

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

ADRIANA ZEMIANI

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE *Mentha crisper* L. EM
SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**

DISSERTAÇÃO

**Londrina
2017**

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ADRIANA ZEMIANI

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE *Mentha crisper* L. EM
SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Apucarana e Londrina, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. (a) Dr^a. Alessandra Furtado da Silva.
Co-Orientador: Prof. (o) Dr. Marcelo Hidemassa Anami.

Londrina
2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE *Mentha crisper* L. EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO

por

Adriana Zemiani

Dissertação de mestrado apresentada no dia 23 de fevereiro de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr^(a) Alessandra Furtado da Silva - Orientadora
(UTFPR - LD)

Prof. Dr^(a) Lúcia Felicidade Dias - Membro Titular
(UTFPR - LD)

Prof. Dr^(a) Morgana Suszek Gonçalves- Membro Titular
(UTFPR - CM)

Prof. Dr Edson Fontes de Oliveira
Coordenador

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental.

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

Z54a Zemiani, Adriana

Avaliação do desenvolvimento de *Mentha crispata* L. em solo contaminado com cádmio / Adriana Zemiani - Londrina: [s.n.], 2017.
51 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Prof.^a Dr.^a Alessandra Furtado da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2017.

Bibliografia: f. 45-50

1.Solo - Contaminação. 2. Cádmio. 3. Hortelã. I. Silva, Alessandra Furtado da, orient. II. Anami, Marcelo Hidemassa, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628

“Não é sobre chegar no topo
do mundo
É saber que venceu
É sobre escalar e sentir
Que o caminho te fortaleceu”
(Ana Vilela)

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Nossa Senhora, minha fé me mantém firme todos os dias, é sentida e vivida dentro do meu coração.

Aos meus pais queridos Carlos e Marilene, por me apoiar, me dar amor e ensinar o quão valioso é a família. Ao meu irmão Lucas pelo carinho e compreensão por eu ter saído de casa a tanto tempo em busca dos meus sonhos. Seguindo nesta minha família abençoada, agradeço a minha Nona (Avó) Ignês por me ensinar tantas coisas com sua experiência de vida e mostrar que devemos sempre ter humildade, pois é isso que verdadeiramente nos engrandece. Amo vocês!

Ao meu companheiro de todas as horas, meu amor, amigo e parceiro Jorge. Obrigada por viver comigo mais esta realização, por enxugar minhas lágrimas (muitas lágrimas) e sempre buscar palavras para me acalmar e fazer sorrir. Obrigada por todas as vezes que repetiu a frase “Calma, vai dar tudo certo!” ou “ Você é capaz!”. À você minha admiração, respeito e meu amor!

À família Challiol de Capanema por todo apoio, carinho e compreensão.

À minha querida Orientadora Alessandra Furtado da Silva, quanto aprendizado, quantas conversas agradáveis, quantas dicas profissionais e pessoais, quanto carinho. Obrigada por sua amizade, por emprestar sua família em alguns momentos que eu tinha a minha tão longe e principalmente obrigada por acreditar em mim. Seu exemplo e história me fazem seguir firme em meus sonhos e acreditar que tudo que buscamos podemos alcançar. Obrigada!

Ao meu coorientador Marcelo H. Anami pelos ensinamentos, pelas dicas profissionais, por nos ajudar com os pulgões (deram trabalho!) e pela amizade.

Ao professor Edson Fontes por ajudar com a parte estatística e ajudar com o software, também pela amizade e ensinamentos repassados.

Aos meus companheiros do LAMA, Newmar (New), Maria Tereza, Alexandra, Fernanda e ajudante de laboratório André, pelas horas compartilhadas, conversas, momentos de descontração e ajuda nos

experimentos. New me ajudou tantas vezes com o uso do micro-ondas e Alexandra me ajudou tanto com o equipamento em Apucarana.

Agradecer a Débora por ajudar com as análises em Apucarana e aos professores da UTFPR de Apucarana pelo espaço cedido na realização das análises.

Aos professores da banca de qualificação Kátia e Antônio pelas dicas para que este trabalho seguisse da melhor forma possível.

Ao Herbário Medicinal da UNIPAR - Câmpus Umuarama por ceder as mudas de *Mentha crisper* L.

Aos técnicos de Laboratório Carlos, José Rafael e Carla por serem tão prestativos e auxiliarem em todos os momentos e dúvidas.

As minhas amigas lindas que estão comigo em todos os momentos desde a graduação e que são da vida, Nary, Fran, Bia e Didi. Obrigada minhas amigas, que mesmo distantes sempre estiveram tão presentes em tudo. Meu carinho e amor!

Aos meus colegas do mestrado em especial minhas amigas Rafaela, Ana, Camila e Danielle (foram muitas pausas para o café), obrigada meninas por tudo e que não percamos os laços de amizade e possamos desfrutar das vitórias umas das outras.

Aos membros da banca Professora Dr^a Lúcia e Professora Dr^a Morgana pelas considerações.

A CAPES, pela bolsa de estudo.

Obrigada! Contem sempre comigo!

RESUMO

ZEMIANI; Adriana. **Avaliação do desenvolvimento de *Mentha crispa* L. em solo contaminado com Cádmi**. 2017. 51 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana e Londrina. Londrina, 2017.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento de *Mentha crispa* L. (Hortelã Jardim) em um solo contaminado com diferentes concentrações de Cd. O delineamento experimental foi feito em cinco repetições, distribuído em oito tratamentos (C₀(controle), C₁(1,15 g.kg⁻¹), C₂(1,53 g.kg⁻¹), C₃(2,30 g.kg⁻¹), C₄(4,60 g.kg⁻¹), C₅(9,21 g.kg⁻¹), C₆(18,25 g.kg⁻¹) e C₇(36,87 g.kg⁻¹)). O tratamento C₅ usou a concentração máxima de metal absorvido pelo solo, determinado pela isoterma de adsorção usando o modelo de Langmuir. As plantas foram cultivadas durante 120 dias, no período de junho a agosto de 2016, e a cada 15 dias foram coletados dados como altura, número de folhas e número de brotos. Foram feitos registros para avaliação da sintomatologia visual observando o comportamento da planta em cada tratamento ao longo do período de experimento. Ao final do tratamento as plantas foram coletadas e separadas em três partes (folhas, caule e raiz) e submetidas à digestão ácida assistida por micro-ondas para determinação de cádmio através da Espectrometria de Absorção Atômica. Observou-se que a altura, número de brotos e número de folhas diminuíram conforme aumentavam as concentrações de Cd nos tratamentos. Sintomas da toxicidade do Cd foram observados nas plantas, como: clorose, envergamento da folha e murchamento. As plantas do tratamento C₆ e C₇ morreram com 48 horas em contato com solo contaminado. Considerando a quantidade total de cádmio absorvida pela planta, a maior parte foi retida pelas raízes e uma parte insignificante foi translocada para a parte aérea (caule e folhas). O fator de bioacumulação calculado em todos os tratamentos foi maior que um, indicando que a planta é capaz de acumular Cd. O fator de translocação da planta foi menor que um em todos os tratamentos, demonstrando que apesar de a *Mentha crispa* L. acumular Cd, ela não pode ser classificada como hiperacumuladora e sim como fitoestabilizadora. Portanto, a *Mentha crispa* L. pode ser usada para imobilizar o metal em locais contaminados. O fato do metal praticamente não ter sido translocado para a parte aérea pode ser um ponto favorável na escolha da planta para ser usada na fitorremediação, já que a *Mentha crispa* L., do ponto de vista econômico, pode ter valor agregado na extração do óleo essencial que é produzido pelas folhas.

Palavras - chave: Contaminação ambiental, cádmio, *Mentha crispa* L., Fitoestabilização, Fator de bioacumulação, Fator de translocação.

ABSTRACT

ZEMIANI; Adriana. **Evaluation of the development of *Mentha crispa* L. on soil contaminated with Cadmium.** 2017. 51 folhas. Dissertation (Master in Environmental Engineering) - Graduate Program in Environmental Engineering - Federal University of Technology Paraná, Campus Londrina, 2017.

The objective of this work was to evaluate the behavior of *Mentha crispa* L. (Garden Mint) in a soil contaminated with different concentrations of Cd. The experimental design was done with five replicates distributed in eight treatments (C₀ (control), C₁ (1.15 g.kg⁻¹), C₂ (1.53 g.kg⁻¹), C₃ (2.30 g.kg⁻¹), C₄ (4,60 g.kg⁻¹), C₅ (9.21 g.kg⁻¹), C₆ (18.25 g.kg⁻¹) and C₇ (36.87 g.kg⁻¹)). The C₅ treatment used the maximum concentration of metal absorbed by the soil, determined through the adsorption isotherm using the Langmuir equation model. The plants were cultivated for 120 days, from June to August 2016, and every 15 days data were collected such as height, number of leaves and number of shoots. Records were made to evaluate the visual symptomatology observing the behavior of the plant in each treatment throughout the experiment period. At the end of the treatment the plants were collected and separated into three parts (leaves, stem and root) and submitted to microwave assisted acid digestion to determine cadmium through Atomic Absorption Spectrometry. It was observed that the height, number of shoots and number of leaves decreased as the concentrations of Cd increased in the treatments. Symptoms of Cd toxicity were observed in plants, such as: chlorosis, leaf blight and wilting. Plants from C₆ and C₇ treatments died within 48 hours after contact with contaminated soil. Considering the total amount of cadmium absorbed by the plant, most were retained by the roots and an insignificant part was translocated to the aerial part (stem and leaves). The bioaccumulation factors were calculated in all treatments and they were greater than one, indicating that the plant is able to accumulate Cd. The plant translocation factor was lower than one in all treatments demonstrating that although a *Mentha crispa* L. accumulates Cd, it can not be classified as hyperaccumulating, but as phytoextraction. Therefore, the *Mentha crispa* L. can be used to immobilize the metal in contaminated sites. The fact that the metal has practically not been translocated to the aerial part can be a favorable point in the choice of the plant to be used in the phytoremediation, since the *Mentha crispa* L., from the economic point of view, may have added value in the extraction of the essential oil, which is produced by the leaves.

Keywords: Environmental contamination, Cadmium, *Mentha crispa* L., Phytostabilizer, Bioaccumulation factor, Translocation factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ajuste da Isoterma de Langmuir.....	25
Figura 2. Sintomas apresentado pelas hortelãs 48 horas após o plantio em solo contaminado.	26
Figura 3. Sintomas apresentado pelas hortelãs 15 dias após o plantio em solo contaminado.....	27
Figura 4. Sintomas apresentado pelas hortelãs 120 dias após o plantio em solo contaminado.	28
Figura 5. Raízes das hortelãs após o plantio em solo contaminado	29
Figura 6. Coleta de dados da média do número de folhas (A), altura (B) e número de brotos (C) de <i>Mentha crispa L.</i> para cada tratamento.....	31
Figura 7. Figura 8. Fator de Bioacumulação.....	35
Figura 8. Correlação entre os parâmetros de altura, brotos e folha e o tempo de exposição ao Cd.....	38
Figura 9. Correlação entre os tratamentos e os parâmetros de altura, número de brotos e número de folhas das plantas.....	39
Figura 10. Correlação entre as concentrações de metal e partes da planta (Folha, Caule e Raíz)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Programa de aquecimento para vegetais em digestor assistido por Microondas (Perkin Elemer, Titan MPS)	20
Tabela 2. Propriedades químicas das amostras de solo.....	23
Tabela 3. Médias dos dados de folha, altura e número de brotos da <i>Mentha crispa</i> L. no final do período de estudo.....	30
Tabela 4. Concentração de Cd encontrado na folha, caule e raiz da <i>Mentha crispa</i> L após o cultivo em solo contaminado com concentrações crescentes do metal.....	33
Tabela 5. Concentração de Cd na parte aérea (caule e folha) e raiz de <i>Mentha crispa</i> L. e Fator de Translocação (FT) calculado.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	SOLOS E AMOSTRAGEM.....	18
3.1.1	Caracterização da área de coleta do solo	18
3.1.2	Coleta e preparação do solo.....	18
3.1.3	Análises químicas do solo	19
3.1.4	Análises físicas dos solos.....	19
3.2	ISOTERMA DE ADSORÇÃO - CÁDMIO.....	20
3.3	CONTAMINAÇÃO DE CÁDMIO NO SOLO	21
3.4	PLANTIO DAS MUDAS EM SOLO CONTAMINADO.....	22
3.5	SINTOMATOLOGIA VISUAL	22
3.6	AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO	22
3.7	DIGESTÃO DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE CÁDMIO.....	23
3.8	CÁLCULO DO FATOR DE BIOACUMULAÇÃO E FATOR DE TRANSLOCAÇÃO	24
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	26
4.2	ANÁLISE FÍSICA DO SOLO	27
4.3	ISOTERMA DE ADSORÇÃO	27
4.4	SINTOMATOLOGIA VISUAL	29
4.5	ANÁLISE DO CRESCIMENTO	33
4.6	CONCENTRAÇÃO DE Cd na <i>Mentha crispa</i> L.....	36
4.7	FATOR DE BIOACUMULAÇÃO PLANTA/SOLO	37
4.8	FATOR DE TRANSLOCAÇÃO	39
4.9	CORRELAÇÃO DOS EFEITOS DO Cd na <i>Mentha Crispa</i> L. POR MEIO DA ANÁLISE DISCRIMINANTE CANÔNICA (ADC).....	40
5	CONCLUSÃO	45
6	REFERÊNCIAS	46

7 ANEXOS.....	52
Anexo 1: Tabelas de conversão de valores de densidade.....	52

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente tem recebido constantes cargas de contaminações por metais provenientes de fontes antropogênicas, incluindo descargas, operações de mineração e escoamento de metais de indústrias. A biota pode exigir alguns desses elementos considerados essenciais em níveis traço, no entanto, em quantidades elevadas podem tornar-se tóxicos e causar muitos efeitos deletérios (GALLEGO et, al., 2012).

