



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/ PRODUÇÃO  
VEGETAL**

**ANA ROBERTA LIMA DE MIRANDA**

**NODULAÇÃO E TEORES DE CROMO NO FEIJÃO-CAUPI APÓS  
APLICAÇÕES CONSECUTIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**

**TERESINA**

**2014**

**NODULAÇÃO E TEORES DE CROMO NO FEIJÃO-CAUPI APÓS  
APLICAÇÕES CONSECUTIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**

**ANA ROBERTA LIMA DE MIRANDA**

Engenheira Agrônoma

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: **Prof. Dr. ADEMIR SÉRGIO FERREIRA DE ARAÚJO**

**TERESINA**

**2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

M672n Miranda, Ana Roberta Lima de.  
Nodulação e teores cromo no feijão-caupi após  
aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado  
[manuscrito] / Ana Roberta Lima de Miranda – 2014.  
54 f.

Cópia de computador (printout).  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade  
Federal do Piauí, 2014.  
“Orientador Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de  
Araújo.”

1. Compostagem. 2. Contaminação. 3. Efluente I.  
Título.

CDD 635.659 2

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente  
você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

Aos meus pais, José Roberto e Diolinda.  
Às minhas irmãs Gracielle e Luzia Arethusa.  
À meu tão querido sobrinho Pietro.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por todo companheirismo e presença real ao longo destes anos de estudo, e por toda amizade e luz em meu caminho.

À minha família pela compreensão, força e amor.

Ao meu orientador Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo pela segurança e confiança depositada com disponibilidade em compartilhar seu conhecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), pela admissão e concessão do Título de Mestre.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, pelo apoio na realização das análises.

Ao Departamento de Zootecnia da UFPI, na pessoa de Sr. Lindomar e Manoel, pela grandiosa ajuda nas análises.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal pela realização de análises específicas.

À EMBRAPA Meio Norte, por permitir o processo de moagem de material em suas instalações.

Ao prof. Dr. Antônio Aécio Bezerra e Dr. Valdemir Queiroz que com muita gentileza e afincos, contribuíram com as análises estatísticas deste trabalho.

Aos meus preciosos amigos Adão Cabral, Alisson Alexandrino, Ana Carolina, Claudiane Costa, Jayara Silva, Lucélia Brito, Luciano Lima, Marcus Willames, que com muita afeição e carinho me ajudaram a perseverar nas minhas escolhas, por meio de palavras ou atos que jamais esquecerei.

À prof. Mara Oliveira que sempre com muita delicadeza me ouviu e falou coisas valiosas para minha vida e meu trabalho.

À Lenildo, Leonarda, Sandra e Diego que foram sempre tão prestativos em minhas análises, fazendo por mim muito mais do que deviam e muito mais do que eu merecia receber.

Às minhas amigas Maryelen Barbosa e Jacira Brito que mesmo tão distantes fisicamente, souberam usar da melhor maneira para não me deixar sentir só.

À minha amiga Nathalia Serpa, pelas noites compartilhadas em claro, pelos estudos, companheirismo de uma verdadeira irmã.

À todos os meus colegas de curso pela contribuição nos estudos e conhecimentos compartilhados.

E a todos que de alguma forma estiveram presentes nesta caminhada para que eu pudesse alcançar mais esta tão importante conquista de vida.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	xii
REVISÃO DE LITERATURA.....	14
1 O lodo de curtume compostado e o acúmulo de cromo no solo e na planta.....	14
2 A fixação biológica de nitrogênio.....	17
Referencias.....	20
<b>CAPITULO 1: Fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi após quatro anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado.....</b>	<b>24</b>
Resumo .....	24
1 Introdução.....	25
2 Material e Métodos.....	26
2.1 Localização e condições climáticas da região do estudo.....	26
2.2 Características do composto lodo de curtume.....	26
2.3 Características do solo.....	28
2.4 Tratamentos e condução experimental.....	28
2.5 Amostragem e avaliação da nodulação e fixação biológica de nitrogênio.....	29
3 Resultados e Discussão.....	30
4 Conclusão.....	32
Referencias .....	32
<b>CAPITULO 2: Teores de cromo e produtividade de feijão-caupi após quatro anos de aplicação consecutivas de lodo de curtume compostado ...</b>	<b>37</b>
Resumo .....	37
1 Introdução.....	38
2 Material e Métodos.....	39
2.1 Área experimental e condições climáticas.....	39
2.2 Características do solo e análises.....	39

