

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO POR COBRE: EXPERIMENTO PILOTO

BATISTA, Laura Spohr ¹; MARQUES, Eduarda da Rosa Medeiros ²; PIVETTA, Carlise Patrícia ¹; DARTORA, Nessana ³; PELEGRIN, Carla Maria Garlet de ³; CASSOL, Fabiano ⁴; VEIGA, Marlei ^{4*}

¹ UFFS, Acadêmica do mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*, RS, Brasil.

² UFFS, Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*, RS, Brasil.

³ UFFS, Docente do curso de Biologia Licenciatura, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*, RS, Brasil.

⁴ UFFS, Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: marlei.santos@uffs.edu.br

RESUMO

A aplicação de fungicidas cúpricos para o manejo das doenças em diversos tipos de culturas aumenta os teores de cobre nos solos. A redução dos efeitos nocivos do cobre, quando em excesso no solo, são geralmente lentos, gradativos e caros. A fitorremediação é uma tecnologia que utiliza a capacidade das plantas para absorver, acumular, metabolizar, volatilizar ou estabilizar contaminantes presentes no solo, dentre estes os metais pesados. Assim, a pesquisa objetiva avaliar o potencial fitorremediador de uma planta nativa da flora brasileira em solo com altos teores de cobre. Realizou-se um experimento preliminar de pequena escala para avaliar a viabilidade, os custos, os eventos adversos e testar os processos técnicos envolvidos na execução dos experimentos, antes da realização em larga escala. Nesse, realizou-se cinco tratamentos por doses de Cu adicionadas no solo, nas quantidades de 250, 500, 750 e 1.000 mg kg⁻¹ e controle (sem adição). O experimento foi realizado, no

período de dezembro de 2019 a março de 2020, em estufa nas áreas experimentais da UFFS (Universidade Federal da Fronteira Sul). A técnica utilizada para a determinação de cobre foi a espectrometria de absorção atômica. Foram avaliados os fatores de translocação e o fator de bioconcentração das raízes. Observou-se que, em todas as doses de Cu adicionadas ao solo, as plantas apresentaram bom desenvolvimento vegetal, porém com o aumento do Cu houve diminuição do crescimento das raízes. Verificou-se o acúmulo de Cu nas raízes o que é um indicativo da tolerância de cultivo em áreas com excesso desse metal.

Palavras chave: Metal, Contaminação, Planta Nativa.

PHYTOREMEDIATION IN CONTAMINATED SOIL BY COPPER: PILOT EXPERIMENT

ABSTRACT

The application of copper fungicides for the management of diseases in different kinds of crops increases the level of copper in the soils. The reduction of the harmful effects of copper, when in excess in the soil, are generally slow, gradual and expensive. Phytoremediation is a technology that uses the capacity of plants to absorb, accumulate, metabolize, volatilize or stabilize contaminants present in the soil, including heavy metals. Thus, this research aims to evaluate the phytoremediation potential of a native plant from the Brazilian flora in soil with high levels of copper. A small-scale preliminary experiment was conducted to assess feasibility, costs, adverse events and to test the technical processes involved in the execution of experiments, prior to the large-scale execution. Five different treatments were executed, with different doses of Cu added to the soil, in the quantities of 250, 500, 750 and 1,000 mg kg⁻¹ and control (without addition). The experiment was conducted from December 2019 to March 2020, in a greenhouse in the experimental areas of UFFS (Universidade Federal da Fronteira Sul). The technique used for copper determination was atomic absorption spectrometry. The translocation factors and the root bioconcentration factor were evaluated. It was observed that, in all the doses of Cu added to the soil, the plants showed good development. However, with the increase in Cu concentration there was a decrease in root growth. The accumulation of Cu in the roots was verified, which is indicative of the cultivation tolerance in areas with excess of this metal.

Keywords: Metal, Contamination, Native Plant.