Os solos possuem uma habilidade em adsorver íons metálicos de soluções aquosas que é de especial interesse e apresenta consequências tanto para a agricultura, quanto para as questões ambientais (BRADL et. al, 2004). A adsorção é o principal processo responsável pela acumulação de metais no solo (FORD et al., 2001). Portanto, o estudo dos processos de adsorção se torna fundamental para entender o comportamento dos metais no solo. Uma boa maneira de estudar este comportamento é aplicando modelos físico-químicos de adsorção. Os modelos de adsorção frequentemente adotados para solos argilosos são os modelos de Langmuir e Freundlich (SPOSITO, 1989; KUMMER, 2014).

Altas concentrações de metais tóxicos em solos podem causar riscos em longo prazo para o ecossistema. Os riscos estão associados com a lixiviação ou absorção por organismos vivos tais como plantas ou os seres humanos (JIANG & XU, 2013).

O cádmio (Cd), por exemplo, é um metal altamente tóxico e frequentemente descartado de forma inapropriada no meio ambiente (PINO et, al., 2005). É um dos quatro metais que foram mencionados como uma preocupação mundial devido a seus efeitos deletérios na qualidade ambiental e na saúde (SANITÁ di TOPPI & GABBRIELLI, 1999). Níveis naturais de Cd na atmosfera, em solos agrícolas e nas águas subterrâneas, geralmente, são baixos. No entanto, áreas localizadas próximo às indústrias de fundições de metais, minas, composto de lixo de lodo de esgotos e, em alguns casos,

fertilizantes fosfatados (SOARES et al., 2005) podem resultar em níveis mais elevados deste metal na natureza.

O Cd é absorvido eficientemente pelas plantas e desta forma penetra na cadeia trófica e causa envenenamento, danos aos ossos, rins, afeta o sistema nervoso (FERREIRA et al., 2008), pulmões, sistema reprodutor, dentre outros órgãos (WHO et al., 2012). Diante disso se faz necessário uso de técnicas para a retirada deste metal do ambiente, evitando que chegue até a cadeia trófica.

Existem algumas tecnologias disponíveis para descontaminação do solo, e estas apresentam vantagens e limitações, além de eficiência variável em função das características do meio e do poluente (CICCU et al., 2003). Técnicas de recuperação de solos poluídos por metais, como escavação e substituição do solo ou tratamento químico *ex situ*, como a lavagem de solo, têm sido eficazes em pequenas áreas (MULLIGAN et al., 2001). No entanto, essas técnicas, além de caras, causam grande impacto visual ao meio ambiente.

Uma das estratégias de reabilitação *in situ* dessas áreas é a fitorremediação, que consiste na utilização de plantas hiperacumuladoras de metais potencialmente tóxicos, sendo que, após o desenvolvimento do vegetal, pode-se proceder ao corte da parte aérea e a remoção para locais apropriados como aterros industriais (BAKER et al., 1994).

O sucesso da fitorremediação é dependente da existência de plantas tolerantes aos contaminantes e capazes de remover, estabilizar ou imobilizar metais no solo (PEGORRARO et al., 2010). As plantas possuem mecanismos de tolerância a altas concentrações de metais pesados que incluem restringir o transporte da raiz para a folha, acúmulo em tricomas, exsudatos que podem complexar os metais pesados, tipo de ligação entre o elemento e o componente da parede celular, produção intracelular de compostos com propriedades quelantes e bombeamento ativo para os vacúolos (HOSSAIN et al., 2012). No entanto, podem ocorrer áreas com alta disponibilidade de metais tóxicos e plantas que não são tolerantes a esses elementos. O Cd, por exemplo, pode reduzir o crescimento, taxa de fotossíntese e causar alterações enzimáticas e metabólicas de determinadas espécies de plantas (PARMAR et al., 2013).

A Hortelã (*Mentha* spp.) é uma planta aromática e tem sido estudada tanto por suas atividades biológicas como também pelos óleos essenciais produzidos por suas folhas (PAULUS et al., 2005). Algumas espécies de hortelã como a *Mentha arvensis*, a *Mentha Citrata* e a *Mentha piperita* foram cultivadas em solos contaminados por cromo (Cr) e chumbo (Pb) e os resultados demonstraram que as plantas foram afetadas de alguma forma por esses metais em seu crescimento, tamanho das folhas, tamanho das raízes e rendimento, assim como a qualidade do óleo essencial (PRAZAD, 2010.; PEGORRARO, 2010; KUMAR, 2009).

A *Mentha crispa* L., conhecida também como Hortelã Jardim, é da família Lamiaceae e é originária do cruzamento entre a *Mentha spicata* L. e a *Mentha suaveolens* Ehlh (MATOS, 1991). É uma planta aromática, sendo que o mentol e a carvona são as substâncias encontradas em maior quantidade na composição de seu óleo essencial (PAULUS et al., 2007).

Sá et, al., (2015) analisaram o comportamento da Hortelã Jardim cultivada em um solo contaminado com Pb, e observaram que o comprimento da raiz e da parte aérea dessa espécie não foi significativamente afetada. No entanto, o número de folhas, de brotamento, e massa verde foram muito influenciadas pela presença de Pb no solo. Embora a *Mentha crispa* L. tenha tolerado elevadas concentrações de Pb, não foi considerada uma espécie hiperacumuladora deste metal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de *Mentha crispa* L. cultivada em solo contaminado com cádmio, monitorando o efeito deste metal no desenvolvimento da planta e concentração de metal absorvido.

2 OBJETIVOS

2.1 2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa teve por objetivo principal avaliar o desenvolvimento da *Mentha crispa L.* em solo contaminado com concentrações crescentes de Cd e possibilidade para aplicação em fitorremediação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Obter análises físico-químicas do solo utilizado no cultivo da *Mentha crispa L.*
- Determinar a capacidade máxima de adsorção de Cd no solo por meio da isoterma de Langmuir e Freundlich.
- Definir as concentrações de Cd usadas no experimento, considerando a capacidade máxima de adsorção do metal no solo.
- Cultivar a *Mentha crispa L.* em solo contaminado com concentrações crescentes de Cd.
- Avaliar o comportamento da *Mentha crispa L.* em termos de comprimento da raiz, altura, número de brotos e folhas.
- Determinar a concentração de Cd nas raízes, caule e folhas, a partir da espectrometria de absorção atômica.
- Avaliar a possibilidade do uso da *Mentha crispa L.* na fitorremediação em solo contaminado com cádmio.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SOLOS E AMOSTRAGEM

3.1.1 Caracterização da área de coleta do solo

Foram coletadas amostras de solo no município de Londrina, estado do Paraná, de um local livre de contaminação prévia com coordenadas do ponto de coleta de 23°18'29,7" S, 51°06'59" O e altitude de 562 m. Localizada no Norte do estado, Londrina situa-se entre as coordenadas 23°10'16''S a 23°46'46''S e 50°52'33''O a 51°19'13''O, com altitude média de 566 m e extensão territorial de 1.651 km². Apresenta temperatura média anual de 29°C, no mês mais quente (janeiro) de 24,0°C, no mês mais frio (junho) de 16,6°C. A precipitação média anual é de 1.563 mm, tendo o mês mais chuvoso em dezembro (205 mm) e o mês menos chuvoso em agosto (54 mm). Segundo a classificação da Köppen, o município de Londrina apresenta um clima do tipo Cfa (h) (clima subtropical, úmido, com média do mês mais quente superior a 22°C) (BAGNOLA et al, 2011).

3.1.2 Coleta e preparação do solo

O solo foi coletado a uma profundidade de 0 – 20 cm, com o auxílio de pás e enxadas, sendo retirada toda a vegetação rasteira da superfície. Posteriormente o solo foi seco ao ar sobre bancadas da casa de vegetação da UTFPR – Londrina. Depois de seco, todo o solo foi destorroado, homogeneizado e passado por peneira com malha de 2 mm (TFSA), a fim de proporcionar partículas de tamanho homogêneo minimizando possíveis diferenças de sorção, e estocado em sacos plásticos até a etapa de contaminação e plantio das mudas.

3.1.3 Análises químicas do solo

Uma alíquota de aproximadamente 1 kg de amostra de solo homogeneizada e passada em peneira 2 mm foi utilizada para as análises químicas de rotina, podendo-se citar acidez potencial, teores de alumínio (Al^{3+}), pH, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), teores trocáveis de potássio (K^+), sódio (Na^+) e fósforo (P), CTC e carbono orgânico (C) (EMBRAPA, 1999).

3.1.4 Análises físicas dos solos

Os procedimentos para a determinação granulométrica seguiram as metodologias descritas pela EMBRAPA (1997) com adaptação de DAS (2011). Nesta metodologia pesou-se 50 g de solo seco em estufa por 24 horas a uma temperatura de 36°C , em triplicata, e adicionados 100 mL de hidróxido de sódio a 1 mol.L^{-1} e completados 200 mL de água destilada. Posteriormente esta solução foi submetida à agitação constante no copo de agitação por 15 minutos. Após esse período, a solução foi despejada em proveta de 1000 mL e o volume da proveta foi completado com água destilada. A suspensão foi agitada por 1 minuto utilizando agitador manual. A primeira leitura de densidade foi ser feita 40 segundos após o termino da agitação. A segunda leitura foi feita após 3 horas da homogeneização.

Após as leituras de densidade, foi possível a determinação da massa em suspensão com o auxílio da Tabela em Anexo 1. O cálculo das frações granulométricas foi realizado através das seguintes equações:

$$\text{Areia-total (\% da T.F.S.E)} = 100 - (1^{\text{a}} \text{ Leitura/TFSE}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Silte (\% da T.F.S.E)} = 100 \times (1^{\text{a}} \text{ Leitura} - 2^{\text{a}} \text{ Leitura/TFSE}) \quad (2)$$

$$\text{Argila (\% da T.F.S.E)} = 100 \times (2^{\text{a}} \text{ Leitura/TFSE}) \quad (3)$$

3.2 ISOTERMA DE ADSORÇÃO CÁDMIO

Para a realização do estudo de adsorção de cádmio no solo, as isotermas de adsorção foram construídas utilizando 1 g de solo em pH natural, em triplicata, suspenso em 25 mL de solução de Cd na forma de acetato. As soluções foram preparadas em CaCl_2 $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$, com concentrações de Cd de 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 160, 320, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1250 e 1500 mg.L^{-1} .

Como o pH da suspensão solo-solução pode influenciar na adsorção dos metais no solo, as suspensões com a adição de Cd tiveram seus valores de pH ajustados aos valores de pH originais dos solos. O ajuste foi feito pela adição de $\text{NaOH } 1 \text{ mol.L}^{-1}$ à suspensão, monitorando o pH final em potenciômetro equipado com eletrodo combinado de vidro. As suspensões solo-solução foram agitadas por 24 horas em temperatura ambiente em Shaker, o pH foi medido novamente e, em seguida, as amostras foram centrifugadas por 10 min a 200 rpm e depois filtradas. O Cd foi determinado nos sobrenadantes por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama.

