

Fitorremediação de solos contaminados por ferro (Fe) na forma de sulfato ferroso (FeSO₄) utilizando a espécie Mimosa bimucronata (DC.) Kuntze

Popularmente conhecida como Maricá ou arranha-gato, a *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze é considerada uma árvore ou arbusto arborescente, aculeada, comumente com 3 a 10 m de altura, particularmente adaptável a diferentes tipos de solos e climas, apresenta alto poder germinativo (em média 70%), em suas características apresenta raiz pivotante muito comprida favorecendo a absorção de nutrientes e minerais do solo e tende a alcançar a maturidade em 7 anos. Na fitorremediação os vegetais podem atuar de forma direta ou indireta na redução ou remoção dos contaminantes. Na remediação direta, os compostos são absorvidos e acumulados ou metabolizados nos tecidos, através da mineralização dos mesmos. Na forma indireta, os vegetais extraem contaminantes das águas subterrâneas, reduzindo assim a fonte de contaminação ou quando a presença de plantas propicia meio favorável ao aumento da atividade microbiana, que degrada o contaminante. O seguinte trabalho teve como objetivo verificar a efetividade do uso de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze como espécie fitorremediadora em Latossolo Roxo contaminado por diferentes concentrações de ferro na forma de sulfato ferroso (FeSO₄).

Palavras-chave: Maricá; Absorção; Latossolo Roxo.

Phytoremediation of iron contaminated soils (Fe) in the form of ferrous sulfate (FeSO₄) using the species Mimosa bimucronata (DC.) Kuntze

Popularly known as Maricá or skyscraper, *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze is considered an arboreal tree or shrub, accented, commonly 3 to 10 m high, particularly adaptable to different types of soils and climates, with high germinative power (on average 70%), in its characteristics it has a very long pivoting root favoring the absorption of nutrients and minerals from the soil and tends to reach maturity in 7 years. In phytoremediation plants can act directly or indirectly to reduce or remove contaminants. In direct remediation, the compounds are absorbed and accumulated or metabolized in the tissues, through their mineralization. Indirectly, vegetables extract contaminants from groundwater, thus reducing the source of contamination or when the presence of plants provides a favorable environment for increasing microbial activity, which degrades the contaminant. The following work aimed to verify the effectiveness of using *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze as a phytoremediation species in an Oxisol contaminated by different concentrations of iron in the form of ferrous sulfate (FeSO₄).

Keywords: Maricá; Absorption; Oxisol.

Topic: **Ciências do Solo**

Received: **08/06/2021**

Approved: **24/06/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

André Luiz Maciel

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0644714686303048>
andre98maciel@gmail.com

Haniel Fernando Ayoub Casalvara

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2224873000003447>
<http://orcid.org/0000-0002-0887-2888>
haniel.fernando@hotmail.com

Júlio Diogenes Schuquel Tomé

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4123601467176024>
<http://orcid.org/0000-0002-2840-2410>
juliodtome@gmail.com

Rafael Gon Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9042245900888511>
<http://orcid.org/0000-0002-8364-8237>
rafaelgonp4@gmail.com

Tadeu Cosme Xavier Lourenço

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/8733204502929730>
tadeu.21@hotmail.com

Nelson Consolin Filho

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/5820606948533146>
<http://orcid.org/0000-0002-4847-0701>
consolin@utfpr.edu.br

José Hilton Bernardino de Araújo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4560874870987991>
<http://orcid.org/0000-0001-9743-7855>
jaraujo@utfpr.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0002

Referencing this:

MACIEL, A. L.; CASALVARA, H. F. A.; TOMÉ, J. D. S.; PEREIRA, R. G.; LOURENÇO, T. C. X.; CONSOLIN FILHO, N.; ARAÚJO, J. H. B.. Fitorremediação de solos contaminados por ferro (Fe) na forma de sulfato ferroso (FeSO₄) utilizando a espécie *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.6, p.20-29, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0002>

INTRODUÇÃO

Com um cenário constante de aumento populacional surge a necessidade de buscar alternativas para melhorar a qualidade de vida. Essa necessidade demanda desenvolvimento e por consequência o aumento das indústrias, uso excessivo de agrotóxicos e instalação de novos empreendimentos, esses por sua vez provocam alteração química considerável no solo alterando a concentração natural de metais pesados (RAMALHO et al., 2000).