1 INTRODUÇÃO

Devido à intensa e consecutiva utilização de metais pela atividade antrópica, têm-se

aumentado a contaminação ambiental, tornando-se um problema pertinente e motivo de pesquisas que visam atenuar ou até mesmo eliminar os impactos ambientais proporcionados pelas ações antropogênicas. Produtos e resíduos contendo cobre estão presentes em várias atividades urbanas, industriais e agrícolas, todas com grande potencial para a contaminação do solo e da água (ANDREAZZA et al., 2013). Em solos de uso agrícola, um dos principais fatores relacionados ao aumento do teor de cobre em níveis tóxicos é a utilização excessiva de fungicidas cúpricos (PIETRZAK; MCPHAIL, 2004). Um fungicida cúprico muito utilizado é a calda bordalesa, de uso permitido inclusive na agricultura orgânica e agroecológica (BRASIL, 2014). Esta calda é utilizada em diversas culturas no controle de várias doenças fúngicas (ferrugem, míldio, requeima, pinta preta, cercosporiose, antracnose, podridões, manchas foliares entre outras) e com efeito secundário contra bacterioses. Também possui ação repelente contra alguns insetos, tais como: cigarrinha verde, cochonilhas, tripses e pulgões, o que justifica o seu grande uso (PEREIRA; PINHEIRO, 2012; REITER; NASCIMENTO, 2017).

O acúmulo de cobre nos solos agrícolas acima das quantidades que são requeridas para o crescimento saudável da planta tem gerado numerosos estudos, os quais indicam que o uso prolongado de produtos a base deste metal resulta em contaminação do solo. O cobre é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, contudo em altas concentrações pode ser extremamente tóxico, causando cloroses e necroses e inibindo o crescimento de raízes (PRIMO; MENEZES; SAMPAIO, 2015).

A redução dos efeitos prejudiciais do cobre, quando em excesso no solo, são muitas vezes lentos, gradativos e caros. Assim, visando a diminuição do teor de cobre no solo contaminado, tem se utilizado a fitorremediação, uma tecnologia efetiva e não destrutiva (MENEGAES et al., 2017). Esta consiste na utilização de plantas para remover poluentes ambientais pela absorção, acumulação ou transformação do contaminante em sua biomassa vegetal, bem como estabilização e degradação na rizosfera. Nesse último processo, as plantas promovem naturalmente o crescimento microbiano em sua zona radicular pela exsudação de carboidratos, aminoácidos e outros compostos das raízes. Sendo assim, por meio de diversos mecanismos que podem ser empregados pelas plantas a fitorremediação se constitui em uma ferramenta que pode ser usada para a remediação de áreas contaminadas (ANDREAZZA et al., 2013; NIKOLIC; STEVOVIC, 2015).

Os resultados da aplicação desta técnica são favoráveis devido à relação custo/benefício e baixo impacto ambiental, o que gera grande aceitação pública dessa

tecnologia (MARQUES; AGUIAR; DA SILVA, 2011). Contudo, algumas espécies vegetais podem ter maior ou menor tolerância a metais, interferindo na capacidade de extração dos mesmos do solo (ANDREAZZA et al., 2013).

Algumas plantas, chamadas hiperacumuladoras, podem absorver altos níveis de metais nos seus tecidos, que especificamente no caso do cobre é de até 1000 mg Cu kg⁻¹ de matéria seca (GHAZARYAN et al., 2019). Embora já se conheçam plantas caracterizadas como hiperacumuladoras, elas não são adequadas para todas as regiões, pois precisam ser adaptadas às condições climáticas locais e a várias propriedades do solo, portanto, faz-se necessário o uso de plantas nativas para fins de fitorremediação (YOON et al., 2006; GHAZARYAN et al., 2019).