2.3 Características do lodo de curtume compostado.....	40
2.4 Delineamento e condução experimental.....	41
2.5 Amostragem e determinação dos teores de cromo e produtividade.....	41
3 Resultados e Discussão.....	42
4 Conclusão.....	47
Referencias.....	48
Apendices.....	51

## **NODULAÇÃO E TEORES DE CROMO NO FEIJÃO-CAUPI APÓS APLICAÇÕES CONSECUTIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**

Autora: Ana Roberta Lima de Miranda

Orientador: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

**RESUMO:** As atividades antrópicas, em sua maioria, são causadoras de diversos impactos ambientais. O processamento da pele animal em couro é uma destas ações que, pois quando mal executados os descartes de seus resíduos, podem provocar sérios danos ao ambiente e a saúde em geral. A causa está na presença de metais pesados em sua composição provenientes de substâncias utilizadas para o curtimento da matéria prima. Baseado nisto, objetivou-se avaliar o efeito do lodo de curtume após processo de compostagem, no cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), por anos consecutivos. Os tratamentos utilizados foram: 0 (controle), 2,5, 5, 10 e 20 Mg kg<sup>-1</sup> de lodo de curtume em parcelas experimentais de 10m<sup>2</sup>, por meio de delineamento em blocos casualizados. Foram avaliados os atributos químicos do solo, na profundidade 0 – 0,20 m. Além disto, realizou-se análises de percentual de nitrogênio, cromo no solo, folhas e grãos, eficiência de nodulação, material seco de parte aérea, nódulos e raiz e produtividade, no intuito de inferir sobre possíveis intervenções de metais pesados à estes parâmetros. Uma avaliação geral compilando-se os dados dos quatro anos de ensaio foi realizada, atribuindo-se produtividade e teores de cromo em solo, folhas e grãos. A deposição de lodo ao solo contribuiu para um aumento considerável de cromo no solo e nas folhas, apresentando redução de acúmulo deste elemento-traço nos grãos. A atividade microbiana, de forma geral, não sofreu interferência negativa pela presença dos metais e a maior produtividade obtida ao longo dos anos foi encontrada na dose 10 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Compostagem, contaminação, efluente.

## **NODULATION AND LEVELS OF CHROME ON cowpea AFTER APPLICATION OF CONSECUTIVE COMPOSTED TANNERY SLUDGE**

Author: Ana Roberta Lima de Miranda

Advisor: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

**ABSTRACT:** Human activities, in most cases, are causing many environmental impacts. The processing of animal skin leather is one of those actions that, when poorly executed because the discharges of waste materials, can cause serious damage to the environment and health in general. The cause is the presence of heavy in composition from substances used for tanning of raw metals. Based on this, the objective was to assess the achievement of the tannery sludge after composting process, the cultivation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) for five consecutive. The treatments were: 0 (control), 2.5, 5, 10 and 20 kg Mg<sup>-1</sup> of tannery sludge in experimental plots of 10m<sup>2</sup>, using a randomized block design. Chemical soil properties were evaluated in depth 0-0,20m. In addition, we performed analyzes of percentage of nitrogen, chromium in soil, leaves and grains, efficiency of nodulation, dry weight of aerial part, root nodules and productivity in order to infer about possible interventions to these parameters of heavy metals. A general review compiling the data of the for - year test was performed, attributing productivity and levels of chromium in soil, leaves and grains. The deposition of silt soil contributed to a considerable increase of chromium in soil and leaves, and reduced accumulation of this trace element in the grains. Microbial activity, in general, did not suffer negative interference by the presence of metals and increased productivity gained over the years has been found at a dose 10 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** Composting, pollution, effluent.