A contaminação de solos com metais pesados é cada vez mais frequente e preocupante por causa do impacto negativo desses elementos no ecossistema (RIBEIRO FILHO et al., 2001). Os metais ocorrem naturalmente nos solos, mas quando somados aos efeitos das atividades humanas causam diversos danos (BIOTECH, 2006). Como exemplo tem-se o ferro que é um micronutriente essencial para a manutenção da vida, porém está pouco disponível na maioria dos solos, em plantas ele está relacionado a diversas atividades metabólicas, participando da formação de algumas enzimas (catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase), além de ser indispensável nos processos de respiração, fotossíntese e fixação de N (ALEXANDRE et al., 2012).

Para a remediação de solos contaminados por metais pesados, diversas técnicas têm sido propostas, alguns desses procedimentos são: remoção da camada contaminada; adição de uma cobertura de solo não contaminado; lixiviação dos metais com ácidos ou quelatos; aplicação de corretivos capazes de elevar o pH e adição de materiais orgânicos (LEVY et al., 1992; LI et al., 1996; SIQUEIRA et al., 1999). Essas tecnologias são muito variáveis, conforme a matriz contaminada, a natureza do contaminante, o nível de contaminação e a disponibilidade de recursos. No presente estudo foi dada ênfase a técnica de fitorremediação, que faz uso de plantas e seus microrganismos associados, visando o tratamento in situ de solos contaminados com ferro (TAVARES, 2009).

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou até mesmo despoluir totalmente áreas contaminadas (COUTINHO et al., 2007).



Figura 1: Espécie da *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze.

Para Amado (2015) caso a espécie vegetal testada para a fitorremediação sobreviva a fase de muda (muito suscetível a fitotoxicidade) e demonstre capacidade de acumular concentrações elevadas de metais pesados, passa a ser promissora para o tratamento de solos contaminados.

Conforme considerações de Henrique Douglas Coutinho e Alyne Rats Barbosa, é necessário a utilização de plantas que possuam determinadas características como uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente, sendo assim justifica-se a utilização da espécie da *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Figura 1).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 12 amostras de solo do bosque da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão sendo que desta foram escolhidas três amostras para Controle e as seguintes foram divididas em triplicatas sendo contaminadas com três concentrações distintas de ferro: 0,3, 0,6 e 1,2 mg/kg. Em cada recipiente adicionou-se aleatoriamente sementes de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze.



Figura 2: Plantas no estágio inicial de desenvolvimento.



Figura 3: Plantas em estágio intermediário de desenvolvimento.



Figura 4: Plantas no dia da retirada.

Feita essa divisão o experimento foi mantido em local com irrigação controlada por um período de 30 dias. O acompanhamento do experimento foi realizado diariamente, sendo feito a rega das amostras de acordo com a necessidade das plantas e fotografadas (Figuras 2, 3, 4) para a comparação do crescimento entre elas.

Após o término dos 30 dias, foi realizada a retirada das amostras de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze para avaliar o comprimento da raiz e caule, como mostrado na Figura 5. Com a retirada para as medidas, as plantas foram colocadas em cadinhos de porcelana e levadas ao forno mufla a 500°C durante duas horas para a calcinação da matéria orgânica.



Figura 5: Medida de raiz e folhas da *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze.

Passado esse processo os cadinhos são alocados em um dessecador para resfriar e assim ser feita a digestão em 25 mL de ácido com ácido nítrico (HNO₃) em um béquer de 100 mL, após a digestão é necessária a filtragem da solução em funil Buchner para a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica por chama, para determinar a concentração de contaminantes armazenada em cada amostra da espécie em seu tecido

vegetal.

Para a medição de ferro, é necessária a construção da curva de calibração que é realizada a partir de cinco concentrações da solução mãe e completada com água deionizada na proporção de 0,1, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 mg/L da solução mãe e completando em um béquer de 100 mL com água deionizada. A solução mãe foi preparada a partir de 10 mL do padrão analítico (1.000 mg/L), no caso o ferro, e completada com água deionizada em um balão volumétrico de 1.000 mL, tendo uma solução com a concentração de 10 mg/L.