As quantidades de Cd adsorvidas pelos solos serão calculadas pela diferença entre a quantidade adicionada e a quantidade remanescente na solução de equilíbrio (sobrenadante). A partir dos dados experimentais serão construídas isotermas de adsorção (ordenadas: metal adsorvido; abcissas: concentração de equilíbrio), e o ajuste será feito segundo as equações dos modelos de Langmuir (4) e Freundlich (5), de acordo com as equações:

$$\text{Langmuir:} \quad q = \frac{kbC_{eq}}{1 + kC_{eq}} \quad (4)$$

$$\text{Freundlich:} \quad q = k_f C_{eq}^{1/n} \quad (5)$$

em que:

q é a quantidade de metal adsorvido, em $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo;

C_{eq} é a concentração do metal na solução de equilíbrio, em $\mu\text{g mL}^{-1}$;

b é a capacidade máxima de adsorção, em $\mu\text{g g}^{-1}$;

k é a constante relacionada à energia de ligação, em $\mu\text{g mL}^{-1}$, do metal no solo.

3.3 CONTAMINAÇÃO DE CÁDMIO NO SOLO

O Delineamento experimental se deu com oito doses crescentes de Cd e cinco repetições exibidos em 40 vasos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação (temperatura a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2$) as condições naturais de luz, no período de junho a agosto de 2016.

Considerando a capacidade máxima de adsorção de Cd obtida com a isoterma de adsorção e usando vasos de polipropileno com capacidade de 2 L, o solo foi tratado com doses crescentes do metal usando solução padrão de Cd na forma de acetato, para evitar o uso de nitrato ou cloreto que podem servir como nutriente para as plantas e esse fator poderia interferir no crescimento da hortelã. O solo coletado, sem adição de Cd foi considerado como o controle (C_0). Os demais tratamentos foram chamados de C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 , e C_7 , sendo que C_1 refere-se à 1/8 da capacidade máxima de adsorção obtida, C_2 refere-se à 1/6, C_3 à 1/4, C_4 à metade, C_5 igual à máxima, C_6 refere-se ao dobro e C_7 ao quádruplo.

Após a adição do metal, os solos foram incubados, em casa de vegetação e sob condições naturais de temperatura, por um período de 30 dias, para que o solo e o metal entrassem em equilíbrio (WANG et al., 2009). Durante este período foi necessário submeter o solo à ciclos de saturação com água destilada mantendo um nível de umidade de 60% para que a reação entre metal e solo não fosse interrompida.

3.4 PLANTIO DAS MUDAS EM SOLO CONTAMINADO

As mudas foram coletadas no Herbário Medicinal da UNIPAR - Câmpus Umuarama. A partir das plantas matrizes foram feitas novas mudas e após atingir um tamanho médio de 10 cm as mudas foram transplantadas nos vasos com solo contaminado.

Após a incubação do metal no solo, as mudas da hortelã *Mentha crispa* L. foram transplantadas, com aproximadamente 10 cm, para os vasos de polipropileno contendo 2 Kg de solo tratado com concentrações crescentes de Cd, sendo uma muda por vaso. Visitas diárias foram realizadas com a finalidade de visualizar a toxicidade do metal e o comportamento da planta, após a colheita que foi realizada 120 dias após plantio.

3.5 SINTOMATOLOGIA VISUAL

O registro fotográfico da sintomatologia visual de toxidez do Cd foi realizado diariamente na primeira semana de plantio das mudas e, após a primeira semana, os registros foram feitos quinzenalmente, utilizando-se câmara digital.

3.6 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

Além do registro fotográfico também foi realizada medição quinzenal da altura e contagem do número de folhas e brotos, sendo a altura medida com auxílio de uma régua de 30 cm e a contagem das folhas e brotos foi feita manualmente.

3.7 DIGESTÃO DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE CÁDMIO

As plantas foram lavadas com água ultrapura (Purelab Option-Q7, Elga, Inglaterra) e as raízes foram imersas em solução de ácido clorídrico 10% v/v (destilado, *subboiling* BSB-939-IR, Berghof, Alemanha) por um minuto e em seguida enxaguadas em água ultrapura.

As raízes e partes aéreas foram previamente secas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C até obtenção de massa constante. Em seguida o material foi macerado e passado através de uma peneira de poliéster com diâmetro de abertura $\leq 68 \mu\text{m}$. As amostras realizadas em quintuplicatas foram misturadas e homogeneizadas, considerando a separação entre raízes, caules e folhas.

Para a digestão ácida de raízes, caules e folhas, uma massa de 0,4 g de amostra foi pesada, e foram adicionados 5 mL de HNO_3 (destilado, *subboiling* BBSB-939.IR, Berghof, Alemanha) e 3 mL de H_2O_2 . A mistura foi feita em tubos de teflon e colocada em um digestor assistido por micro-ondas (Perkin Elmer, Titan MPS) com programa de aquecimento apresentado na Tabela 1. Todas as amostras foram preparadas em triplicatas.

Tabela 1. Programa de aquecimento para vegetais em digestor assistido por Microondas (Perkin Elemer, Titan MPS)

Passo	Temperatura (°C)	Pressão Max (bar)	Tempo inicial (min)	Tempo final (min)	Potência (%)
1	170	60	5	15	80
2	190	70	2	25	90
3	50	70	1	10	0
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

Fonte: Manual Perkin Elmer (adaptado)

Amostras de solo foram preparadas usando o mesmo digestor seguindo a metodologia EPA 3051A para digestão ácida assistida por micro-ondas para solos e sedimentos.

A determinação de Cd em raízes e caules foi realizada utilizando o Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (Solaar S4, Thermo Scientific, Estados Unidos) com corretor de fundo com lâmpada de deutério. Para as folhas, o Cd foi determinado usando o Espectrômetro de Absorção Atômica com Atomização em Forno de Grafite (Ice 3300, Thermo Scientific, Estados Unidos) com corretor de fundo efeito Zeeman.

3.8 CÁLCULO DO FATOR DE BIOACUMULAÇÃO E FATOR DE TRANSLOCAÇÃO

Para avaliar o potencial da *Mentha Crispa L.* na extração de Cd e identificá-la como uma espécie tolerante ou hiperacumuladora de Cd, adotaram-se os valores referentes ao fator de bioacumulação (FB) (ZHOU & SONG, 2004 apud SUN et al., 2007) e ao Fator de translocação (FT) (YOON, 2006) do elemento na planta, conforme descrito a seguir:

$$FB = \frac{\text{Concentração do elemento na parte aérea}}{\text{Concentração do elemento no solo}} \quad (6)$$

$$FT = \frac{\text{Acúmulo do elemento na parte aérea}}{\text{Acúmulo do elemento na raiz}} \quad (7)$$

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias, quando significativas, foram comparadas entre si pelo teste Tukey, $p < 0,05$. O programa computacional utilizado para análise foi o Sisvar 5.6.

Realizou-se também a Análise Discriminante Canônica (ADC) que é recomendada para determinar quais variáveis são mais importantes na segregação entre dois ou mais grupos formados. Nesta análise, a ADC foi utilizada para verificar quais parâmetros (altura, número de folhas e número de brotos) da *Mentha crisper* L. foram mais afetados pelos tratamentos com Cd. Verificou-se também a existência de formação de grupos considerando a concentração de Cd, e qual parte da planta (raiz, caule e folha) obteve maior concentração do metal.

Inicialmente, utilizou-se a Análise Multivariada de Variância (MANOVA) nas concentrações de elementos para testar a hipótese nula de que não existem diferenças significativas entre os tratamentos de *Mentha crisper* L. observados. O MANOVA calculou Wilks lambda, que varia entre zero (dispersão máxima entre os grupos) e um (sem dispersão entre os grupos). Com a rejeição da hipótese nula, a ADC foi utilizada para avaliar as relações entre tratamentos de metais e a planta no espaço multivariável através de combinações lineares de variáveis, maximizando as distâncias entre os grupos. Tanto o MANOVA quanto a ADC foram realizados utilizando o software STATISTICA v.7.1 (StatSoft, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Os resultados das análises químicas do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas das amostras de solo.

	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	MO ¹	SB ²	CTC ³	P	K	Mg	Ca	Al ⁺³	V ⁴
			g dm ⁻³	--cmol _c dm ⁻³ --	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----				%
Amostra	4,83	5,67	24,02	6,92	13,26	7,53	0,52	1,98	4,42	0,00	52,14

1 MO – matéria orgânica; 2 SB – soma de bases trocáveis; 3 CTC – capacidade de troca catiônica; 4 V – porcentagem de bases trocáveis

A área do município de Londrina onde o solo foi coletado é classificada por Bognola et al., (2011) como Latossolo Vermelho e considerando o resultado da saturação de bases encontrada na análise química, de 52,14%, classifica-se este solo como Latossolo (Ordem) Vermelho (Subordem) Distroférico (Grande Grupo) (LVef).

É importante entender o tipo de solo utilizado, pois o comportamento dos elementos metálicos varia de acordo com a quantidade de matéria, orgânica, CTC, pH dentre outros fatores. O Cd, por exemplo, apresenta grande mobilidade, podendo apresentar maior risco ambiental, principalmente em solos com pouca matéria orgânica, baixos teores de óxidos de ferro e baixa capacidade de troca catiônica (COSTA et al., 2007). Os valores de matéria orgânica (MO) e CTC encontrados no solo foram de 24,02 g dm⁻³ e 13,26 cmol_c dm⁻³, respectivamente sendo considerados médios.

O valor de pH em água para a amostra de solo apresentou resultado que indica um solo moderadamente ácido, com um valor de 5,67. Borges & Coutinho, (2004) complementam que, os metais apresentam maior solubilidade quando os solos estão em condições de acidez. Uma das justificativas para este fato é que , ocorre uma menor capacidade de retenção desses elementos, pois diminui a capacidade de troca de cátions (CTC) e de ânions (CTA) nos solos.

4.2 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

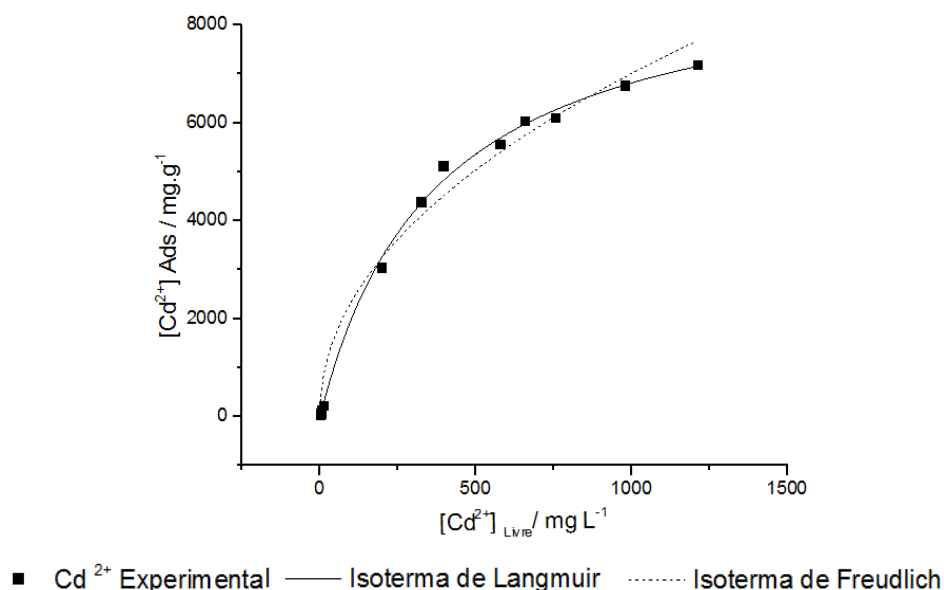
Os resultados das análises granulométricas superficiais da amostra de solo apresentaram uma composição de 73,32% de argila, 14,98% de silte e 11,7% de areia. Assim, tomando-se como base o triângulo textural, observa-se a predominância do solo com textura muito argilosa, com composição de argila maior que 60 %.

Na textura do solo, a fração mais fina é a fração argila, que corresponde às partículas menores que 2 μm . Por apresentarem maior área superficial específica, elas também apresentam maior superfície de reação. Nessa fração, ocorre a maior parte das reações e, com isso, a maior adsorção de metais (VILAR, 2010).

