condições de casa de vegetação.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão em casa de vegetação. Para a análise do solo foi utilizada a metodologia proposta pela Embrapa (2011), no Laboratório de Química. As mudas de o ipê roxo foram produzidas através de sementes cedidas pela UEMASUL, as quais foram transplantadas para os vasos definitivos quando obtiveram, aproximadamente, 20 cm de altura.

2.1 Coleta, preparo e tratamento das amostras do solo

As amostras de solos utilizados para os experimentos foram oriundas da área preservada próximo ao lixão de Imperatriz-MA, com coordenadas geográficas 5° 25' 34.2" S 47° 32' 26.4" W. A coleta foi realizada com pá e o material acondicionado em baldes previamente higienizados.

No laboratório de Química as amostras foram transferidas para bandeja plástica e seca ao ar livre. Após a secagem as amostras foram descompactadas e trituradas em gral de porcelana; em seguida, fracionadas utilizando-se peneiras de 2 mm. O material fracionado foi acondicionado em frasco de polietileno de cor escura e submetido à refrigeração até o momento das análises.

As amostras para determinação dos metais potencialmente tóxicos foram transferidas para cápsulas de porcelana e submetidas à secagem em estufa a $60^{\circ} \pm 1$ C, por 24 horas. Em relação ao preparo do solo, foram adicionados 60mg de chumbo, cromo e zinco, para obtenção do solo dopado. O manganês já estava presente em alta quantidade no solo.

2.1.1 Determinação de pH em H_2O e KCl

Foram determinados potenciométricamente em suspensão, empregando 10,0 gramas de cada amostra e acrescentados 25 mL de água e solo: KCl 1 mol L^{-1} e solo (relação 1:2,5) e agitou-se por 40 min. Após a agitação a suspensão foi deixada em repouso por 1 h. Em seguida fez-se as medições do pH nas amostras. As análises foram feitas em triplicata.

2.1.2 Determinação da percentagem de matéria orgânica

Em cadinho de porcelana previamente calcinado a 550°C e aferido. As amostras secas e peneiradas a 0,35 mm foram submetidas à calcinação por 4 horas, em forno mufla a 550°C . Decorrido o tempo de calcinação, o cadinho foi resfriado em um dessecador. A percentagem de matéria orgânica foi obtida por meio da diferença entre o peso inicial da amostra e o peso após a calcinação (EMBRAPA, 2011).

2.1.3 Determinação da capacidade de troca catiônica

A determinação da capacidade de troca catiônica foi realizada em cadinho de porcelana previamente calcinado a 550°C e aferido. As amostras secas e peneiradas a 0,35 mm foram submetidas à calcinação por 4 horas, em forno mufla a 550°C . Decorrido o tempo de calcinação, o cadinho foi resfriado em um dessecador. A determinação da CTC das amostras foi feita de acordo com a equação abaixo:

$$\text{CTC (cmol c kg}^{-1}\text{)} = [\text{pH1-pH2}] \times \text{Kctc}$$

Onde:

pH1= pH da suspensão contendo a amostra;

pH2 = pH da solução de ácido acético;

Kctc = Soma das cargas dos cátions presentes na CTC do solo.

2.2 Produção de mudas

As mudas de ipê roxo foram produzidas através de sementes, as quais foram submetidas a superação de dormência, colocando-as por 18 horas em temperatura ambiente, obteve melhores resultados através da imersão das sementes em água quente a 65°C por 18 horas. Logo em seguida realizou o plantio em copo descartáveis, com 36 sementes uma em cada copo. O solo do copo descartável foi preparado com areia e terra preta, na proporção de 3/1.