Digestão Ácida e Espectrometria de Absorção Atômica

Para ser feita a absorção atômica, é necessária a digestão em ácido para a leitura de quanto a *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze absorveu de ferro (Fe) do solo. Após o resfriamento do material calcinado, foi adicionado 25 mL de ácido nítrico ao material em um béquer de 100 mL e misturados, ocorrendo assim, a digestão do material coletado.

Após sua digestão é necessária a filtragem da solução para que não entupa o aparelho de espectrometria de absorção atômica e fazendo com que a vida útil do aparelho seja maior e não comprometa os dados analisados, sendo assim, feita cinco vezes para que a amostra fique a mais límpida possível e realocadas em frascos âmbar sendo mantidos na geladeira do laboratório para manter suas propriedades fazendo os testes no dia seguinte. Para a filtragem foi utilizada uma filtração de vidro com uma porcelana para filtrar os sólidos suspensos, juntamente com uma bomba de vácuo para agilizar a filtragem.

Como será feita a medição de ferro, é necessária a construção da curva de calibração que será realizada a partir de cinco concentrações da solução mãe e completada com água deionizada na proporção de 0,1, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 mg/L da solução mãe e completando em um béquer de 100 mL com água deionizada. A solução mãe foi preparada a partir de 10 mL do padrão analítico (1.000 mg/L), no caso o ferro, e completada com água deionizada em um balão volumétrico de 1.000 mL, tendo uma solução com a concentração de 10 mg/L.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

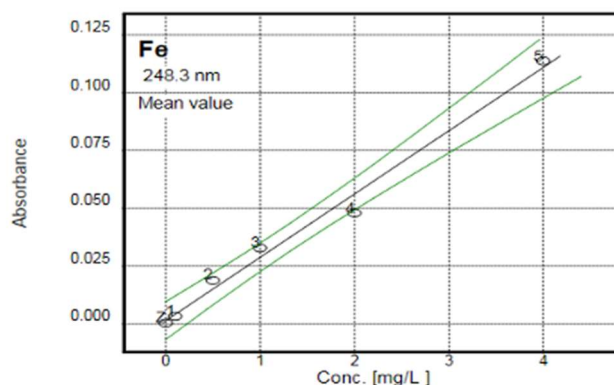


Figura 6: Curva de calibração para o Ferro.

A curva de calibração realizado com cinco concentrações da solução mãe é mostrada na Figura 6. Após notação dos valores de comprimento de raiz e caule e concentração final de ferro nas amostras, esses foram transferidos para uma planilha eletrônico para posterior análise estatística dos dados. Foi proposto o

teste de Shapiro-Wilk para determinação da normalidade, cujo objetivo é fornecer uma estatística de teste para avaliar se uma amostra tem distribuição normal, podendo ser usado para dados amostrais pequenos ($n < 50$), aplicou-se esse para posteriormente analisar a relação entre os diferentes tratamentos adotados e o comprimento de raiz e caule.

Os resultados observados para o teste de normalidade de Shapiro-Wilk revelam que os dados para os tratamentos nas concentrações 0.086, 3 e 6 mg/kg são não normais para os dados referentes ao comprimento de raiz e também para os tratamentos 0.086 e 6 mg/kg para comprimento de caule, ou seja, descarta a possibilidade de relação dos tratamentos apontados com o desenvolvimento de comprimento de raiz e caule (Tabela 1 e Tabela 2). Diferente é o observado no tratamento na concentração 12 mg/kg para raiz e na concentração 3 e 12 mg/kg para caule, que revelou normalidade nos dados, afirmando a existência de diferença do desenvolvimento de comprimento de raiz e caule nessas condições.

Tabela 1: Teste de Shapiro-Wilk para normalidade do comprimento de raiz nas condições de tratamento.

Concentração (mg/kg)	0.086	3	6	12
Tamanho da amostra =	25	25	19	41
Média =	13.98	15.8	17.1053	14.2683
Desvio padrão =	3.8174	5.5827	3.7844	4.5154
W =	0.9698	0.9775	0.911	0.9713
p =	0.6363	0.8177	0.0812	0.4867

Tabela 2: Teste de Shapiro-Wilk para normalidade do comprimento de caule nas condições de tratamento.