## INTRODUÇÃO GERAL

Os curtumes apresentam uma importância econômica para o Brasil pelo processamento de peles e couros. Entretanto, a atividade curtumeira é geradora de resíduos considerados poluentes e o descarte irregular tem gerado impactos ambientais.

Os resíduos, após a decantação nas lagoas de tratamento, são conhecidos por lodos de curtume e apresentam, em sua composição, compostos químicos como ácidos, sulfatos e hidróxicos, utilizados no processo de curtimento, e metais, principalmente cromo (Cr). Por outro lado, o lodo de curtume tem alto conteúdo de matéria orgânica que pode ser convertida em nutrientes para as plantas. Além disto, o lodo de curtume apresenta potencial corretivo em virtude da presença de carbonatos e hidróxidos. Portanto o seu uso agrícola vem sendo estudado com grande frequência e, especialmente, o processo de compostagem tem sido proposto como uma das formas de tratamento e uso do resíduo.

A utilização de lodo de curtume compostado nos solos agrícolas deve ser acompanhada do devido monitoramento das mudanças promovidas pelo resíduo após aplicação. Especialmente no solo, a avaliação dos atributos químicos e biológico é uma ferramenta importante para o acompanhamento dos efeitos do lodo de curtume compostado. Adicionalmente, o desenvolvimento e a produtividade das plantas pode ser avaliado e correlacionado com os teores dos elementos químicos no solo e os processos biológicos.

Dentre os processos biológicos importantes para a agricultura cita-se a fixação simbiótica do nitrogênio que permite as plantas um crescimento mais vigoroso. Este processo é considerado um indicador de qualidade do solo e de impactos ambientais.

A hipótese do estudo é que aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado causam efeitos sobre os atributos químicos do solo e na fixação biológica do nitrogênio em virtude, principalmente, da adição constante de Cr ao solo além do aumento do pH e salinidade do solo.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado durante quatro anos sobre atributos químicos do solo e a fixação biológica do nitrogênio em feijão-caupi.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1 O lodo de curtume compostado e o acúmulo de Cr no solo e na planta

A atividade curtumeira gera resíduos, oriundos do processamento das peles, com composição química variada. Estes resíduos após o processo de estabilização dá origem ao lodo de curtume que apresenta níveis elevados de matéria orgânica e elementos químicos, tais como cromo (Cr). Além disso, o lodo de curtume apresenta carbonatos, hidróxidos e sais de cálcio, sódio e enxofre.

Em virtude desta composição química e orgânica, o lodo de curtume tem sido reaproveitado em solos agrícolas (FRADE JUNIOR, 2007).

A reutilização do lodo de curtume no solo oferece uma série de vantagens sobre alternativas de gestão ambiental, porque reduz o uso de fertilizantes e elimina a necessidade de seu tratamento subsequente ou eliminação. Entretanto, o processo de tratamento prévio do lodo de curtume, via compostagem, pode promover uma estabilização do resíduo e reduzir o possível impacto ambiental (GOMES, 2013).

A compostagem consiste em uma técnica de processamento de resíduos orgânico para transforma-los em composto ou húmus a serem utilizados nas práticas agrícolas como adubos (KHIEL, 1985). CARVALHO (2002), cita a compostagem como sendo um processo de bio-oxidação aeróbica, exotérmica, de um substrato orgânico heterogêneo no estado sólido, realizada por uma população complexa de microrganismos, caracterizada por ter como produto final água e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), com simultânea liberação de matéria orgânica que se estabiliza após a maturação.