2.3 Implantação do experimento em casa de vegetação

As mudas depois de 40 dias (com aproximadamente 20 cm) foram transplantadas para o solo dopado e solo não dopado, sendo 18 mudas em solo dopado por metais potencialmente tóxicos, e 18 mudas com solo não contaminado. O solo foi contaminado com 60 gramas de chumbo e zinco, o manganês já estava presente no solo em altas concentrações. O experimento foi implantado em vasos plásticos de 3 kg, em delineamento inteiramente casualizado em fatorial 2 x 3, sendo 2 tratamentos (T1= solo dopado; T2= solo não dopado), 3 datas de avaliações, com seis repetições. Durante o plantio das espécies, os vasos foram irrigados, de modo a não ultrapassar o limite máximo de 70% da capacidade de campo deste solo.

Após o período de 30, 45 e 60 dias de transplantio das plantas, avaliou-se o índice de clorofila, número de folhas, altura, tamanho de raiz, massa fresca e seca da raiz, massa fresca e seca da parte aérea. As plantas cortadas foram lavadas, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufas de ar com circulação forçada à temperatura entre 65 e 70°C até atingir o peso constante. Depois de secas, as partes da planta (parte aérea e sistema radicular) foram pesadas para a determinação da biomassa.

2.4 Leitura do Índice de Clorofilas nas Folhas da Ipê-roxo

Para a leitura do índice de clorofila (ID), foi utilizado o aparelho *Soil Plant Analysis Development* (SPAD - 502, Minolta, Japão). A metodologia consistiu em analisar e selecionar folhas mais velhas e com coloração esverdeada mais escura. Em cada folha efetuaram-se 3 leituras, em três pontos a cada lado da nervura central da folha, na face adaxial da folha.

Este procedimento se repetiu por três datas após a plantação das mudas, com 30 dias a primeira avaliação, 45 a segunda e a terceira aos 60 dias.

2.5 Altura da Planta, Tamanho de raiz e Número de Folhas

Para altura da planta e tamanho de raiz foi utilizada uma régua de 50cm e uma fita métrica de 1m de comprimento, a altura foi medida no próprio vaso a partir da superfície do caule ao ápice da planta, para a raiz as medidas foram a partir do colo até a coifa da raiz ambas, em três análises aos 30, 45 e 60 dias após o transplante das mudas. A contagem das folhas foi feita tanto para as folhas sadias como as que apresentavam necrose ou manchas. Os resultados obtidos foram anotados em um bloco.

2.6 Peso Fresco e Peso seco da Parte Aérea e raiz

Ao serem retiradas dos vasos as plantas foram lavadas e colocadas em sacos de papel previamente identificados, separando-se a parte aérea da raiz, e levadas ao laboratório para que fosse feita a pesagem em balança analítica. Para obter o peso seco da parte aérea e da raiz da planta, logo após serem pesadas ainda com características naturais, foram levadas ao laboratório de química ambiental da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão e colocadas em uma estufa a 50°C por aproximadamente 24 horas.

2.7 Análise de dados

Os dados obtidos dos parâmetros avaliados, foram submetidos à análise de variância com o uso do programa SISVAR, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Ferreira, 2003).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química do solo preservado

Os valores de pH variaram de 5,3 (A.P1) à 5,2 (A.P2), os solos com valores de pH em água entre 3,5 a 5,0 os solos são considerados muito ácido, valores entre 5,0 a 6,5 confere ao solo um caráter ácido, valores entre 6,5 e 7,5 são classificados como neutros, entre 7,5 e 8,7 recebem a classificação de alcalinos e superior a 8,7 são considerados muito alcalinos, caracterizando os solos como ácidos, tendo média 5,3 para A.P1 e 5,2 para A.P2 (Tabela 1). A maior acidez ativa (pHH₂O) pode ser decorrente do processo de decomposição e de mineralização da M.O levando à produção de substâncias orgânicas de caráter ácido, reduzindo assim, o pH do solo.

Os valores de pH em KCl variaram de 4,3 (A.P 1) à 4,9 (A.C 2) (Tabela 1), na relação do Δ pH, o pHKCl ficou inferior ao pHH₂O, tendo domínios de cargas negativas, o que pode ser atribuído a fato de que pH quando medido em água possa estar mais relacionado a acidez total, devido os prótons e as formas de alumínio fixadas ao complexo de troca, que

contribuem também para a acidez. Geralmente a acidez permutável resultante de prótons fixos em complexos de troca iônica é suscetível de se deslocarem após a troca de sais neutros (solução KCl).