Concentração (mg/kg)	0.086	3	6	12
Tamanho da amostra =	25	25	19	41
Média =	8.74	9.24	10.8684	11.9488
Desvio padrão =	2.1704	2.2827	1.8697	2.3054
W =	0.9834	0.9566	0.9602	0.9611
p =	0.9306	0.41	0.5604	0.3021

Considerando a presença de dados não normais, complementa-se o resultado alcançado com o teste de variância ANOVA fatorial caule x raiz, os resultados encontrados estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3: Teste ANOVA fatorial caule x raiz para variância dos comprimentos de raiz e caule nos diferentes tratamentos de concentração de ferro.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM
Tratamentos	7	2105.7866	300.8267
Blocos	2	960.9782	480.4891
Interação	14	1580.884	112.9203
Erro	480	19676.0667	40.9918
F (Tratamentos) =	7.3387	---	---
Graus de liberdade =	7, 480	---	---
p (Tratamentos)	< 0.0001	---	---
F (Blocos) =	11.7216	---	---
Graus de liberdade =	2, 480	---	---
p (Blocos) =	0.0001	---	---
F (Interação) =	2.7547	---	---
Graus de liberdade =	14, 480	---	---
p (Interação) =	0.0008	---	---

Obtiveram-se valores significativos de erro na análise de variância, portanto conclui-se que houve diferença no comprimento de raiz e caule para as diferentes concentrações de ferro nos 3 tratamentos propostos. Dito isso se apresenta a análise descritiva que representa as medidas encontradas de

comprimento de raiz e caule na Figura 7 e Tabela 4.

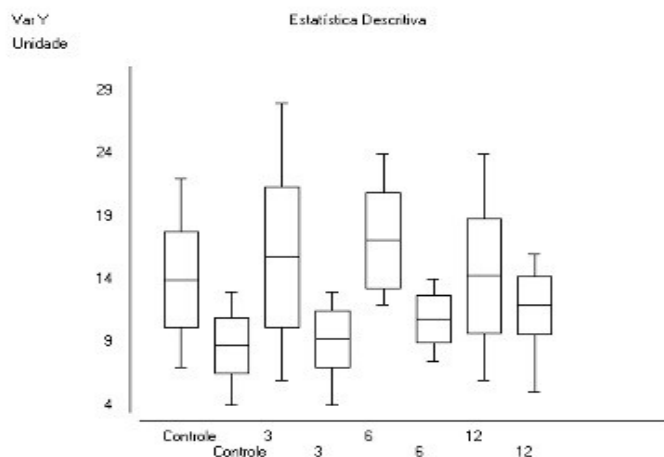


Figura 7: Análise descritiva que representa as medidas encontradas de comprimento de raiz e caule.

Tabela 4: Medidas de comprimento de raiz e caule nas diferentes concentrações.

	Controle		3		6		12	
	Raiz	Caule	Raiz	Caule	Raiz	Caule	Raiz	Caule
Tamanho da amostra =	25	25	25	25	19	19	41	41
Mínimo	7	4	6	4	12	7.5	6	5
Máximo	22	13	28	13	24	14	24	16
Amplitude Total	15	9	22	9	12	6.5	18	11
Mediana	14	8.5	16	10	16	11	14	12
Primeiro Quartil (25%)	11	7.5	12	8	14	10	11	11
Terceiro Quartil (75%)	16.5	10.5	20	11	20	12	18	13.4
Desvio Interquartílico	5.5	3	8	3	6	2	7	2.4
Média Aritmética	13.98	8.74	15.8	9.24	17.1053	10.8684	14.2683	11.9488
Variância	14.5725	4.7108	31.1667	5.2108	14.3216	3.4956	20.3887	5.3151
Desvio Padrão	3.8174	2.1704	5.5827	2.2827	3.7844	1.8697	4.5154	2.3054
Erro Padrão	0.7635	0.4341	1.1165	0.4565	0.8682	0.4289	0.7052	0.36
Coefficiente de Variação	27.31%	24.83%	35.33%	24.70%	22.12%	17.20%	31.65%	19.29%
Assimetria (g1)	-0.0691	-0.0365	0.1	-0.5897	0.5139	0.0666	0.0416	-0.6771
Curtose (g2)	-0.5221	-0.3064	-0.5763	-0.1142	-1.129	-0.6377	-0.7918	1.1213
Média Harmônica	12.8537	8.1528	13.6359	8.5361	16.3658	10.5556	12.7074	11.3772
N (média harmônica)	25	25	25	25	19	19	41	41
Média Geométrica	13.4368	8.4603	14.7593	8.919	16.7246	10.7132	13.5124	11.6928
N (média geométrica)	25	25	25	25	19	19	41	41
Variância (geom.)	1.0389	1.0319	1.0693	1.0363	1.0206	1.0135	1.0532	1.0217
Desvio Padrão (geom.)	1.3449	1.3083	1.481	1.3317	1.2417	1.1921	1.4127	1.2491