O composto pode ser obtido a partir de diversos substratos comuns, tais como esterco, capins, bagaço de cana casca de árvores ou até mesmo resíduos industriais. Segundo CARVALHO (2002), é natural que os resíduos urbanos como lixo e lodo de esgoto também fossem utilizados como substratos e devido aos excelentes resultados obtidos, a compostagem tornou-se um dos processos mais difundidos de tratamento desses resíduos.

A diferença entre se adicionar ao solo diretamente os resíduos crus e o resíduo estabilizado (p. ex., proveniente da compostagem) em relação à resposta de uma cultura, quanto à sua nutrição, está na quantidade e época em que os nutrientes mineralizados estarão disponíveis para as plantas, assim como na intensidade com que influenciam os microrganismos (PEIXOTO, 2005).

Entretanto, mesmo com as vantagens de utilização do lodo de curtume compostado, é necessário o conhecimento sobre sua composição e os efeitos sobre atributos do solo e produtividade das plantas, bem como o acúmulo de Cr no sistema solo-planta.

No lodo de curtume, o Cr é originado das atividades de processamento do couro. Neste sentido, a aplicação de lodo de curtume compostado pode aumentar a concentração de Cr no solo. O Cr pode exercer efeitos negativos sobre o crescimento das plantas e nos processos bioquímicos que ocorrem no solo. (TSUTIYA, et al., 2002).

O elemento pode apresentar diferentes estados de oxidação que está relacionado com sua capacidade de toxidez ou não às plantas. O Cr<sup>+6</sup> apresenta alta solubilidade e toxidez às plantas, onde em sua forma trivalente (Cr<sup>3+</sup>) apresenta solubilidade em solos com pH abaixo de 5,0 e baixa mobilidade nas plantas (MARTINS, 2005). A absorção e translocação do Cr na planta são baixas e geralmente há acúmulo do elemento nas raízes em detrimento da parte aérea.

De forma geral, plantas submetidas à toxidez por cromo, apresentam redução na produção de biomassa tanto da parte aérea quanto de raízes. No caso da toxidez por Cr<sup>+3</sup>, inicialmente a folha apresenta ondulações na superfície. A coloração esverdeada do limbo passa a ser de maior intensidade, havendo o surgimento de pontos de amarelecimento (MARQUES, et al, 2002).

Posteriormente, há aumento da área amarelecida, com caminhamento do sintoma da ponta para a bainha da folha. Há o surgimento de ondulações por todo o limbo foliar e o amarelecimento que se inicia pelos espaços internervurais, ocupando a superfície da folha. Para toxidez causada por Cr<sup>+6</sup>, os sintomas atingem o limbo foliar por completo, levando a folha à senescência (MARQUES, et al, 2002).

FERREIRA et al (2003), avaliando efeitos dos resíduos de lodo de curtume sobre solo em plantas cultivadas, observaram que houve aumento de pH, teor de cálcio trocável e um considerável aumento de cromo no solo.

Resultados semelhantes foram obtidos por ARAÚJO, et al (2008), quando avaliando o desenvolvimento da cultura do milho e a fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume, observou ganhos de matéria seca significativamente maiores que os da testemunha e adubação mineral, sendo justificado pela liberação imediata do nitrogênio e às plantas e consequente transformação em forma e teores suficientes para seu desenvolvimento normal. CASTILHOS et al (2001) avaliaram efeitos de doses crescentes de  $\text{Cr}^{+6}$  em culturas de soja, verificando a diminuição na fixação biológica de nitrogênio e na absorção de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Vale ainda ressaltar que, a presença da matéria orgânica influencia no comportamento deste metal ao solo, como afirmam HAN et al (2004) após investigarem a distribuição, transformação e biodisponibilidade de cromo trivalente e hexavalente em solos contaminados, obtendo em seus resultados a importante função da matéria orgânica na ligação do Cr adicionado, independentemente do estado de oxidação do metal.