A matéria orgânica (M.O) e o pH do solo apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento ou diminuição da C.T.C do solo, a M.O fornece cargas negativas para o solo que permitem reter cátions e conseqüentemente maior será o seu poder tampão que é acarretado por este aumento de material coloidal, nos pontos de estudo a influência da matéria orgânica foi significativa quanto maior a percentagem de M.O. maior o valor de C.T.C. Onde 2,5 cmol.dm³ são considerados baixos, e entre 2,5 – 6,0 cmol.dm³ são avaliados como médios, e valores superiores a 6,0 cmol.dm³ são considerados altos, as áreas A.P1 e A.P2 foram definidas com baixo CTC, com médias de 0,66; 0,21; 1,02 cmol. dm³ respectivamente (Tabela 1). A baixa capacidade de adsorção de cátions das áreas pode aumentar a mobilidade dos metais na fase líquida do solo.

A matéria orgânica é originada de substâncias mortas no solo que provêm de resíduos animais e vegetais em diversos estágios de decomposição. Representa importante papel no solo, melhorando suas condições físicas e químicas e adicionando-lhe importantes propriedades físico-químicas, como por exemplo, a capacidade de troca de cátions e pH (EMBRAPA, 2011). Os valores de matéria orgânica (M.O) acima de 10%, indicam predominância de compostos orgânicos, e abaixo de 10%, de compostos inorgânicos ou minerais.

Os teores de matéria orgânica das áreas estudadas determinam o domínio de compostos inorgânicos, tendo maior valor médio de porcentagem na área preservada 1 com 6,08 e maior na área preservada 2 com 8,45% (Tabela 1).

	pH _{H₂O}	pHKCl	ΔpH	C T C	M O (%)
A.P 1	5,2	4,3	-1	0,21	6,08
A.P 2	5,3	4,4	-0,8	1,02	8,45

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo próximo ao lixão do município de Imperatriz-MA na área preservada.

Fonte: Autores (2019).

3.2 Avaliação do comportamento fisiológico do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Standl) cultivado em solo contaminado por micronutrientes, o chumbo, manganês e o zinco e em e solo preservado

De acordo com os resultados, não houve interação significativa entre os fatores solo dopado e não dopado e períodos de avaliação (30,45 e 60) da planta de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Standl) quanto às variáveis analisadas: teor de clorofila, número de folhas, tamanho da raiz, altura de planta, massa fresca e seca da raiz

e massa fresca e seca da parte aérea. Passando-se a estudar os fatores isolados.

Em relação ao índice de clorofila, número de folhas e o tamanho da raiz, não houve diferença estatística significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey, observou-se que as plantas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Standl), apresentaram o mesmo comportamento tanto em solo dopado quanto em solo não dopado, apresentando potencial para ser utilizada como ferramenta na fitorremediação de solos com alta concentração de Mn (Mangans), Pb (Chumbo) e Zn (Zinco) (Tabela 2).

Tratamento	Teor de clorofila			Número de folhas			Tamanho da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	33.56 a	33.53 a	37.10 a	3,33 a	3,57 a	4,39 a	4.73a	4.14 a	2.34 a
Solo não dopado	33.00 a	29.40 a	33.11 a	3,43 a	3,06 a	3,96 a	5.35a	3.04 a	2.00 a
CV (%)	19.68	20.82	13.55	15,23	14,21	21,33	13.82	28.69	20.96
<i>P</i>	0.8836	0.2979	0.1750	0,7331	0,0895	0,4901	0.1501	0.0948	0.2221

* Média seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Análise do teor de clorofila, número de folhas e o tamanho da raiz no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo dopado e solo não dopado.

Fonte: Autores (2019).