4.3 ISOTERMA DE ADSORÇÃO

A adsorção de cádmio no solo analisado se ajustou satisfatoriamente na Isoterma de Langmuir o que não ocorreu em relação à Isoterma de Freundlich conforme Figura 3 onde se pode observar que a Isoterma de Freundlich tende a uma ascensão, diferente da Isoterma de Langmuir a qual tende a se estabilizar. Lopes (2009), Dias (2001) e Fontes (2004) também analisaram adsorção de cádmio em latossolo e seus resultados se ajustaram mais satisfatoriamente a isoterma de Langmuir.

Adotando a Isoterma de Langmuir como mais satisfatória tem-se que o valor encontrado para a adsorção máxima de Cd na amostra de solo foi de 9,22 g.kg^{-1} , com constante de afinidade (K_L) de 3,10 L mg^{-1} e R^2 0,987. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes (2009) quando analisou um latossolo vermelho eutroférico e encontrou uma adsorção de cádmio de 7,69 g.kg^{-1} .



Pierangeli et al. (2003) estudaram a adsorção de Cd em solos brasileiros e observaram que a fração de Cd adsorvida foi positivamente correlacionada com argila e com matéria orgânica na menor força iônica. Os óxidos de alumínio também proporcionam substancial efeito na adsorção do Cd por meio de ligações covalentes e específicas, sendo que, em baixas concentrações, o Cd é adsorvido especificamente e, em altas concentrações, é esperada adsorção não específica, uma vez que, após a saturação dos sítios de alta afinidade, a concentração residual do metal é elevada em relação aos outros cátions, e o metal é capaz de competir pelos sítios de baixa afinidade (TILLER et al., 1984).

A partir do valor encontrado para a adsorção máxima de cádmio no solo, foram definidas as seguintes concentrações de Cd a serem usadas nesse experimento, adicionados em 2 kg de solo: C₀ é o controle, sem adição de Cd; C₁ 1,15 g.kg⁻¹ (oito vezes menor), C₂ 1,53 g.kg⁻¹ (seis vezes menor), C₃ 2,30 g.kg⁻¹ (quatro vezes menor), C₄ 4,60 g.kg⁻¹ (duas vezes menor), C₅ 9,22 g.kg⁻¹ (capacidade máxima), C₆ 18,25 g.kg⁻¹ (dobro) e C₇ 36,87 g.kg⁻¹ (quádruplo).

4.4 SINTOMATOLOGIA VISUAL

A sintomatologia visual foi realizada comparando a amostra controle C₀ (sem adição de Cd no solo) com as amostras dos outros tratamentos (C₁ a C₇).

A Figura 2 apresenta imagens da *Mentha crispa* L após 48 horas de exposição ao Cd. É possível observar que as plantas dos tratamentos C₅, C₆ e C₇ apresentaram sintomas visíveis de toxicidade.

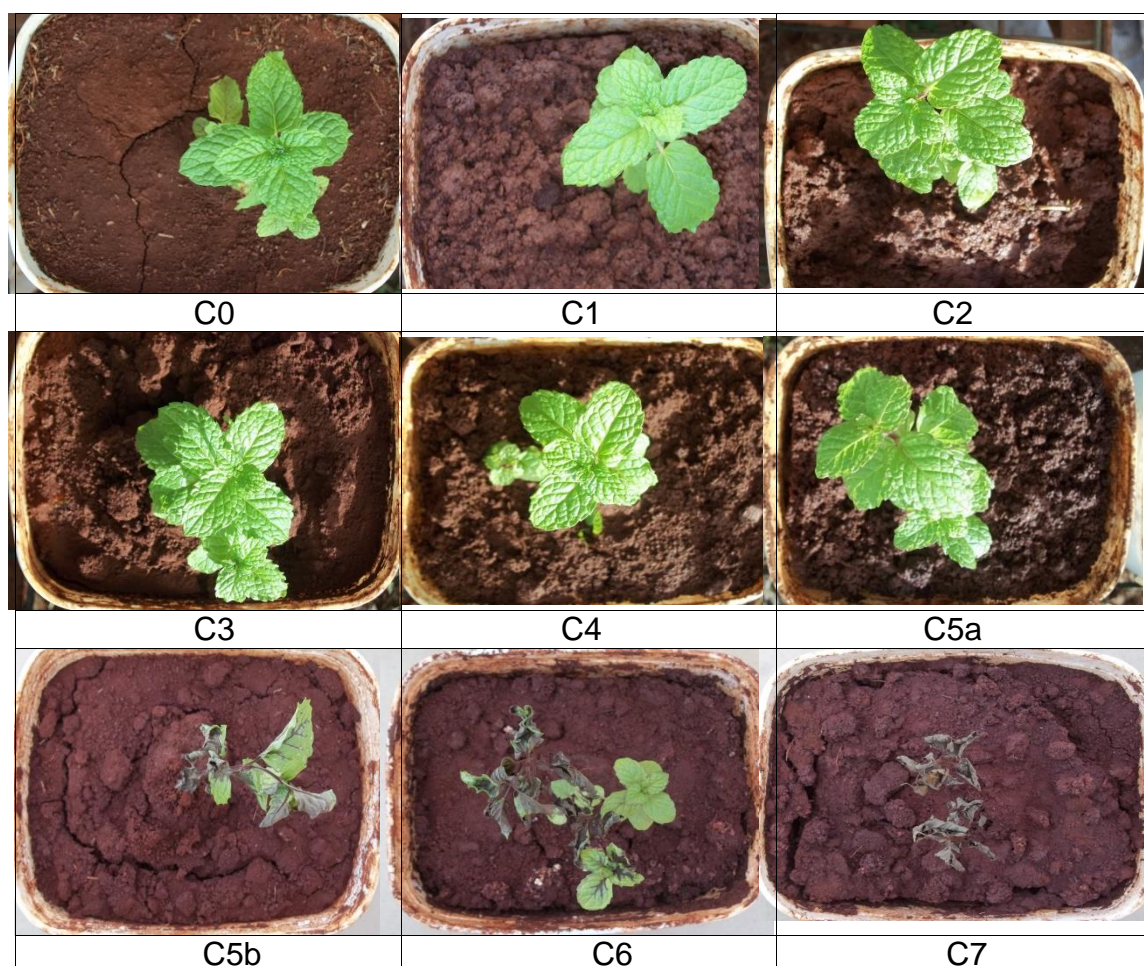


Figura 2. Imagens das hortelãs 48 horas após o plantio em solo contaminado com Cd.

Após 48 horas em contato com o solo contaminado duas replicatas do tratamento C₅ apresentaram sintomas de possível estresse ao metal, com coloração escura no vacúolo da folha e murchamento. O mesmo ocorreu com

todas as replicatas do tratamento C₆, apresentando necrose nos vacúolos das folhas, aspecto murcho e algumas folhas secas. Com relação às replicatas do tratamento C₇, todas apresentaram suas folhas secas por completo.

Depois da primeira quinzena de plantio das hortelãs (Figura 3) observou-se que as replicatas remanescentes do tratamento C₅ (3 mudas apenas) apresentaram uma coloração avermelhada em suas folhas, seguido de alguns pontos brancos, porém com presença de brotamento, demonstrando uma recuperação e possível adaptação da planta ao metal. Isso pode estar relacionado ao fato das mudas que foram transplantadas nesses vasos serem mais fortes que as outras, que pode acontecer mesmo que todas as mudas tenham sido feitas no mesmo período.

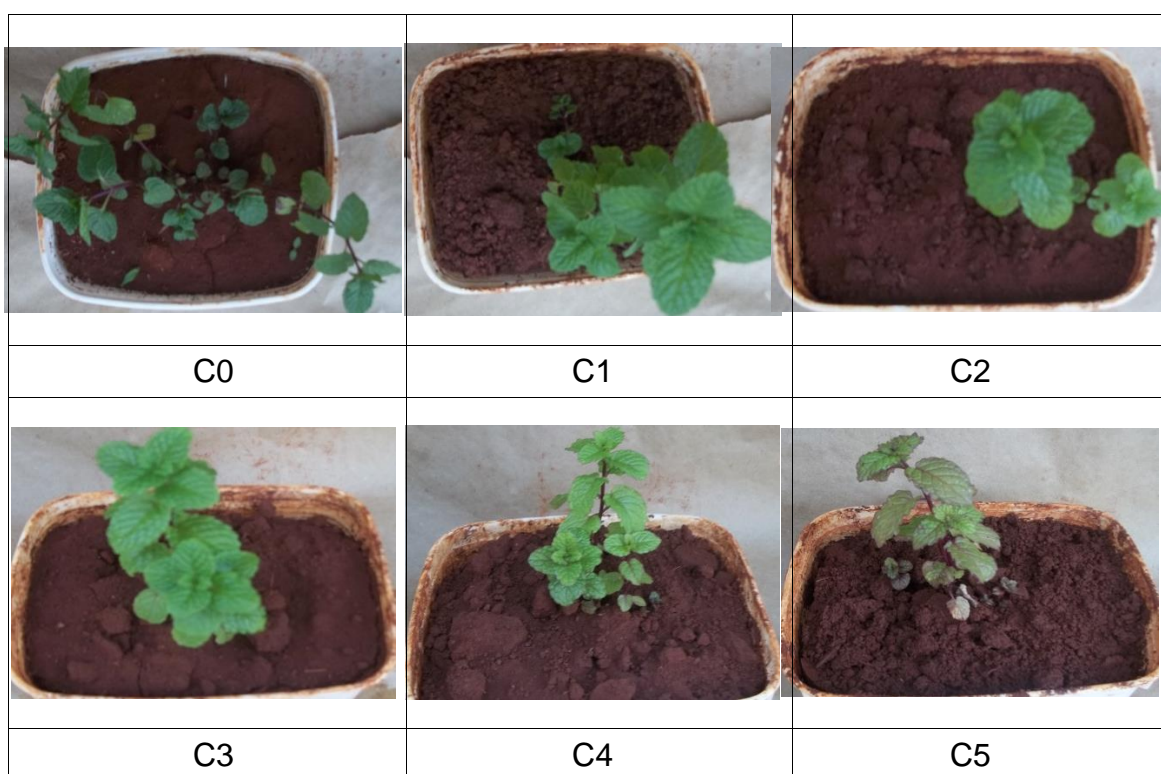


Figura 3. Imagens das hortelãs 15 dias após o plantio em solo contaminado com Cd.

Houve perda foliar nas plantas do tratamento C₅ que apresentaram coloração avermelhada, porém, com surgimento de novos brotos. Sintomas parecidos foram observados por Soares et al., (2005) em plantas de *E.*

maculata, onde concentrações de Cd causaram pontuações avermelhadas nas nervuras, clorose internerval, necrose e murchamento das folhas.

A Figura 4 apresenta imagens quando as plantas atingiram 120 dias em solo contaminado com Cd.

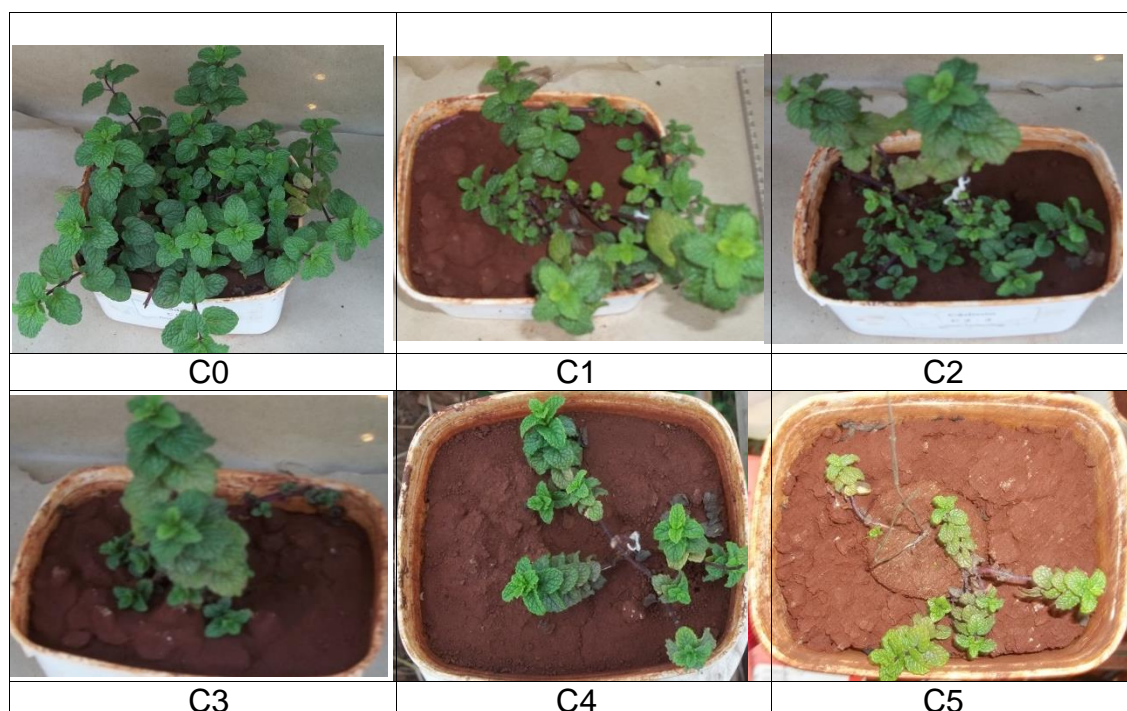


Figura 4. Imagens das hortelãs 120 dias após o plantio em solo contaminado com Cd.