Assim, a pesquisa parte da proposta de investigar uma planta nativa da flora brasileira, com o objetivo de avaliar seu potencial na fitorremediação de solos com altos teores de cobre e buscar implementar sua utilização como uma tecnologia sustentável para a remediação de solos contaminados com este metal. Considerando a distribuição geográfica desta planta no Brasil, abrangendo as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, pode-se considerar que diversas regiões seriam beneficiadas com o desenvolvimento desta tecnologia. O nome da planta nativa será suprimido deste trabalho por questões de propriedade industrial.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

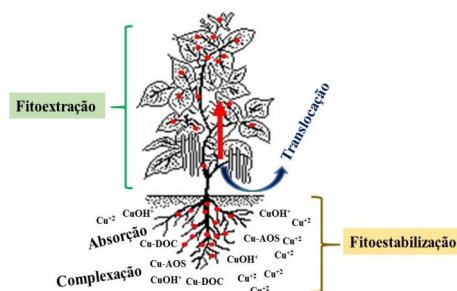
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A fitorremediação é um processo natural pelo qual as plantas removem contaminantes ambientais. Envolve a absorção, metabolização, volatilização, estabilização ou degradação na rizosfera dos poluentes. Estes podem ser compostos orgânicos ou inorgânicos, dentre os inorgânicos destacam-se os metais pesados (NIKOLIC; STEVOVIC, 2015).

Os mecanismos de fitorremediação são dependentes das condições do local e do nível de remediação requerido, podem ser utilizados como meio de contenção (rizofiltração, fitoestabilização e fitoimobilização) ou eliminação (fitoextração, fitodegradação e fitovolatilização). Sendo as principais formas de fitorremediação de solos contaminados por metais pesados a fitoestabilização e a fitoextração, representadas na Figura 1 (ALI; KHAN; SAJAD, 2013).

A fitoestabilização permite imobilizar o contaminante no solo através da absorção e acumulação nas raízes ou por precipitação na rizosfera. Este processo reduz a mobilidade do contaminante evitando sua migração para água subterrânea ou para o ar. Esta técnica é mais efetiva em solos de textura fina com alto teor de matéria orgânica (PADMAVATHIAMMA; LI 2007). Aplica-se principalmente em terrenos extensos onde existe contaminação superficial. Quando comparada a outros métodos de remediação de solo esta tecnologia tem como vantagens o menor custo, a fácil aplicação e ser esteticamente agradável.

Figura 1: Principais formas de ação das plantas na fitorremediação de solo contaminados com cobre.



Fonte: DE CONTI, 2018.

A fitoextração consiste na absorção de contaminantes metálicos por meio das raízes das plantas e a acumulação se dá no caule e nas folhas. Neste tipo de fitorremediação faz-se necessário a seleção da planta mais adequada para os metais contaminantes do solo e as características da região. Uma vez fitorremediada a área por esta tecnologia, a planta fitoextratora precisa ser cortada e submetida a técnicas que reduzam o volume e concentram o metal, a exemplo da compostagem e incineração, seguido da destinação segura dos resíduos (ALI; KHAN; SAJAD, 2013). A fitoextração pode ser repetida inúmeras vezes até que a concentração remanescente dos metais no solo esteja dentro dos limites aceitáveis (KUMAR et al., 1995).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, no período de dezembro de 2019 a março de 2020, em casa de vegetação das áreas experimentais da universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *campus* Cerro Largo. O experimento constou de cinco tratamentos com adições de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em solo de forma que as quantidades de cobre (Cu) adicionadas no solo foram de 250, 500, 750 e 1.000 mg kg^{-1} e controle (sem adição).

O solo utilizado foi coletado no município de Cerro Largo, nas dependências da UFFS, classificado como latossolo vermelho. Na sequência uma alíquota de solo foi retirada para análise físico-química e o restante foi seco por 24 horas em estufa de circulação forçada de ar a 105°C, peneirado em peneiras de 4 mm e pesado. Após foi misturado ao sulfato de cobre em betoneira.

Posteriormente, as cinco frações de solo foram armazenadas em sacos plásticos onde permaneceram por 30 dias, tempo requerido para a incubação do metal ao solo (MELO et al., 2008). Neste período foram realizadas aspersões periódicas de água destilada para manter a umidade do solo em 70-80% da capacidade de campo, que foi verificada por meio de pesagens. Após as aspersões da água o solo foi revolvido para acelerar a decomposição da matéria orgânica e a facilitar a saída dos gases. Neste período o solo foi mantido em laboratório a temperatura constante de 25°C. Passado o período de incubação procedeu-se o transplante das mudas em estufa e realizou-se a análise do cobre disponível em alíquotas remanescentes nos sacos de armazenamento.