Contudo, a utilização de lodo de curtume, principalmente, após processo de compostagem para redução de suas cargas químicas e biológicas contaminantes dos agroecossistemas, pode ser um mecanismo favorável de descarte do resíduo no âmbito de mitigação de impacto, como também, um condicionante de solo contribuindo para deposição de cargas orgânicas, quando controlado seu nível de aplicação ao solo.

## **2 A Fixação biológica do nitrogênio**

O elemento mais importante para alcance de elevadas produções na agricultura tropical é o nitrogênio (N), que forma 80% da atmosfera em sua forma gasosa ( $\text{N}_2$ ), porém, indisponíveis aos vegetais. Para isto, é necessário que exista uma relação simbiótica entre sistema radicular vegetal e

microrganismos do solo, mas precisamente, bactérias diazotróficas ou fixadoras de nitrogênio gasoso, capazes de transformá-lo em forma assimilável. A fixação biológica de nitrogênio é o processo pelo qual a maior parte do nitrogênio atmosférico é incorporado à matéria viva. O gás nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) é convertido em amônia ( $NH_3$ ) e torna-se posteriormente disponível para as plantas (SANTOS, 2010).

Este processo constitui a principal via de incorporação de nitrogênio ao ecossistema, que constantemente é reciclado para a atmosfera principalmente pela ação de organismos decompositores de matéria orgânica do solo garantindo reservas inesgotáveis de nitrogênio.

Os principais grupos vegetais conhecidos como componentes da simbiose com estas bactérias fazem parte da família Fabaceae, existindo ainda espécies de outras famílias botânicas, como gramíneas, a exemplo a cana de açúcar, milho, arroz e sorgo, capazes de realizar esta fixação.

A colonização das bactérias é visualmente observada pela presença de nódulos na raiz do vegetal, e que por meio de sua coloração interna avermelhada, dada à presença de leghemoglobina, identifica-se a sua atividade.

A utilização de insumos biológicos em substituição aos insumos químicos industrializados tem sido cada vez mais frequente na agricultura. E a fixação biológica de nitrogênio (FBN) tem se mostrado indispensável para a sustentabilidade da agricultura brasileira, haja vista o fornecimento de nitrogênio às culturas com baixo custo econômico e impacto ambiental reduzido (HUNGRIA et al., 2007).

De acordo com GLIESSMAN (2000), a produção de fertilizantes nitrogenados é responsável pelo uso de cerca de um terço da energia consumida na agricultura moderna, o que implica em maiores custos para os agricultores. Este consumo de energia poderia ser reduzido consideravelmente pelo uso da fixação biológica de nitrogênio (ESPINDOLA et al, 2005).

Os fertilizantes nitrogenados apresentam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado (HUNGRIA, 2008). Um agravante da utilização destes fertilizantes reside na baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50% (HUNGRIA, 2001).

Algumas práticas agrícolas afetam diretamente a fixação biológica de nitrogênio (ESPINDOLA et al, 2001). A atividade dos microrganismos interfere diretamente os atributos químicos e físicos do solo e a meso e macrofauna, contribuindo, ativamente, para sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Dentre os fatores limitantes à atividade microbiana estão a disponibilidade de água, energia e nutrientes, a temperatura, a radiação e a distribuição dos agregados do solo (STOTZKY, 1997; HUNGRIA, 2000).

Segundo SANTOS (2010), alguns fatores são capazes de afetar a FBN, entre eles citamos a temperatura e umidade. As bactérias fixadoras de nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) sobrevivem ampla faixa de temperatura. Em regiões tropicais a faixa ótima para a nodulação e a fixação biológica de N encontra-se entre 25 e 32°C. Os extremos de temperatura são prejudiciais ao processo de nodulação; temperaturas baixas retardam o processo e em temperaturas altas os nódulos formados são ineficientes (FRANCO & NEVES, 1992). Na falta de umidade adequada há uma diminuição na infecção dos pêlos absorventes pelo rizóbio, chegando a inibir completamente a produção de nódulos.

Outros fatores que afetam a FBN são a acidez do solo, a disponibilidade de nutrientes e a adição de resíduos urbanos e industriais no solo.