A Tabela 5 demonstra os resultados obtidos para concentração após o processo de adsorção atômica, esses valores representam a concentração absorvida pelo material vegetal das espécies que crescerem.

Tabela 5: Concentração absorvida pelo material vegetal dos indivíduos que se desenvolveram nas diferentes concentrações de ferro.

	Concentração mg/kg
A1 CONTROLE	82.16918845
A2 CONTROLE	57.10573534
A3 CONTROLE	94.56515444
A1 [0.3]	243.8598901
A2 [0.3]	247.4212185
A3 [0.3]	197.4843081
A1 [0.6]	371.6135458
A2 [0.6]	270.8983209
A3 [0.6]	172.6671664
A1 [1.2]	535.8351064

A2 [1.2]	301.9494585
A3 [1.2]	909.2408257

A fim de comprovar a existência de diferentes resultados de concentração absorvida pelas amostras foi proposto aplicação de teste t para amostras paramétrica, executou-se par a par com o controle, conforme Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6: Teste t para absorção das amostras de controle e com concentração 3 mg/kg de ferro.

Indivíduos	3	3
Média	77.9467	229.5885
Desvio Padrão	19.0833	27.86
Erro Padrão	11.0178	16.085
Desv. Padrão da Diferença	44.5563	---
Erro Padrão da Diferença	25.7246	---
Média das diferenças	-151.6418	---
(t)=	-5.8948	---
Graus de Liberdade	2	---
(p) unilateral =	0.0138	---
(p) bilateral =	0.0276	---
IC (95%)	-262.3347 a -40.9488	---
IC (99%)	-406.9584 a 103.6749	---

Tabela 7: Teste t para absorção das amostras de controle e com concentração 6 mg/kg de ferro.

Indivíduos	3	3
Média	77.9467	271.7263
Desvio Padrão	19.0833	99.4758
Erro Padrão	11.0178	57.4324
Desv. Padrão da Diferença	107.0831	---
Erro Padrão da Diferença	61.8244	---
Média das diferenças	-193.7797	---
(t)=	-3.1344	---
Graus de Liberdade	2	---
(p) unilateral =	0.0442	---
(p) bilateral =	0.0884	---
IC (95%)	-459.8102 a 72.2509	---
IC (99%)	-807.3872 a 419.8279	---

Tabela 8: Teste t para absorção das amostras de controle e com concentração 12 mg/kg de ferro.

Indivíduos	3	3
Média	77.9467	582.3418
Desvio Padrão	19.0833	306.3052
Erro Padrão	11.0178	176.8454
Desv. Padrão da Diferença	288.2832	---
Erro Padrão da Diferença	166.4404	---
Média das diferenças	-504.3951	---
(t)=	-3.0305	---
Graus de Liberdade	2	---
(p) unilateral =	0.0469	---
(p) bilateral =	0.0938	---
IC (95%)	-1220.5881 a 211.7978	---
IC (99%)	-2156.3159 a 1147.5257	---

Diante dos resultados apresentados conclui-se que se desconsidera a influência do tratamento na absorção apenas para a amostra com concentração 3 mg/kg, entretanto, nas concentrações 6 mg/kg e 12 mg/kg é possível afirmar que houve sim uma absorção considerável de ferro, especialmente na concentração 12 mg/kg onde o p (bilateral) alcança 0,0938.