As matrizes das plantas foram coletadas em populações que ocorrem na região, posteriormente obtidas mudas a partir de estacas com 15 cm de comprimento contendo 3 a 4 nós, permanecendo as folhas inteiras nos nós superiores e retirados os demais. Após o corte, foi aplicado AIB (ácido indolbutílico) na forma de pó, na concentração de 1.000 mg kg⁻¹ nas bases das estacas cortadas. Posteriormente, as estacas foram inseridas em tubetes contendo uma mistura de areia, solo e substrato (em igual proporção), os tubetes foram dispostos em bancada no viveiro das áreas experimentais da UFFS, com irrigações diárias por aspersão. Após o completo enraizamento as mudas foram transferidas para copos plásticos, contendo uma mistura de substrato e solo (em igual proporção), e transferidas à casa de vegetação para crescimento e adaptação as novas condições ambientais. Após a seleção de mudas de mesmo tamanho e padrão de ramificações, estas foram transferidas para os vasos plásticos contendo o solo tratado com cobre, permanecendo por 110 dias.

Ao final do ciclo de cultivo determinou-se a fitomassa fresca e a fitomassa seca da parte aérea e radicular por planta pelo método de pesagem. Desta maneira, após a colheita, as plantas foram lavadas em água corrente e em três frações de água destilada, então foram pesadas para determinar a fitomassa fresca. Posteriormente foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingir massa constante, obtendo-se a fitomassa seca. Na sequência subamostras das plantas secas foram trituradas em moinho analítico (A11 basic IKA), 0,5 gramas de cada tecido vegetal (raiz, caule e folha) foi pesado em balança analítica,

conduzidos a capela de exaustão para a adição de 10 mL de HNO₃: HClO₄ (4:1, v/v) e inseridos em bloco digestor (TE-007MP Tecnal).

A digestão foi conduzida entre 70–80 °C até a redução à metade de seu volume, posteriormente a temperatura foi elevada para 105 °C, na qual permaneceu até a solução clarificar. Finalizada a etapa da digestão as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 10 mL e aferidos com água ultrapura, na sequência foram filtradas através de papel de filtro de acetato de celulose com 0,25 µm e armazenadas em frasco cônico tipo falcon estando prontas para a análise (KUMAR et al., 2013).

Após o cultivo, amostras de solo também foram preparadas para análise, 5 gramas de solo de cada vaso foi pesado em balança analítica para frascos tipo *snap-cap*, após pesagem foram adicionados de 25 mL de solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). Os frascos foram distribuídos em mesa agitadora para solos e agitados por 5 min a 120 rpm. Após a mistura decantar por 16 horas, o sobrenadante foi retirado para um frasco cônico tipo falcon (EMBRAPA, 2009).

O cobre nas amostras foi determinado em um espectrômetro de absorção atômica com chama (SavantAA-GBC).

O fator de translocação (FT) e o fator de bioconcentração das raízes (FCO) foram calculados conforme as metodologias descritas por Gupta e colaboradores (2008) e Yoon e colaboradores (2006), expressas pelas equações:

$$FT = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa da parte aérea}}{\text{Concentração de Cu na fitomassa da raiz}} \quad (1)$$

$$FCO = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa da raiz}}{\text{teor de Cu disponível no solo após cultivo}} \quad (2)$$

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-química do solo antes das adições de Cu e do cultivo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise físico-química do solo previa a contaminação por Cu.