No final do experimento, as plantas apresentavam diferenças visíveis em relação a tamanho, pigmentação das folhas, número de folhas e ramos, variando de acordo com cada tratamento a que elas foram expostas. Diversos autores como Das et al., (1997), Smeets et al., (2005), Zhang et al. (2009) e Gajdos et al., (2012) relataram que as altas concentrações de Cd nas plantas inibem o crescimento da parte aérea, causam clorose, coloração amarronzada das nervuras das folhas e epinastia (curvatura das folhas para baixo). É plausível ressaltar que a intensidade do efeito do Cd depende da idade da planta, do tempo de exposição e da concentração do metal (AKHTER et al., 2012).

Após 120 dias de cultivo onde foi realizada a retirada das hortelãs do solo para avaliação, observou-se mudanças nas raízes das plantas que podem ser observadas na Figura 5.

A raiz é a principal entrada de nutrientes e água para a planta. Mas se houver contaminantes, é provável que ela seja o primeiro órgão a sofrer danos por causa destes elementos (JEZLER et al., 2015).

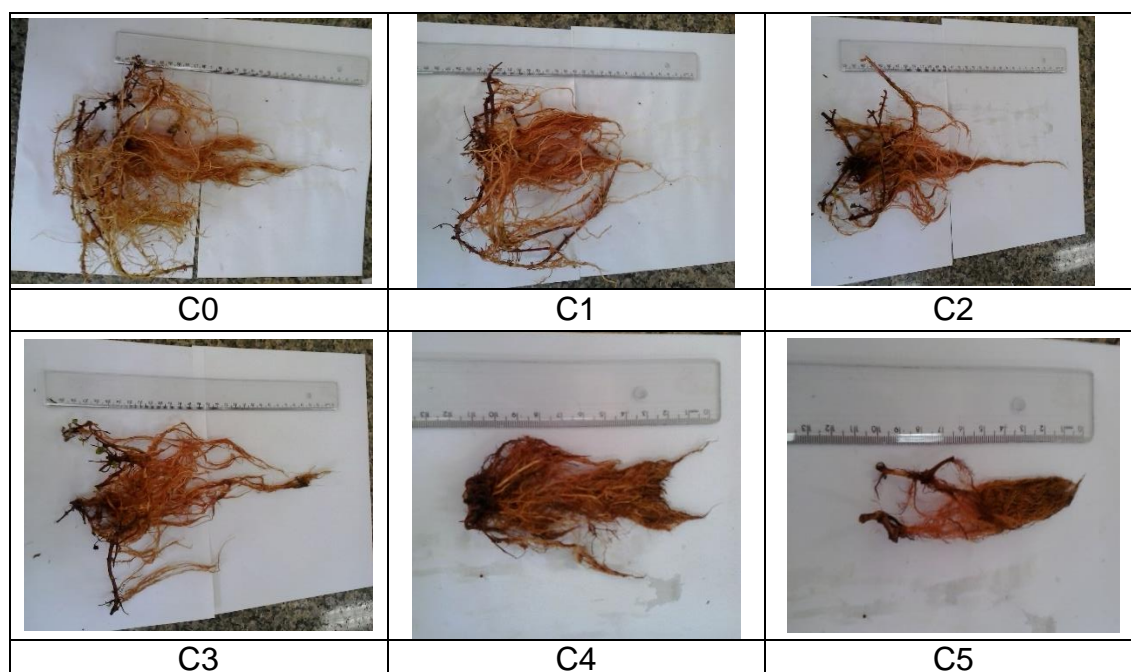


Figura 5. Imagens das raízes das hortelãs após o plantio em solo contaminado com Cd.

Nota-se que à medida que a concentração do metal aumenta, o tamanho das raízes diminui, percebendo-se também um escurecimento na raiz, gradativo, do tratamento C₀ para o tratamento C₅. A presença de Cd na rizosfera inibe a elongação radicular e influência na anatomia da raiz (LUX et al., 2010).

4.5 ANÁLISE DO CRESCIMENTO

Além da sintomatologia visual, foram analisados também o crescimento da planta avaliando o número de folhas, a altura média e o número de brotamento em relação às concentrações de cádmio presentes no solo. A Tabela 5 apresenta resultados das médias obtidas no final do período de cultivo. As diferenças significativas foram avaliadas pelo teste Tukey 5%.

Tabela 3. Médias obtidas do número de folhas, altura e número de brotos para *Mentha crispa* L. em solo contaminado com Cd.

Tratamento	Folhas	Altura (cm)	Brotos
C ₀	327,2 a	25,2 a	61,20 a
C ₁	127,4 b	18,2 b	29,20 b
C ₂	127,00 b	17,4 bc	26,60 b
C ₃	67,4 b	15,62 bc	11,40 b
C ₄	65,00 b	13,44 c	11,40 b
C ₅	62,6 b	8,8 d	7,80 b

* Entre os tratamentos, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

Observa-se que, para as folhas e brotos, o único tratamento que difere dos demais é o tratamento C₀. Isso demonstra que o metal presente no solo influenciou na diminuição do número de folhas e brotos. No entanto, os tratamentos de C₁ a C₅ foram estatisticamente iguais, ou seja, não apresentaram diferença quanto ao desenvolvimento do número de folhas e brotos. Já a altura apresentou uma redução com o aumento da concentração de Cd no solo (C₁ a C₅), principalmente quando comparada com o tratamento C₀.

A Figura 6 apresenta a análise de número de folhas, número de brotos e altura durante as 8 quinzenas de cultivo da *Mentha crispa* L. Nessa Figura podemos observar o comportamento da planta ao longo do tempo de cultivo.

De maneira geral observou-se uma redução no número de folhas (Figura 6A), altura das plantas (Figura 6B) e número de brotos (Figura 6C) com o aumento das concentrações do metal. Esse aumento das concentrações de Cd

no solo exerceu efeito negativo acentuado no crescimento das plantas (Figura 6B). Houve uma redução de 72% no número de folhas comparando o tratamento controle C_0 com o tratamento C_5 . Uma redução considerável já é observada no primeiro tratamento (C_1), onde tem-se uma redução de 19% do número de folhas. No entanto, é a partir do tratamento C_2 que a diferença se torna maior, aumentando para 52,7% quando comparado com a produção do tratamento C_0 .

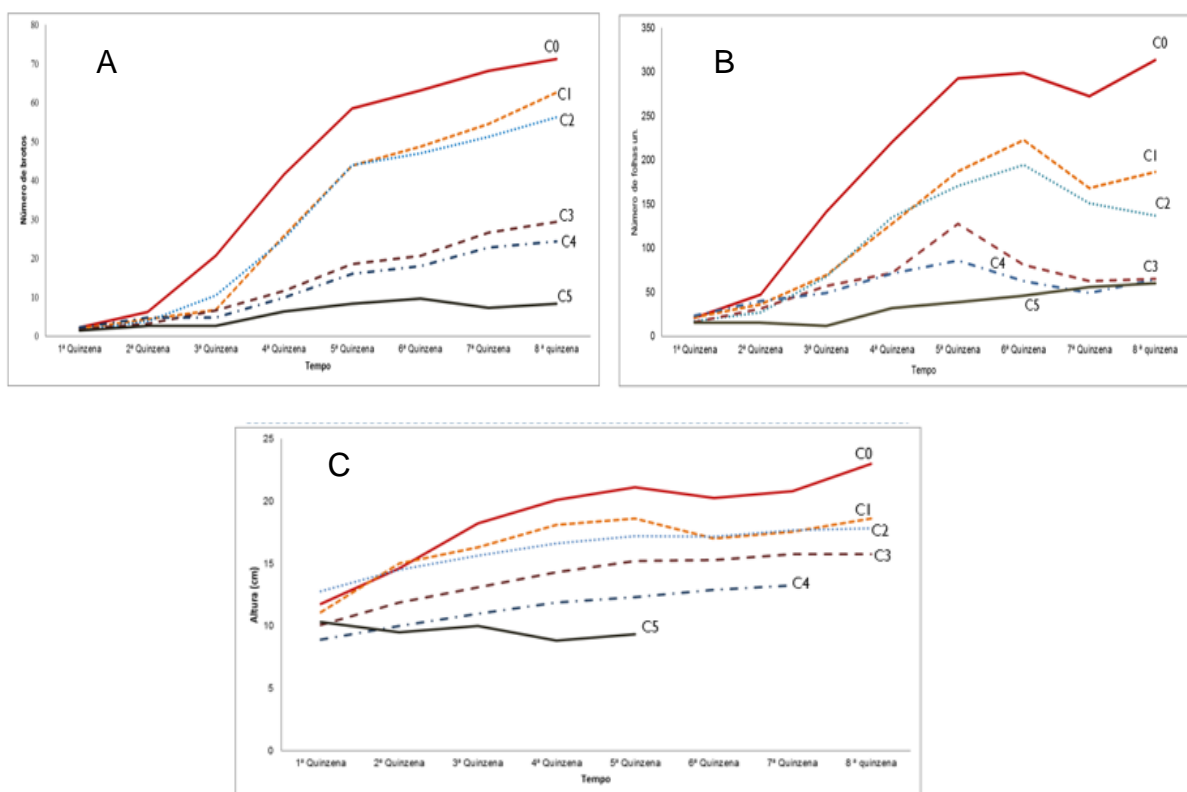


Figura 6. Número de brotos(A), número de folhas (B) e altura (C) de *Mentha Crispa L.* para cada tratamento durante as 8 quinzenas de cultivo.

Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores, em experimentos com outras espécies, demonstrando que o incremento na concentração de Cd pode diminuir o crescimento e afetar o número de folhas (HAAG-KERWER et al., 1999; SANDALIO et al., 2001; WANG et al., 2007). No entanto, tais resultados diferem dos encontrados por Jezler et al., (2015), que avaliaram o comportamento da *Mentha Arvensis* cultivada em solo contaminada com Pb e Cd e observaram que as plantas não demonstraram

alterações expressivas no crescimento e não apresentaram sintomas característicos de toxicidade, mesmo quando expostas a altas concentrações dos metais.

A redução na altura das plantas (Figura 6C) do tratamento C₅ foi de 55,14% quando comparado à altura das plantas do tratamento controle C₀. Essa comparação em porcentagem entre os dois tratamentos foi feita na 5ª quinzena, pois é até onde se tem os dados para o tratamento C₅, após esta semana as folhas dessas plantas, que já estavam com uma coloração avermelhada, caíram e o caule da planta principal secou, ficando apenas os brotos.

Em relação ao brotamento das plantas também se observou uma redução. A medida que a concentração de metal aumentava o número de novos brotos diminuiu. O número de brotos do tratamento C₁ caiu 57% em relação ao tratamento controle C₀ e 87,40% para o tratamento C₅, indicando que possivelmente o Cd interferiu no desenvolvimento da planta.

Observa-se que entre a 6ª e 7ª quinzena houve uma redução no número de folhas, número de brotos e tamanho. Nesse período do experimento houve alguns eventos bióticos e abióticos que podem ter influenciado no desenvolvimento das plantas. Uma das prováveis causas da queda das folhas e redução no número de brotos das hortelãs pode ser o fato de nesse período ser inverno e as temperaturas estarem mais baixas. As temperaturas mínimas registradas no município de Londrina nesta época foram entre 6°C e 18° C e máximas entre 19°C e 30°C (INMET, 2016).