Avaliando comparativamente as Tabelas 6, 7 e 8 com a Tabela 5 observa-se que a maior concentração

de ferro nas plantas do bloco amostral está na concentração 12 mg/kg de ferro, que alcançou o valor de 909.2408257 mg/kg de ferro, valor quase 10 vezes superior que a maior concentração encontrada no controle, fato esse que reforça o argumento de que houve absorção de ferro.

O ferro nas espécies vegetais está associado a atividades metabólicas, sendo indispensável nos processos de respiração, fotossíntese, fixação de N₂ e transferência de elétrons pelo ciclo Fe²⁺ e Fe³⁺ (ALEXANDRE et al., 2012). A *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze, por ser uma dicotiledônea apresenta a seguinte estratégia de absorção do ferro, inicialmente ela reduz o Fe³⁺ em Fe²⁺, pela acidificação da rizosfera, realizada pela extrusão de prótons pela H⁺-ATPases de membrana plasmática. Após realizar a redução, o Fe²⁺ é transportado por transportadores específicos de membrana (IRT) para o interior das células (ALEXANDRE et al., 2012).

Para Silva et al. (2007) a regulação de metais pesados na rizosfera e o acúmulo dos mesmos nas raízes, preservando a sua integridade e função primárias, junto com a baixa translocação para a parte aérea são mecanismos pelos quais o sistema radicular pode auxiliar a tolerância de espécies a metais pesados. Assim, Dan (2001) escreve que todo organismo vivo tem a capacidade de tolerar uma pequena porção de metais pesados não essenciais e utilizar dos mesmos para o crescimento, todavia essa capacidade reduz à medida que a concentração aumenta.

CONCLUSÕES

Um dos metais pesados contaminantes mais comuns no solo é o Ferro e está causa grande degradação de áreas e difícil revegetação onde há contaminação. Contudo, o Ferro em concentrações adequadas, são essenciais para o desenvolvimento dos organismos, pois estão presentes em vários processos biológicos, além de comporem estruturas proteicas (ALEXANDRE et al., 2012).

Partindo disto e dos testes feitos neste trabalho, podemos afirmar que a planta absorveu o Ferro do solo, porém como não foi feita a análise do solo, não é possível avaliar a eficiência de remoção da planta. Caso houvesse a possibilidade de mais tempo, seria viável refazer o teste e analisar o solo.

Mesmo com possíveis melhoras para trabalhos futuros, a *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze, cumpriu o objetivo inicial, que é utilizar o Ferro para formação da planta, mesmo havendo concentrações de Ferro na semente da planta, é possível afirmar isso, com base no aumento na quantidade de Ferro encontrada nas amostras, onde, as amostras das plantas que estavam nas maiores concentrações, aparecem muito maiores em relação as plantas que foram alocadas no controle.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, J. R.; OLIVEIRA, M. L. F.; SANTOS, T. C.; CANTON, G. C.; MELO, J.; EUTRÓPIO, F. J.; CRUZ, Z. M.; DOBBS, L. B.; RAMOS, A. C.. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. *Natureza*, v.10, n.1, p.23-28, 2012.

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T.. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. *Natureza*, v.13, n.4,

p.158-164, 2015.

BIOTECH. **Método utiliza plantas para limpar solos contaminados com metais pesados**. BIOTECH, 2006.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R.. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. *Silva Lusitana*, v.15, n.1, p.103-117, 2007.

DAN, T. V.. **Phytoremediation of metal contaminated soils: Metal tolerance and metal accumulation in Pelargonium SP.** These (Doctored) - The University of Guelph, Ottawa, 2001.

LEVY, D. B.; BARBARICK, K. A.; SIEMER, E. G.; SOMMERS, L. E.. Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado. **J. Environ. Qual.**, v.21, p.185-195, 1992.

LI, Z.; SHUMAN, L. M.. Heavy metal movement in metal-contaminated soil profiles. **Soil Sci.**, v.161, p.656-666, 1996.

RIBEIRO FILHO, M. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; SIMÃO, J. B. P.. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, 2001.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.;

VELLOSO, A. C. X.. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1289-1303, 2000.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G.. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R.. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.42, n.4, p.527-535, 2007.

TAVARES, S. R. L.. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.