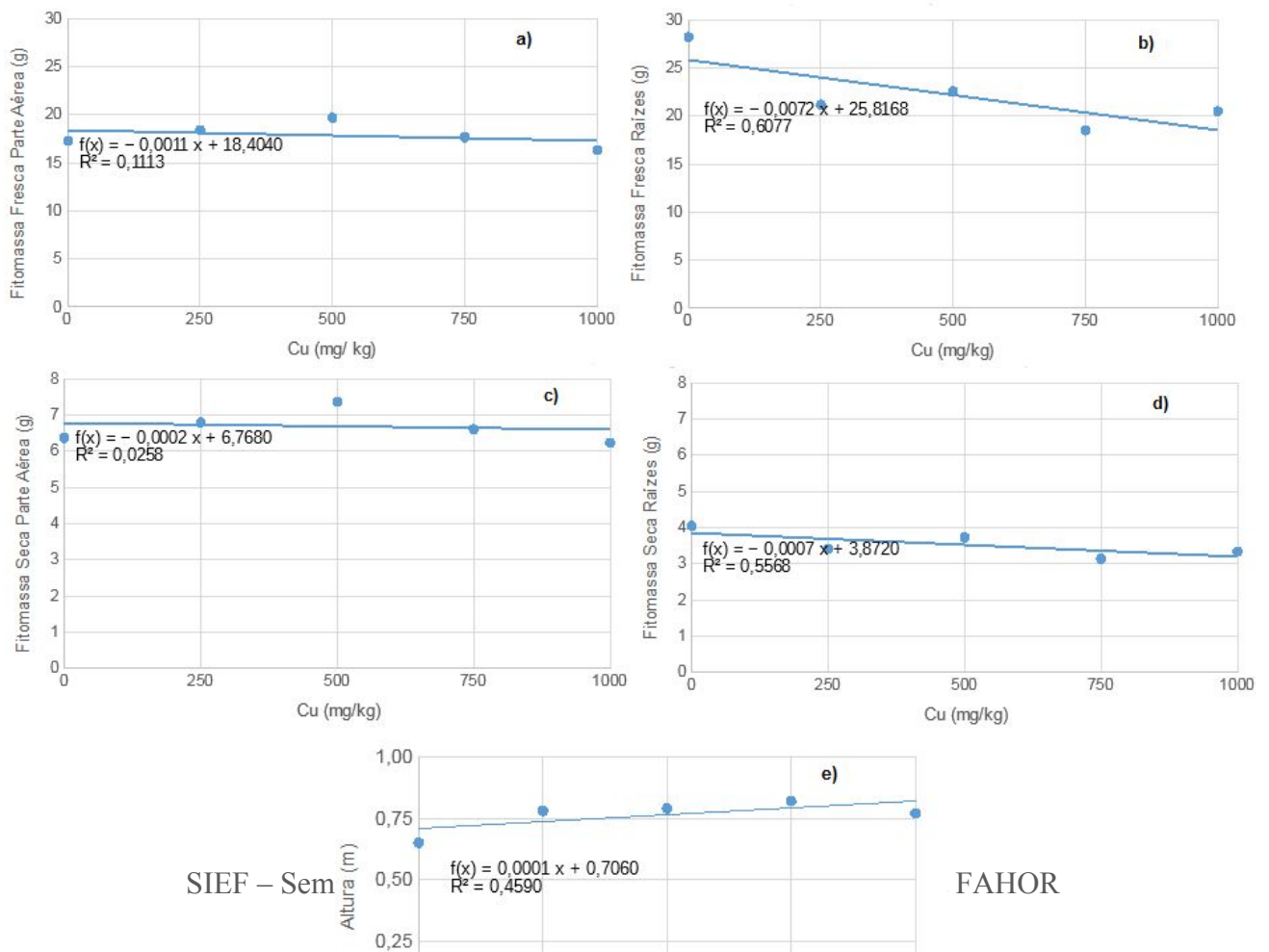
MO	pH água (1:1)	Índice SMP	CTC pH 7	SAT da CTC bases Al	Cu	Zn	Mn	Fe	S	B	P	K
%	-	-	cmolc dm ⁻³	%					mg dm ⁻³			
2,8	5,3	5,8	14	60,9 1,2	18,8	4,7	84	0	14,4	0,6	14,4	244

MO: matéria orgânica; pH: potencial hidrogeniônico; SMP: método de Schumaker, Mc Lean e Pratney; CTC: capacidade de troca catiônica; Al: alumínio; Cu: cobre; Zn: zinco; Mn: manganês; Fe: ferro; S: enxofre; B: boro; P fósforo; K potássio.