Outra provável causa pode ser o aparecimento de um pó branco, parecido com um bolor, identificado previamente como uma doença que afeta várias plantas nesta época do ano, chamada oídios. Os sintomas dos oídios caracterizam-se pelo aparecimento de um bolor pulverulento, de coloração branca ou levemente cinza, principalmente na face superior das folhas, mas pode, também, ocorrer em ramos jovens, flores e frutos novos (RUSSOMANNO & KRUPPA, 2010). A doença foi controlada com uma solução recomendada pela EMBRAPA (2016) de leite de vaca e água. No

entanto, foi possível observar que algumas folhas caíram neste período, o que pode ser um provável efeito da doença. Russomanno et al. (2005), também relataram a ocorrência de oídio em plantas de *Mentha piperita*. TOZZE Jr. et al., (2006) também observaram a doença em plantas da espécie *Mentha x villosa*, concentrando-se em folhas baixas, ocasionando perda foliar.

4.6 CONCENTRAÇÃO DE Cd na *Mentha crispa* L.

Em relação a concentração encontrada de Cd na *Mentha crispa* L, após 120 dias de cultivo em solo contaminado com esse metal, pode-se observar que quanto maior a concentração de Cd no solo, maior a concentração de Cd na planta.

Tabela 4 . Concentração de Cd encontrado na folha, caule e raiz da *Mentha crispa* L após o cultivo em solo contaminado com concentrações crescentes do metal.

Tratamentos	Concentração de Cd mg. g ⁻¹		
	Folha	Caule	Raíz
C0	0,022	0,030	0,028
C1	0,030	0,585	1,538
C2	0,047	0,541	1,573
C3	0,053	0,992	4,145
C4	0,051	1,108	4,222
C5	2,528	1,971	5,174

As maiores concentrações foram encontradas na raiz, seguida de caule e folha. A quantidade de Cd na raiz das plantas dos tratamentos C₃, C₄ e C₅ são parecidas, sendo 4,14, 4,22 e 5,15 mg.g⁻¹ respectivamente. Os resultados concordam com os encontrados por Santos et al., (2006), que verificaram concentrações de metais nas partes aéreas de *B. decumbens* consideravelmente inferiores às observadas nas raízes. Chand et. al., (2012) em estudo com a *Mentha arvensis* L., cultivada sob solo contaminado com Pb,

Ni e Cr, também constatou uma maior concentração dos metais na raiz da planta, em comparação com a parte aérea. A restrição da translocação de Cd para o caule e folha pode ser atribuída à capacidade das raízes das plantas funcionarem como agentes desintoxicantes, por imobilização e retenção de elementos que serão tóxicos para as partes superiores da planta (MACNICAL, 1985).

As concentrações de Cd encontrados no caule foram maiores do que as encontradas na folha, exceto para o tratamento C₅ onde foi observada uma maior concentração de Cd na folha em relação ao caule. Provavelmente a explicação é porque neste tratamento é a capacidade máxima de metal adsorvido no solo, e pode ser que o Cd se torne mais disponível para a planta, diferente dos tratamentos antecedentes, onde o metal tende a ficar mais retido nas partículas de solo.

4.7 FATOR DE BIOACUMULAÇÃO PLANTA/SOLO

Para avaliar a eficiência do acúmulo de metal em plantas usou-se o fator de bioacumulação (FB), que é definido em razão da concentração de metal na planta pela concentração de metal no solo (Figura 8) (ZHOU & SONG, 2004 apud SUN, et, al., 2007). O FB é o mais importante quando se considera o potencial da fitoextração para uma determinada espécie. Em espécies acumuladoras de metais o FB é tipicamente > 1 (BAKER, 1981).

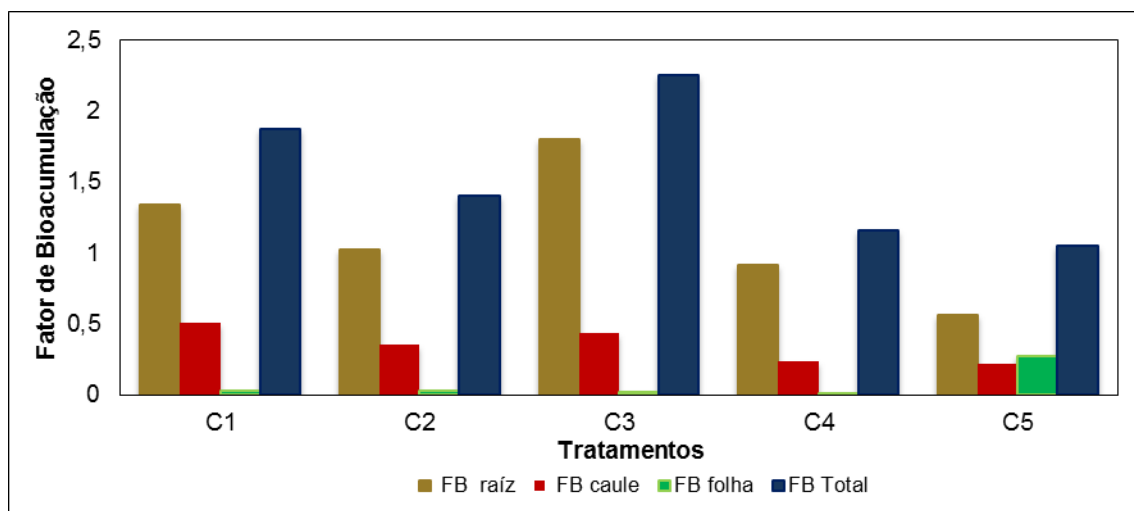


Figura 7. Fator de Bioacumulação.

Analisando separadamente cada parte da planta observa-se que em todos os tratamentos a raiz foi a parte da planta com maior FB, no entanto, somente C₁, C₂ e C₃ tiveram FB > 1. O mesmo se observa para o caule, onde o FB calculado foi maior em C₁, C₂ e C₃, porém em nenhum tratamento o caule obteve FB > 1. Na folha todos os valores de FB estiveram abaixo de 0,5.

De maneira geral, observando o total de Cd acumulado, as plantas de todos os tratamentos tiveram um FB > 1, indicando que a *Mentha Crispa* L. possui capacidade de acumular o metal, e esta acumulação se dá em maior parte na raiz. As concentrações de cádmio são, geralmente, maiores nas raízes do que nas partes aéreas, sugerindo que o transporte de Cd para o xilema é restrita na maioria das plantas (CONN & GILLIHAM, 2010). As concentrações de metais são determinadas, em grande parte, pela entrada na raiz, depois ocorre o sequestro do metal em vacúolos radiculares, translocação para o xilema e floema, e é diluído dentro do rebento através do crescimento da planta (LUX et al., 2011). As plantas absorvem os cátions livres em solução porque as células das raízes apresentam um potencial negativo ao longo da membrana celular (SPOSITO, 1989).

A maior acumulação ocorreu no tratamento C₃ com FB total de 2,25. Este tratamento continha uma concentração de Cd de 2,30 g.kg⁻¹ e, possivelmente, esta seja a concentração de Cd no solo que a planta tenha a

melhor eficiência de absorção. A planta cultivada no tratamento C₃ acumulou 48,67 e 53,5 % a mais do metal do que os tratamentos C₄ e C₅, respectivamente.

4.8 FATOR DE TRANSLOCAÇÃO

Outro parâmetro analisado para avaliar o potencial das plantas em extrair o Cd do solo foi o fator de translocação (FT). Ele demonstra a eficiência da planta no transporte do elemento das raízes para a parte aérea e é muito importante para a classificação da planta como hiperacumuladora. Quanto maior o FT, maior a quantidade translocada para a parte aérea.

Tabela 5. Concentração de Cd na parte aérea (caule e folha) e raiz de *Mentha Crispa L.* e Fator de Translocação calculado.

Tratamentos	Concentração de Cd		FT
	Parte Aérea mg.g ⁻¹	Raiz mg. g ⁻¹	
C1	0,6164	1,5382	0,40
C2	0,5883	1,5731	0,37
C3	1,0463	4,1455	0,25
C4	1,1392	4,2228	0,27
C5	4,4996	5,1747	0,87

O FT de Cd não foi superior a 1 em nenhum tratamento, ou seja, houve uma certa restrição na translocação de Cd para a parte aérea (Tabela 6). Esses resultados estão de acordo com Seyedsadr et, al., (2013) que analisaram os efeitos do Cd na *Mentha Spicata L.*, cultivada em solo com diferentes concentrações do metal. Foi observado que a absorção de Cd pela raiz da planta foi diferente em vários tratamentos e tem diferença significativa, e que a quantidade transmitida para as folhas foi insignificante. Este resultado difere de Jezler et. al., (2015) que encontraram um alto acúmulo de Cd nas folhas *Mentha arvensis*.

As plantas com fatores de bioacumulação e translocação maiores do que um (FB e $FT > 1$) têm potencial para serem utilizadas na fitoextração. Além disso, plantas com fator de bioacumulação maior que um e fator de translocação menor do que um ($FB > 1$ e $TF < 1$) têm o potencial para a fitoestabilização (YOON, 2006). Observando os valores de FB e FT calculados no presente estudo com a *Mentha crispa* L. podemos classificá-la como uma planta fitoestabilizadora.

A imobilização de Cd na parede celular das raízes é a primeira importante barreira contra o estresse promovido pelo Cd (NISHIZONO et al., 1989) e há uma restrição na translocação para a parte aérea (BAKER, 1987). A imobilização nas células das raízes, juntamente com os valores de FT baixos (BAKER, 1987), podem caracterizar mecanismo de exclusão, visando minimizar a toxidez do Cd (BAKER, 1987).

4.9 CORRELAÇÃO DOS EFEITOS DO Cd na *Mentha Crispa* L. POR MEIO DA ANÁLISE DISCRIMINANTE CANÔNICA (ADC)

A ADC mostra a influência do Cd no crescimento das plantas. Na Figura 9 é possível visualizar a correlação entre os parâmetros de altura, brotos e folha em função do tempo (quinzenal) de exposição ao Cd . O eixo ADC 1 demonstrou ser significativamente mais importante na ordenação do efeito do Cd sobre a altura, número de folha e número de brotos, apresentando um autovalor de 93%.

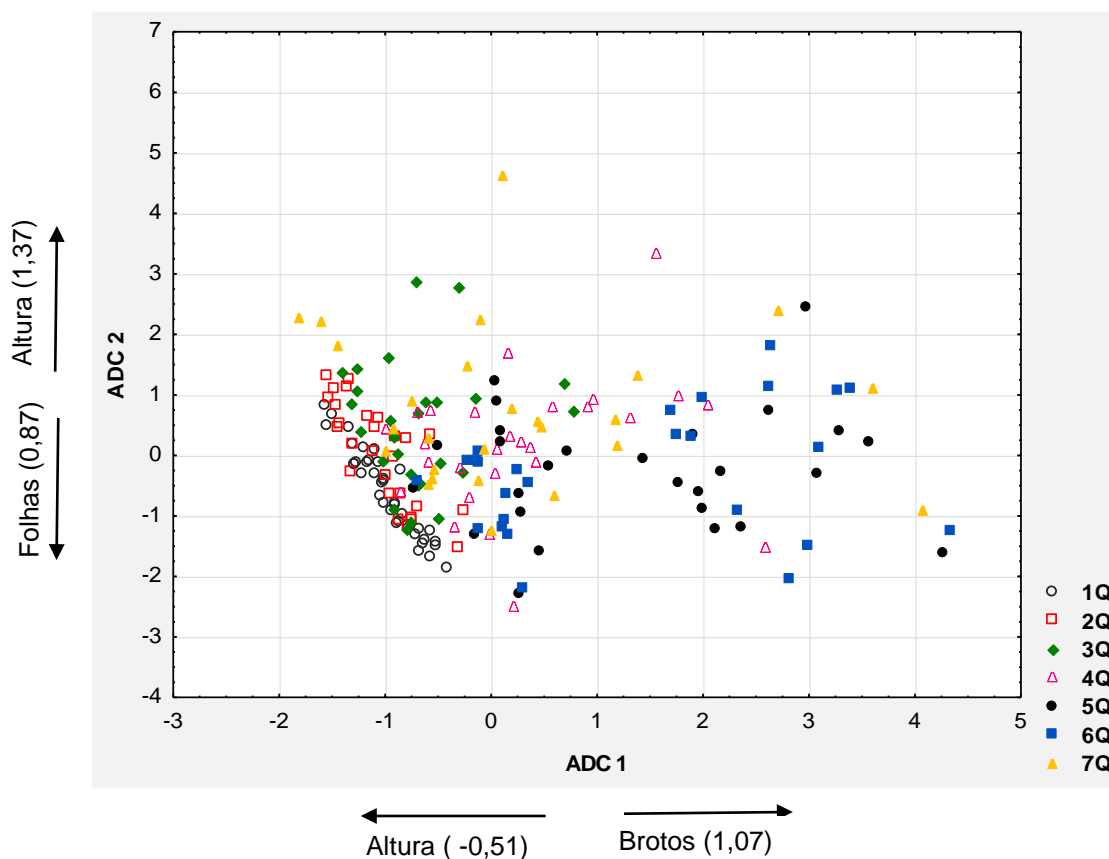


Figura 8. Correlação entre os parâmetros de altura, brotos e folha e o tempo (quinzenal) de exposição ao Cd.