O comportamento da planta de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) em solo dopado ser semelhante em solo preservado, se justifica pelo fato de a mesma ter absorvido e utilizado os micronutrientes de forma benéfica, pois o zinco está inteiramente ligado ao crescimento e desenvolvimento da planta e estão correlacionados com carboidratos, proteínas, as auxinas e o comprometimento e integridade das membranas. Ainda está envolvido com o nível de fotossíntese da planta. Duas enzimas são afetadas pela deficiência do zinco presentes cloroplastos e no citoplasma. A frutose 1, 6 difosfato quebrando o açúcar C6, nos cloroplastos e no citoplasma, e a aldolase transfere fotossintatos C3 do cloroplasto para o citoplasma. Por outro lado, a planta em solo não dopado, não apresentou sintomas de deficiência, pois o ácido indolacético (AIA), influência nos sintomas de deficiência de Zn inibe a alongação e do internódios e redução do tamanho da folha.

A deficiência de zinco resulta no nível baixo de carboidrato e da fotossíntese propiciando maior produção de radicais de O₂ os quais levam a sintomas mais fortes de deficiência de Zn sob alta intensidade luminosa. O zinco age no controle do O₂, com a deficiência desse micronutriente o O₂ aumenta causando destruição das ligações duplas do ácido graxos e dos fosfolípidos das membranas levando a perda de açúcares, aminoácidos e potássio (K). Fato não observado nas plantas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*

(Mart. ex DC.) Mattos.

Em relação ao manganês, as plantas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), também não apresentaram sintomas de intoxicação em solo dopado e nem de deficiência em solo não dopado. Estudo feito com o manganês indica que o mesmo participa no processo de transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação de radicais livres do oxigênio. O Mn é uma metaproteína, um componente integrante de duas enzimas, a enzima que quebra a molécula da água na fotossíntese II é a superóxido dismatose que contém Mn que também ativa várias outras enzimas. Em plantas verdes o Mn quebra a molécula de água e do sistema de evolução de O₂ na fotossíntese que ocorre nos cloroplastos. Até mesmo leves deficiências de Mn afetam a fotossíntese, e diminui o nível de carboidratos solúveis em plantas. Esse nutriente realiza a evolução da fotossintética do oxigênio. O mesmo é fundamental nos fatores quando ocorre a deficiência deste micronutriente, a reação da luz durante o processo de fotossíntese é seriamente prejudicada em estudos realizados com semente de milho a deficiência em Mn pode ocasionar a diminuição da germinação na semente. Sendo o cloroplasto sensível com déficit de manganês, essa deficiência pode trazer necrose internerval na folha (Shamar *et al.*, 1991).

Quanto à altura das plantas de ipê-roxo, verificou-se que aos 30 e 45 dias, não ocorreu diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey, em que tanto em solo dopado como em solo não dopado, essa espécie apresentou altura semelhante (Tabela 3). No entanto, aos 45 dias o ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) em solo dopado com os micronutrientes, alcançou maior altura, maior massa fresca da raiz e maior massa fresca e seca da parte aérea apresentando diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey (Tabela 3). Pois, o zinco é micronutriente essencial, sendo um componente estrutural de muitas proteínas, indispensável para o crescimento da planta. A deficiência da planta em zinco pode causar retardo e redução do crescimento na planta. A deficiência de zinco pode levar a planta a um crescimento atrofiado via oxidação de ácido indolacético (AIA), o que não se observou no presente trabalho. Contudo, a massa seca da raiz de ipê-roxo, foi estatisticamente igual nas três datas de avaliação, e a massa fresca e seca da parte aérea foi estatisticamente igual aos 30 e 60 dias (Tabela 4e 5).

Tratamento	Altura da planta		
	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	12,33 a	14,66 a	33,08 a
Solo não dopado	14,75 a	10,25 b	23,80 a
CV (%)	29,56	26,04	26,89
P	0.3203	0.0401	0.0618

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV** (%), Probabilidade de significância entre os valores(**P**).

Tabela 3. Análise da altura da planta no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo dopado e solo não dopado.