No período da condução do experimento piloto as temperaturas do ar, registradas no interior da estufa, foram de 37,3 °C de máxima e 6,7 °C de mínima com média de 23,1 °C. A umidade relativa do ar foi de 99,9% e 32,7% de máxima e de mínima, respectivamente, com média de 82,0%. As alturas das plantas (Figura 2, letra e) foram similares entre os diferentes tratamentos, e em média 17,72% maior quando comparada a altura das plantas do controle (sem adição de cobre).

A fitomassa seca e fresca da parte aérea e das raízes foi reduzida com o aumento das doses de Cu adicionadas no solo, como pode-se observar na Figura 2 (a)–(d). Menegaes e colaboradores (2017) pesquisando o efeito do Cu em uma cultivar de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) verificaram que o excesso de Cu afetou a altura e a fitomassa seca e fresca da planta. Chaves e colaboradores (2010) observaram uma diminuição da fitomassa da mamoneira (*Ricinus communis* L.) com o aumento de Cu no solo, e destacaram que isto pode ser um indicativo do efeito prejudicial deste metal quando em excesso.

Figura 2: Fitomassa fresca da parte aérea (a), Fitomassa fresca das raízes (b), Fitomassa seca da parte aérea (c), Fitomassa seca das raízes (d) e altura da planta (e).



SIEF – Sem

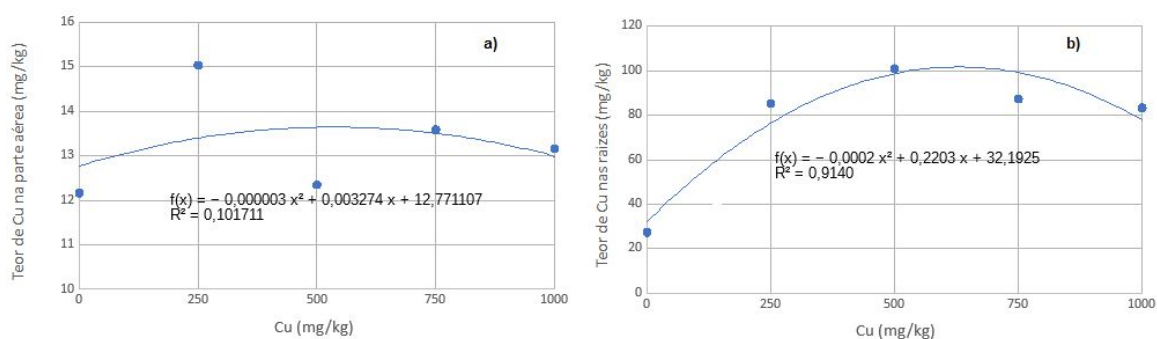
FAHOR

Fonte: Autores (2020)

Kabata-Pendias e Pendias (2001) relatam que a produção de fitomassa está tanto associada à tolerância da espécie ao contaminante, quanto as suas adaptações bioquímicas, permitindo, desta forma o cultivo de plantas em elevadas concentrações deste elemento. Zhuang e colaboradores (2007) mencionam que a produção de fitomassa é um dos fatores predominantes para a eficiência da fitoextração de metais pesados.

Na Figura 3 verifica-se que mais de 83% do total Cu absorvido pela planta encontra-se nas raízes e em média 13% na parte aérea, acredita-se que os 4% remanescentes possam ter se alocado nas flores e frutos, que não foram incluídos neste estudo. Isto pode ser atribuído a baixa mobilidade do Cu no interior das plantas e, também a baixa mobilidade deste metal no sistema solo-planta. Na maioria das vezes, a concentração nas plantas é pequena, alternando entre 2 e 20 mg kg⁻¹ na fitomassa seca (SCHMITT, 2018).

Figura 3: Concentrações de Cu nas plantas em função dos teores adicionados de Cu ao solo.