Correlacionando os dados de altura, número de folhas e número de brotos em função do tempo de exposição da planta aos tratamentos, pode-se observar que na primeira quinzena os parâmetros de altura, número de folhas e número de brotos das plantas não sofreram uma grande variação, mantendo-se com comportamentos similares para os tratamentos entre C_0 e C_5 . À medida que o tempo aumenta, os dados se tornam mais dispersos, demonstrando as diferentes respostas das plantas em relação aos tratamentos.

A Figura 10 apresenta uma correlação entre os tratamentos de C_0 a C_5 e os parâmetros de altura, número de brotos e número de folhas das plantas. A análise sugere que o eixo ADC 1 é o que apresenta uma significância mais importante na interpretação dos dados, com 87,7% da variabilidade. Observa-se que o número de brotos foi o parâmetro mais afetado pelo tratamento C_5 , enquanto que a altura foi o parâmetro menos afetado pelo tratamento C_0 ,

seguido de C₁ e C₂. Isso foi observado na sintomatologia onde as plantas cultivadas em solos com maiores concentrações de Cd (C₄ e C₅) apresentaram redução na altura e menor número de brotos em comparação com o tratamento controle C₀.

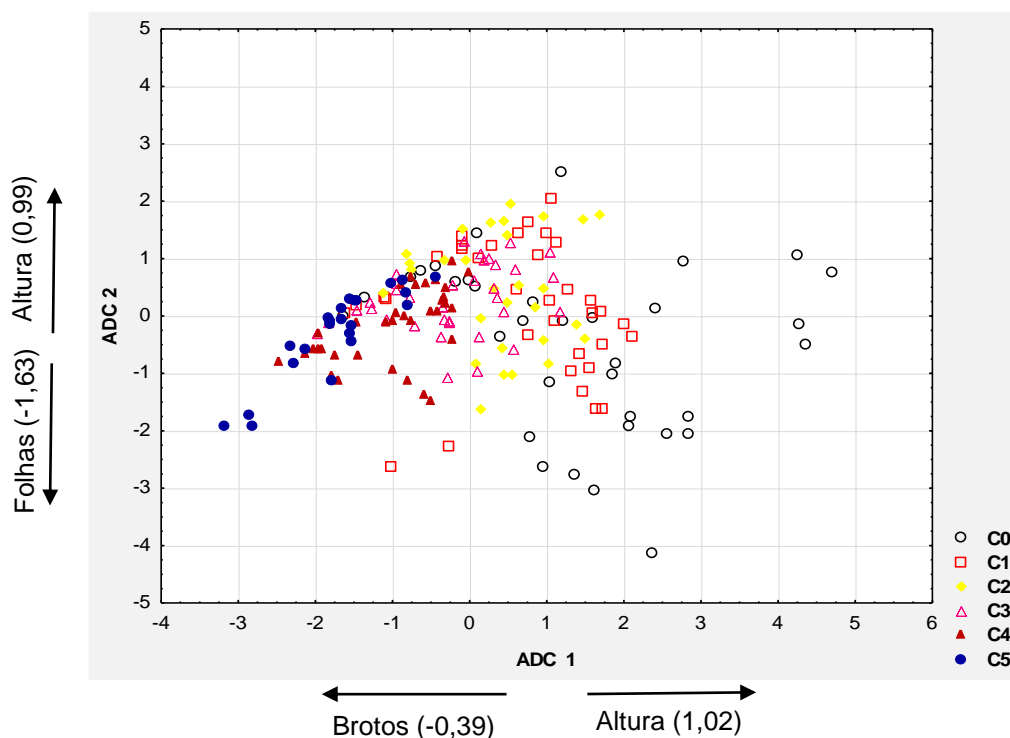


Figura 9. Correlação entre os tratamentos de C₀ a C₅ e os parâmetros de altura, número de brotos e número de folhas das plantas.

A Figura 11 apresenta uma correlação entre os tratamentos aplicados (C₀ a C₅) e as concentrações de Cd encontradas nas partes da planta (raiz, caule e folha) no final do experimento. Observa-se que o eixo ADC 1 demonstrou ser significativamente mais importante na ordenação da visualização dos resultados, com 99,9% de explicação da variabilidade dos dados.

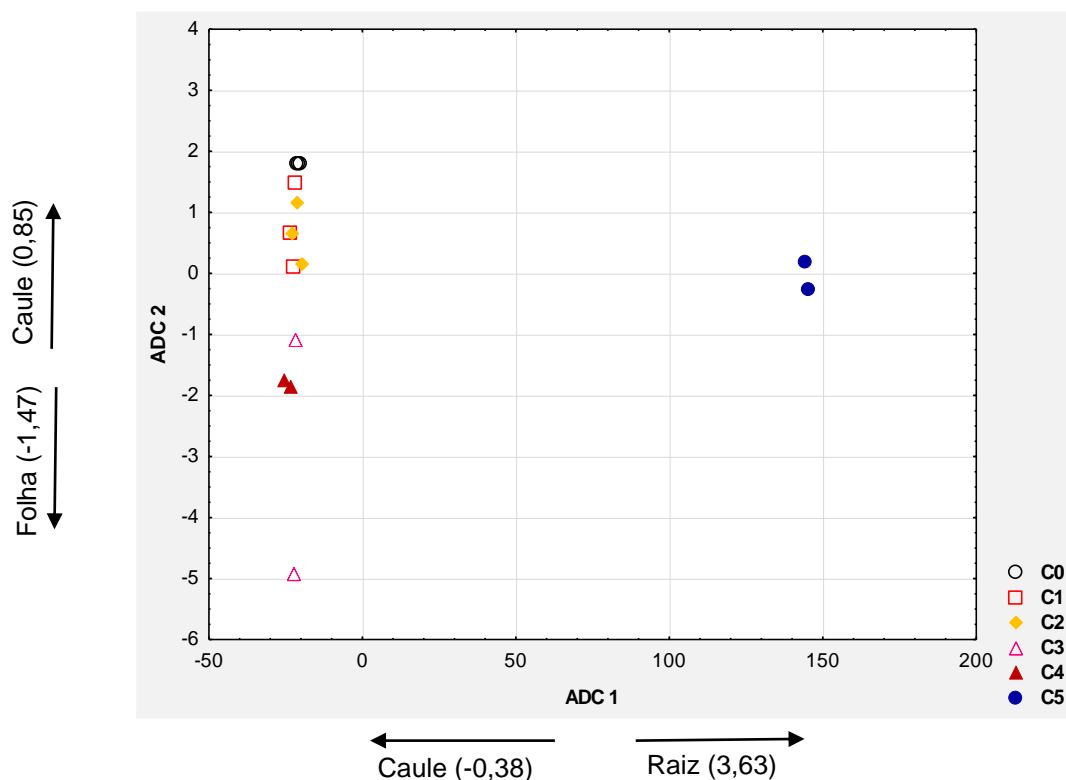


Figura 10. Correlação entre os tratamentos aplicados (C₀ a C₅) e as concentrações metade Cd na folha, caule e raiz da *Mentha crisper L.*

O eixo ADC 1 segregou principalmente o tratamento C₅ dos demais, revelando maior acúmulo de metais nas raízes (com maior coeficiente canônico positivo). O eixo ADC 2 demonstrou maior acúmulo de metais no caule (coeficiente = 0,85) nas menores concentrações (C₁ e C₂), enquanto que nos tratamentos C₃ e C₄ a acumulação foi maior nas folhas.

A correlação apresentada no gráfico mostra que as raízes acumularam mais metal que as partes aéreas, sugerindo que a *Mentha crisper L.* tem um potencial de fitoestabilização mas não de hiperacumulação. A hiperacumulação ocorre quando as plantas conseguem absorver os metais presentes no solo e translocá-los para a parte aérea, onde os mesmos são acumulados em maior quantidade (SANTOS et. al, 2006). De acordo com Zhao & McGranth (2009), a hiperacumulação de metais é um grande desafio a ser vencido dentro da técnica de fitorremediação, já que muitas plantas não conseguem realizá-lo.

O fato da *Mentha crisper L.* não ter sido classificada como hiperacumuladora, pode ser usado como ponto favorável na escolha da planta

para uso em locais contaminados, já que a *Mentha* possui um valor econômico agregado no uso de seu óleo essencial. Assim, a planta poderia ser usada em locais onde a contaminação de Cd não fosse tão alta, porém existente. Como o metal tende a se acumular na raiz da planta, o óleo essencial, produzido pelas folhas e onde não se encontrou quantidades significativas de Cd, possivelmente poderia ser extraído e utilizado comercialmente.

5 CONCLUSÃO

A *Mentha crisper* L. cultivada em solo contaminado com Cd apresentou uma redução na altura, número de brotos e número de folhas em função do aumento da concentração do metal, alterando também a anatomia e tamanho das raízes das plantas. Quanto à eficiência de extração de Cd do solo, a planta do tratamento C₃ (2,3 g.kg⁻¹) obteve o melhor desempenho, determinada pelo fator de bioacumulação.

As maiores concentrações de Cd foram encontradas nas raízes das plantas e uma pequena quantidade, pouco significativa, translocou para as partes aéreas. Sendo assim, a planta não pode ser classificada como hiperacumuladora, mas como fitoestabilizadora, podendo ser usada em programas de fitorremediação para estabilizar áreas contaminadas com esse elemento.

A baixa translocação de Cd para a parte aérea de *Mentha crisper* L. pode ser favorável do ponto de vista econômico, pois o óleo essencial produzido na folha da planta tem um valor comercial agregado e possivelmente poderia ser utilizado.

6 REFERÊNCIAS

AKHTER, M.F., SHEILA, M. Species-specific relationship between transpiration and cadmium translocation in lettuce, barley and radish. **Journal Plant Studies**. V.11, p. 1-13, 2012.

BAGNOLA, I.A., CURCIO, G.R., GOMES, J.B.V., CAVIGLIONE, J.H., UHLMANN, A., CARDOSO, A., CAVALHO, A.P. Levantamento semidetalhado de solos do município de Londrina – Londrina: IAPAR,. 100p, 2011.

BAKER, A. J. M., Accumulators and excluders — Strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal Plant Nutr.** v.3, p. 643–654. 1981.

BAKER, A. J. M., McGRATH, S. P., SODOLI, C. M. D., REEVES, R. D. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metalaccumulating plants. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 11, p. 41-49, 1994.

BAKER, A. J. M. Metal tolerance. *New Phytologist*, Oxford, v.106, p. 93-111, 1987.

BORGES, M.R., COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I - Fracionamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:543-555, 2004.

BRADL, H.B. Adsorption of heavy metals ions on soil and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York. v. 277, p. 1-18, 2004.

CHAVES, L.H.G., ESTRELA, M.A., SOUZA, R.S. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. **Journal of Phycology**., 3(12): 04-09. 2011.

CHAVES, L.H.G., BRITO, M.E.B., CARVALHO, A.P., DANIEL, R., RIBEIRO, S., SANTOS, R.T. Adsorção de cobre em amostras de Plintossolo do Estado do Piauí, com diferentes características. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 226-232, 2009.

CHAND, S., A., PANDEY, D.D., PATRA L. K. Influence of nickel and lead applied in combination with vermicompost on growth and accumulation of heavy metals by *Mentha arvensis* . **Indian Journal of Natural Products and Resources**. v.3, p. 256-261, 2012.