Fonte: Autores (2019).

Tratamento	Massa fresca da raiz			Massa seca da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	1,74 a	1,98 a	2,34 a	1.99 a	1.22 a	1.45 a
Solo não dopado	1,60 a	1,48 b	2,00 a	1.15 a	1.19 a	1.35 a
CV (%)	10,49	14,80	20,96	6.89	8.39	13.80
P	0,1855	0,006	0,2221	0.4855	0.6485	0.3831

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV (%)**, Probabilidade de significância entre os valores(**P**).

Tabela 4. Análise do Massa fresca e seca da raiz no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos.)

Fonte: Autores (2019).

Tratamento	Massa fresca da raiz			Massa seca da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	2,071 a	2,60 a	3,14 a	0.68 a	1,55 a	1,89 a
Solo não dopado	2,077 a	1,72 b	2,48 a	0.90 a	1,09 b	1,61 a
CV (%)	17,92	16,15	27,29	9.93	9,30	17,62
P	0,9767	0,0014	0,1697	0,2985	0,0001	0,1526

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV (%)**, Probabilidade de significância entre os valores(**P**).

Tabela 5. Análise do Massa fresca e seca da parte aérea no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo potencialmente tóxico e não tóxico.

Fonte: Autores (2019).

Observa-se mais uma vez comportamento de crescimento semelhante do ipê-roxo, em solo dopado e não dopado, reforçando o potencial dessa espécie para uso na fitorremediação. Em relação a essas informações, o solo dopado por Zinco influencia no aumento da parte aérea.

Carneiro *et al.* (2002) e Li *et al.* (2011) relata que a toxicidade do Zn em plantas acarreta a diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular; necrose da radícula e inibição do crescimento vegetal. A redução de massa seca da raiz pode ser atribuída a redução da respiração neste órgão causado pelo excesso de chumbo na planta (Merwe *et al.*, 2009), estes autores estudaram os efeitos do chumbo em tomate, verificando redução da massa seca de folhas e raízes pelo aumento das concentrações de chumbo. Resultados de Lima *et al.* (2013), revelaram que o cultivo em solo contendo até 180 mg kg⁻¹ de Pb reduziu a produção de biomassa das partes das plantas de cenoura e quiabeiro, mas não afetou a da couve manteiga. A redução no crescimento radicular pode afetar o crescimento de toda a planta por restringir a absorção de água e nutrientes (Pereira *et al.*, 2013). No entanto, esse comportamento não foi observado nas plantas de ipê-roxo nas condições em que foi conduzido o experimento

AGRADECIMENTO

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL.

REFERÊNCIAS

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, p. 869-881, 2013.

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

DINARDI, A. L. et al. Fitorremediação. In: **Anais...** III fórum de estudos contábeis, Resumos. Campinas: CESET-Unicamp, 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3° ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 627 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR 4.6. **Sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.

LIMA, F.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; ACCIOLY, A.M.A; SOUSA, C. SILVA; FILHO, F.F.C. Bioconcentração de chumbo e micronutrientes em hortaliças cultivadas em solo contaminado. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.234-241, 2013.

MARQUES, M. et al. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1-11, 2011.

MERWE, M.J.V.D.; OSORIO, S.; MORITZ, T.; NESI-NUNES, A.; FERNIE, A.R. Decreased mitochondrial activities of malate dehydrogenase and fumarase in tomato lead to altered root growth and architecture via diverse mechanisms. **Plant Physiology**, v.149, n.2, p.653-669, 2009.

PAIVA, H.P.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de Cd, Ni, Pb e Zn sobre mudas de cedro (*Cedrela fissilis*Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 24, p.369-378, 2000.

PEREIRA, B.F.F. **Potencial fitorremediadora das culturas de feijão de porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronegócio, Campinas,2005.

RATTER, J.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v.60, p.57-109, 2003.

SHARMA, C. P.; SHARMA, P. N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C. Manganese deficiency in maize affects pollen. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 138, p. 139-142, 1991.