Fonte: Autores (2020)

Observou-se, neste experimento que a planta chegou a acumular o total de 100,90 e 15,04 mg kg⁻¹ de Cu em fitomassa seca da raiz e folha, respectivamente. Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001) valores acima de 20 mg kg⁻¹ são considerados fitotóxicos.

Também observou-se uma redução no crescimento do sistema radicular com o aumento da dose de Cu adicionada ao solo, como pode ser visto na Figura 4.

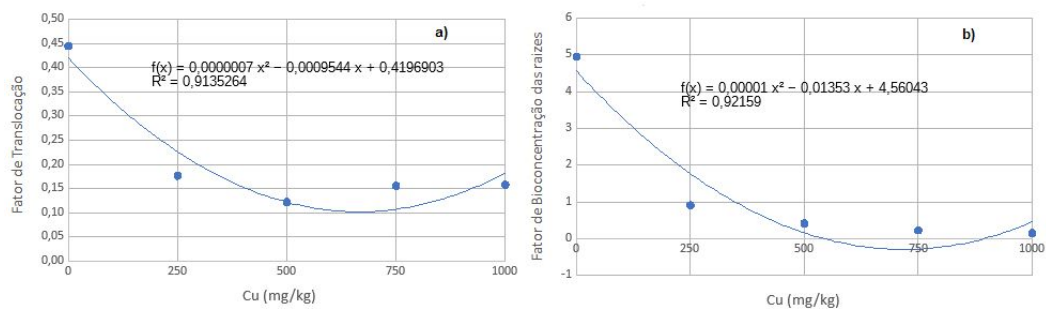
Figura 4: Sistema radicular das plantas em função das teores adicionados de Cu ao solo.



Fonte: Autores (2020)

Em solos contaminados com altos teores de Cu a fitorremediação envolve a complexidade do sistema solo-planta-metal, e a mensuração desse processo se dá através dos fatores de bioacumulação e/ou bioconcentração na fitoestabilização e translocação na fitoextração, onde quanto mais próximo de um (01) forem esses fatores maior será a eficiência de absorção e acúmulo pelas plantas (CAILLE; ZHAO; MCGRATH, 2005; MENEGAES, et al., 2017). No presente experimento piloto observa-se que o fator de translocação (FT) foi inferior a um (01) (Figura 5), o que sugere que a planta não é fitoextratora, ou seja, que translocou pouco metal para a parte aérea, isto pode ser atribuído a forte ligação do Cu nas paredes celulares, proporcionando uma lenta translocação das raízes para a parte aérea (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001); enquanto o fator de bioconcentração da raiz (FCO) decresceu com o aumento das doses de Cu no solo, apresentando o valor máximo de um (01) na dosagem de Cu de 250 mg kg⁻¹.

Figura 5: Fator de translocação (a) e Fator de bioconcentração nas raízes (b) em função dos teores adicionados de Cu ao solo.



Fonte: Autores (2020)

Desta maneira verificou-se que a planta nativa utilizada no experimento piloto é tolerante ao Cu, visto que visivelmente o desenvolvimento de sua parte aérea não mostrou alteração em relação aos diferentes tratamentos. No entanto, observou-se redução no tamanho das raízes com o aumento da dosagem de Cu adicionado ao solo. Segundo Chaves e colaboradores (2010) o mecanismo do sistema radicular que regula a absorção de metais pesados e, conseqüentemente, o acúmulo destes nas raízes, uma vez preservada a integridade de suas funções primárias, ocorre uma baixa translocação destes para a parte aérea, assim contribuindo para a tolerância da espécie a esses elementos metálicos. Nesta premissa, a planta nativa apresenta-se tolerante ao Cu, porém não pode ser classificada como fitorremediadora devido aos resultados de FT e FCO menores que um (01).

CONCLUSÃO

Como forma de avaliar a capacidade fitorremediadora de solos com excesso de Cu, o presente artigo investigou a utilização de uma planta nativa cultivada em casa de vegetação, em solo com diferentes concentrações de Cu. O experimento piloto se trata da fase inicial da pesquisa, de um projeto que envolve propriedade industrial, portanto o nome da planta está suprimido.