Os microrganismos realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo, decompondo matéria orgânica, liberando nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradando substâncias tóxicas (DORAN et al., 1996; ARAÚJO E MELO, 2012).

Devido a função de mediar processos no solo, os microrganismos podem ainda ser tidos como sensíveis indicadores de mudanças nos processos de matéria orgânica. A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação de matéria orgânica e, por conseguinte, da atividade e biomassa microbiana do solo (ARAÚJO e MELO, 2012).

Estudos têm revelado o efeito tóxico de metais pesados sobre a população microbiana do solo e seus processos. Tais como mineralização, amonificação, fixação biológica de  $N_2$ , nitrificação, dentre outros, podem ser afetados diretamente pela contaminação com metais ou, indiretamente, pelos efeitos tóxicos sobre as plantas, causando decréscimo na quantidade de substratos liberados na região rizosférica. Os efeitos desses elementos dependerão,

entretanto, das características do solo, da especiação e concentração do metal e do número de metais contaminantes e suas interações (BROOKES, 1995; SANTOS, 2010).

## **REFERENCIAS**

ARAÚJO, A. S. F. de.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo**. EDUFPI. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012, 150 p.

ARAÚJO, F. F. de.; TIRITAN, C. S.; PEREIRA, H. M.; CAETANO JÚNIOR, O. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 12, n.5, p.507-511, 2008.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, p.261-279, 1995.

CARVALHO, P. de C. T. Compostagem. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds). **Biossólidos na Agricultura**, 2 ed. São Paulo: ABES, p 181 – 208, 2002.

CASTILHOS, D. D.; COSTA, C. N.; PASSIANOTO, C. C.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R.; MULLER, V.; **Revista Cienc. Rural**, 31, 969. 2001.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Curtumes: (série P+L)**, São Paulo: CETESB, 2005. 76 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 15 de agosto de 2013.

COSTA, C. N. et al. Efeito da adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Rev. Brasileira de Agrociências**, v 7, p 189 – 191, 2001.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D. L. (Ed.) **Advance in Agronomy**. San Diego: Academic Press, p. 10 54.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.4, v.27, p. 755-763, 2003.

FRADE JÚNIOR, E. F. **Atividade enzimática em lodo de esgoto contaminado com cádmio e uso em solo cultivado com sorgo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2007, 63 p.

FRANCO, A.A.; NEVES, M.C.P. Fatores limitantes a fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Coord.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 257-282.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. 357 p.

GOMES, F. A. A história do couro no Brasil. **Revista Opinião**. Portão – RS: 143. Ed s.n, 2013, 61p.

HAN, F. X.; Su, Y.; SRIDHAR, M. B. B.; MONTS, D. L.; **Plant soil**, 265, 243, 2004.

HUNGRIA, M. Características biológicas em solos manejados sob plantio direto. In: REUNIÓN DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5., Florianópolis, 1999. Anais. Florianópolis, EPAGRI, 2000. CD-ROOM.

HUNGRIA, M. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Circular Técnica/EMBRAPA SOJA, n 35, 2008, 48 p.

HUNGRIA, M.; CHUEIRE, L.M.O.; COCA, R.G. & MEGÍAS, M. Preliminary haracterization of fast growing strains isolated from soybean nodules in Brazil. **Soil Biologic Biochem**, 33:1349-1361, 2001.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ed. Ceres, 1985, 492p.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de.; MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM

SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds). **Biossólidos na Agricultura**, 2 ed. São Paulo: ABES, p. 365 – 403, 2002.

MARTINES, A. M. **Avaliação ambiental e agronômica do uso de lodo de curtume no solo**. Cola Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo, 2009, 84p.

MARTINS, A. M. **Impactos do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2005, 74 p.

MARTINS, A. M., et al. Mineralização do carbono. In: ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v 41, n 07, p 1149 – 1155, 2006.