CHANEY, R. L., MALIK, M., LI, Y. M.; BROWN, S. L., BREWER, E. P., ANGLE, J. S., BAKER, A. J. M. Phytoremediation of soil metals. **Current Opinions in Biotechnology**, v.8, p. 279-284, 1997.

CICCU, R., GHIANI, M., SERCI, A., FADDA, S., PERETTI, R., ZUCCA, A. Heavy metal immobilization in the mining-contaminated soils using various industrial wastes. **Minerals Engineering**, online, v. 16, p. 187-192, 2003.

CUNNINGHAM, S. D., ANDERSON, T. A. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advance in Agronomy**, New York, v. 56, p. 55-114, 1996.

CONN, S., GILLIHAM, M. Comparative physiology of elemental distributions in plants. **Annals of Botony**, v.105, p. 1081–1102, 2010.

CONAMA Nº 420/2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> Acesso em: 22 jan. 2017.

COSTA, C. N., MEURER, E. J., BISSANI, C. A., TEDESCO, M. J. Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. **Ciência Rural**. v.37, n.5, p.1323-1328, 2007,

DAHMANI-MULLER H, VAN OORT F, GÉLIE B, BALABANE M. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. **Environmental Pollution**. v. 109, p. 1–8, 2000.

DAS, P., SAMANTARAY, S., ROUT, G.R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 98(1), p. 29-36. 1997.

DAS, P., MUKHERJEE, S., SEN, R. Biosurfactant of marine origin exhibiting heavy metal remediation properties. **Bioresource Technology**, online, v. 100, p. 4887-4890, 2009.

DIAS, N.M.P., ALLEONI, L.R.F., CASAGRANDE, J.C., CAMARGO, O.A. Adsorção de cádmio em dois Latossolos ácricos e um Nitossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, v. 25, p. 297-304, 2001.

DIAS, N. M. P., ALLEONI, L. R. F., CASAGRANDE, J. C., CAMARGO, O. A. Isotermas de adsorção de cádmio em Latossolos ácricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 229-234, 2001.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro. 2.ed. 212 p. 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Rio de Janeiro.
1.ed. 370 p. 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de
solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p. 97-98, 2011.

FONTES, M.P.F., GOMES, P.C. Simultaneous competitive adsorption of heavy
metals by the mineral matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**,
Aberystwyth, v. 18, p. 795-804, 2003.

FORD, R.G., SCHINOST, A.C., SPARKS, D.L. Frontiers in metal
sorption/precipitation mechanisms on soil mineral surfaces. **Advances in
Agronomy**, New York, v. 74, p. 41-62, 2001.

GAJDOS, E., LÉVAI, L., VERES, S., KOVÁCS, B. Effects of biofertilizers on
maize and sunflower seedlings under cadmium stress. Communication. **Soil
Science and Plant Analysis**, v.43, p. 272-279. 2012.

GALLEGO S. M., PENA L. B., BARCIA R. A., AZPILICUETA C. E., IANNONE
M. F., ROSALES E. P., ZAWOZNIKA M. S., GROPPAA M.D., BENAVIDES M.
P. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory
mechanisms. **Environmental and Experimental Botany**. v.83, p. 33–46. 2012.

HAAG-KERWER, A., SCHAFER, H.J., HEISS, S., WALTER, C., RAUSCH, T.
Cadmium exposure in Brassica juncea causes a decline in transpiration rate
and leaf expansion without effect on photosynthesis. **Journal of Experimental
Botany**, v. 50, p. 1827–1835. 1999.

HOSSAIN, M. A, PIYATIDA, P., SILVA, J.A.T., FUJITA, M. Molecular
mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of
glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in
heavy metal chelation. **Journal of Botany**, Volume 2012, Article ID 872875, 37.
2012.

JIANG, J., XU, R. Application of crop straw derived biochars to Cu(II)
contaminated Ultisol: Evaluating role of alkali and organic functional groups in
Cu(II) immobilization. **Bioresource Technology**. v.133, p. 537-545. 2013.

JEZLER, C. N., MANGABEIRA, P. A. O., ALMEIDA, A. F. DE JESUS, R. M.,
OLIVEIRA, R. A., SILVA, D. da., COSTA, L. C. Pb and Cd on growth, leaf
ultrastructure and essential oil yield mint (*Mentha arvensis* L.). **Ciência Rural**,
v. 45, n. 3, p. 392–398, 2015.

KÖPPEN, W. Climatologia. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1978. 478p.

KUMMER, L. Remediação de solos contaminados por metais pesados usando biosurfactante produzido a partir de resíduo agroindustrial. Tese de Doutorado. Cascavel, PR: UNIOESTE. 198 f. 2014.

LUX, A., MARTINKA, M., VACULÍK, M., WHITE, P.J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 21–37. 2011.

LOPES, C. M. Adsorção individual e competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos em função da variação de pH . Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Piracicaba, 100 p. 2009.

MACNICAL, R. D., AND P. H. T. BECKETT. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. **Plant and Soil**, v. 85, p. 107–129. 1985.

MULLIGAN, C.N., YONG, R.N., GIBBS, B.F. Heavy metal removal from sediments by biosurfactants. **Journal of Hazardous Materials**, online, v. 85, p. 111-125, 2001.

MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 14, p. 277-282, 2003.

PAULUS, D., MEDEIROS, S.L.P., SANTOS, O.S., MANFRON P.A., PAULUS, E., FABBRIN, E. Teor e qualidade do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) produzida sob cultivo hidropônico e em solo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.9, n.2, p.80-87, 2007.

PAULUS, D., MEDEIROS, S.L.P., SANTOS, O.S., RIFFEL, C., FABBRIN, E.G., PAULUS, E. Substratos na produção hidropônica de mudas de hortelã. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, 2005.

PIERANGELI, M.A.P., GUILHERME, L.R.G., CURI, N., COSTA, E.T.S., LIMA, J.M. & FIGUEIREDO, L.F. Comportamento sortivo, individual e competitivo de metais pesados em Latossolos com mineralogia contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 31, p.819-826, 2007.

PARMAR P, KUMARI N & SHARMA V. Structural and functional alterations in photosynthetic apparatus of plants under cadmium stress. **Botanical Studies**, 54:45-51. 2013.

RUSSOMANNO, O. M. R., KRUPPA, P. C., FIGUEIREDO, M. B. Oidium *asteris-punicei* em plantas de Hortelã-pimenta. **Fitopatologia Brasileira**, n. 30, v.5, p. 551, 2005.

RUSSOMANNO, O.M.R., KRUPPA P.C. Doenças fúngicas das plantas medicinais, aromáticas e condimentares – parte aérea. **Biológico**, São Paulo, v.72, n.1, p.31-37, 2010.

SÁ, R.A.; SÁ, R.A., ALBERTON, O., GAZIM, Z.C., LAVERDE Jr., A., CAETANO, J., AMORIN, A. C., DRAGUNSKI. D. C. Phytoaccumulation and effect of lead on yield and chemical composition of *Mentha crispa* essential oil. **Desalination and Water Treatment**. p. 1944-3994/1944-3986, 2013.

SANITÀ di TOPPI, L., GABBRIELLI, R., Response to cadmium in higher plants. **Environmental and Experience Botanical**, v. 41, p. 105-130, 1999.

SANTOS, C. F., NOVAK, E. Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 7, n. 1, p. 67-77, 2013.

SOARES, C. R. F. S. et al. Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus muculata* e *E. europila* em solução nutritiva. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 175-183, 2005.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1989, 234p.

SANTOS, F. S., HERNANDEZ-ALLICA, J., BECERRIL, J. M., AMARAL-SOBRINHO, N., MAZUR, N., GARBISU, C. Chelate induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. **Chemosphere**, v. 65, p. 43-50. 2006.

SMEETS, K; CUYPERS, A; LAMBRECHTS, A; SEMANE, B; HOET, P; LAERVE, A; VANGRONSVELD, J. Induction of oxidative stress and antioxidative mechanisms in *Phaseolus Vulgaris* after Cd application. **Journal Plant Physiology and Biochemistry**, v. 43, p. 437-444. 2005.

SEYEDSADR, S.; ALIPOUR, Z. T.; FARASAT, M.; SINAKI, J. Investigation of the ability of *Mentha spicata* L.'s for reducing cadmium in contaminated soil. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, Iran, Vol.4 No.12 pp.3425-3431 ref.22, 2013.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Mecanismos de tolerância de plantas a metais pesados. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 419-432. 2006.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 234p. 1989.

TAVARES, T. M. CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. **Química Nova**, v. 15, p. 147 – 154, 1992.

TILLER, K. G. et al. The relative affinities of cd, ni and zn for different soil clay fractions and goethite. *Geoderma*. v. 34, p. 17-35, 1984.

TOZZE JR., H. J.; GARCIA JR., MASSOLA JR. Ocorrência de oídio em *Mentha x villosa*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, n. 2, p. 1145-1145, 2006.

VILAR, C. C. Interação entre atributos físicos, químicos e mineralógicos e a capacidade máxima de adsorção de fósforo e chumbo de amostras do horizonte A e B de Latossolos do estado do Paraná tratadas com calcário e fosfato. / Cesar Crispim Vilar. -Maringá, 144 f. 2010.

WANG, M.; ZOU, J.; DUAN, X.; JIANG, W. E LIU, D. Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.). **Bioresource Technology**. v.98, p. 82-88. 2007.

WANG, X.; WANG, Y.; MAHMOOD, Q.; ISLAM, E.; JIN, X.; LI, X.; YANG, X.; LIU, D. The effect of EDDS addition on the phytoextraction efficiency from Pb contaminated soil by *Sedum alfredii* Hance. **Journal Hazard Mater.** v. 168, p. 530–535, 2009.

WHITE, P.J., BROWN, P.H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botony** v. 105, p. 1073–1080. 2010.

WHO, UNICEF. "UNFPA, The World Bank. Trends in maternal mortality: 1990 to 2010." World Health Organization, UNICEF, UNFPA, and The World Bank (2012).

YOON, J., CAO, X., ZHOU, Q. & MA, Q. L., 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.

ZHANG, S; ZHANG, H; QIN, R; JIANG, W; LIU D. Cadmium induction of lipid peroxidation and effects on root tip cells and antioxidant enzyme activities in *Vicia faba* L. **Ecotoxicology**. v. 18, p. 814-823. 2009.

ZHAO, F.; MCGRATH, S. P. Biofortification and phytoremediation. **Current Opinion in Plant Biology**, [S.I.], v. 12, p. 373-380, 2009.

ZHOU Q X, SONG Y F. Principles and Methods of Contaminated Soil Remediation. Beijing: Science Press. 215–219. 2004.

7 ANEXOS

Anexo 1: Tabelas de conversão de valores de densidade.

Tabela de conversão dos valores de densidade medidos pelo método do densímetro de Bouyoucos e a massa de partículas dispersas em solução.

Densidade Líquido	Massa em suspensão (g/l)	Densidade Líquido	Massa em suspensão (g / l)
1,000	0,00	1,0180	30,00
1,0005	0,83	1,0185	30,83
1,001	1,66	1,0190	31,66
1,0015	2,50	1,0195	32,50
1,002	3,32	1,0200	33,32
1,0025	4,15	1,0210	34,15
1,0030	5,00	1,0215	35,00
1,0035	5,83	1,0220	35,83
1,0040	6,66	1,0225	36,66
1,0045	7,50	1,0230	37,50
1,0050	8,32	1,0235	38,32
1,0055	9,15	1,0240	39,15
1,0060	10,00	1,0245	40,00
1,0065	10,83	1,0250	40,83
1,0070	11,66	1,0255	41,66
1,0075	12,50	1,0260	42,50
1,0080	13,32	1,0265	43,32
1,0085	14,15	1,0270	44,15
1,0090	15,00	1,0275	45,00
1,0095	15,83	1,0280	45,83
1,010	16,66	1,0285	46,66
1,0105	17,50	1,0290	47,50
1,0110	18,32	1,0295	48,32
1,0115	19,15	1,0300	49,15
1,0120	20,00	1,0305	50,00
1,0125	20,83	1,0310	50,83
1,0130	21,66	1,0315	51,66
1,0135	22,50	1,0320	52,50
1,0140	23,32	1,0325	53,32
1,0145	24,15	1,0330	54,15
1,0150	25,00	1,0335	55,00
1,0155	25,83	1,0340	55,83
1,0160	26,66	1,0345	56,66
1,0165	27,50	1,0350	57,50
1,0170	28,32	1,0355	58,32
1,0175	29,15	1,0360	59,15