Esta planta obteve bom desenvolvimento vegetal em todas as doses de Cu adicionadas ao solo, não tendo sua aparência afetada. Bem como, apresentou tolerância de cultivo em solo com excesso de Cu e eficiência na retenção de concentrações desse elemento, principalmente, nas raízes. Porém apresentou valores inferiores a um (01) para os fatores de translocação e bioconcentração, o que sugere que apesar de tolerante ao metal ela não apresenta características fitorremediativas de Cu no solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFFS pela concessão de bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ALI, H., KHAN, E., SAJAD, M.A., 2013. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. **Chemosphere** 91, 869–88. 2013.

ANDREAZZA, R. et al. Bioremediation of copper contaminated areas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127–136, 2013.

BRASIL – Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução normativa nº 17 de 18 de junho de 2014.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

CAILLE, N.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyper accumulator *Pteris vittata* and the non hyper accumulator *Pteris tremula*. **New Phytologist**, v.165, p.755-761, 2005.

CHAVES, L.H.G.; MESQUITA, E.F.; ARAÚJO, D.L.; FRANÇA C.P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.263-277, 2010.

DE CONTI, L. Plantas de cobertura do solo e videiras: toxidez, fitorremediação e mecanismos de tolerância ao excesso de cobre. 2018. 170 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

GHAZARYAN, K. et al. Copper phytoremediation potential of wild plant species growing in the mine polluted areas of Armenia. **Environmental Pollution**, v. 249, p. 491–501, 2019.

GUPTA, N., KHAN, D.K., SANTRA, S.C. An assessment of heavymetal contamination in vegetable grown in waste water irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. **Bull. Environ. Contamin. Toxicol.** v.80, p.115–118, 2008.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 413 p., 2001.

KUMAR, P. B., A., N., DUHENKOV, V., MOTO, H., RASKIN, I. Pytoextracion: The use of plants to remove heavy metals from soils. **Environmental Science & Tecnology**. 29:1239-1245, 1995.

KUMAR N., BAUDDH K., KUMAR S., DWIVEDI N, SINGH D.P., BARMAN S.C.. Accumulation of metals in weed species grown on the soil contaminated with industrial waste and their phytoremediation potential. **Ecological Engineering**. 61, 491–495, 2013.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; DA SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 9, n. 3, p. 1–11, 2011.

MELO, É. E. C. DE et al. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.776-784, 2008.

MENEGAES, J. F. et al. Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 23, n. 1, p. 63–71, 2017.

NIKOLIC M.; STEVOVIC S. Family Asteraceae as a sustainable planning tool in phytoremediation and its relevance in urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, 14 782–789, 2015.

PADMAVATHIAMMA. P. K., LI, L. Y.. Pytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. **Water, Air, & Soil Pollution**, 184: 105-126, 2007.

PEREIRA, R. B. E PINHEIRO, J. B. (ISSN 1415-3033) Manejo integrado de doenças em hortaliças em cultivo orgânico. Circular Técnica 111, **Embrapa**, 1º ed, 2012.

PIETRZAK, U.; MCPHAIL, D. C. Copper accumulation, distribution and fractionation in vineyard soils of Victoria , Australia. **Geoderma**, v. 122, p. 151–166, 2004.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. DE S. B. Micronutrientes no sistema solo planta: Sintomas de deficiência e toxidez. **Editora Novas Edições Acadêmicas**, n. September, 2015.

REITER, A. S.; NASCIMENTO, V. (ISSN 978-85-99517-09-3). Caderno técnico para agricultor(a) sobre produção orgânica e transição agroecológica, **Instituto Kairos**, 1º ed, 2017.

SCHMITT, O. J. Cobre em solos cultivados com hortaliças no rio grande do sul e efeitos de concentrações em plantas de beterraba e repolho. 2018. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L. Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, v. 368, p. 456–464, 2006.

ZHUANG, P.; YANG, Q.W.; WANG, H.B.; SHU, W.S. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. **Water, Air and Soil Pollution**, v.184, n.1, p.135-242, 2007.