PEIXOTO, R. T. dos G. Compostagem: princípios, práticas e perspectivas em sistemas orgânicos de produção. In: AQUINO, A. M. de.; ASSIS, R. L. (Eds). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília – DF, EMBRAPA, p 387 – 419, 2005.

SANTOS, J. A. Compostagem do lodo de curtume e seu uso agrícola: efeito sobre indicadores biológicos de qualidade do solo. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2010, 77p.

SANTOS, A. dos., et al. Distribuição e biodisponibilidade de cromo em solos contaminados por resíduos de couro. **Revista Química Nova**, Vol. 32, No. 7, 1693-1697, 2009.

SELBACH, P. A.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, L. E. Descarte e biodegradação de lodo de curtume no solo. **Revista Couro**, v 4, p 51 – 62, 1991.

SPINDOLA, M., et al. Uso de leguminosas Herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A. M. e ASSIS, R. L. de. **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF. EMBRAPA, p 437–451, 2005.

STOTZKY, G. Soil as an environment for microbial life. In: van ELSAS, J.D.; TREVORS, J.T. & WELLINGTON, E.M.H., eds. **Modern soil microbiology**. New York, Marcel Dekker, 1997. p.1-20.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds). **Biossólidos na Agricultura**, 2 ed. São Paulo: ABES, p 89 – 131, 2002.

## CAPITULO 1

### **Fixação biológica do nitrogênio em feijão caupi após quatro anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado**

**Resumo:** A composição do lodo de curtume proveniente da adição de substâncias químicas para os processos de curtimento da pele animal o faz rico em matéria orgânica e elementos nutritivos necessários aos vegetais. Porém, há ainda uma carga considerada perigosa composta de metais pesados como cromo, cádmio, chumbo, dentre outros, que podem comprometer, quando em excesso, as atividades biológicas no solo, como por exemplo, a fixação simbiótica, nodulação e atividade do nódulo, ocasionando colapsos no metabolismo destes, comprometendo inclusive o desenvolvimento de culturas agrícolas e sua produtividade. Objetivou-se avaliar os possíveis incrementos de fertilidade gerados pelo composto de lodo de curtume após sua aplicação ao solo nas doses 2,5, 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, em comparação a testemunha e aplicação de adubação mineral de NPK. Além disto, avaliou-se a capacidade de fixação de nitrogênio, nodulação e acúmulo de N na parte aérea, correlacionando à presença de metais pesados no solo em cultivo de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP). Incrementos foram observados na fertilidade do solo, sendo expressivo o aumento de pH, matéria orgânica, condutividade elétrica e teor de cromo, proporcionalmente ao aumento das doses. Houve diferença significativa pelo teste F ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos sobre as seguintes variáveis: Número de nódulos (NN), Massa do nódulo seco (MNS), massa da parte aérea seca (MPAS), relação entre MPAS/MRS, nitrogênio acumulado na folha (NAC) e Eficiência de fixação biológica de nitrogênio (EFBN), indicando efeito residual das doses de LCC.

**Palavras-chave:** Composto, simbiose, reciclagem

## 1 INTRODUÇÃO

A reutilização de resíduos industriais no solo pode oferecer vantagens na redução do passivo ambiental e substituição parcial de fertilizantes químicos para as plantas. O lodo de curtume apresenta características que são favoráveis para utilização agrícola, tais como potencial de neutralização da acidez (KONRAD & CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003) e melhoria na fertilidade do solo (COSTA et al., 2004). Por outro lado, o resíduo pode aumentar a salinidade (ARAÚJO et al., 2013) e os teores de Cr no solo (GONÇALVES et al., 2013).

Uma forma de tratamento que pode minimizar os efeitos adversos do uso direto do lodo de curtume é a compostagem (GONÇALVES et al., 2013). A compostagem consiste em uma técnica de processamento de resíduos orgânico para transforma-los em composto ou húmus a serem utilizados nas práticas agrícolas como adubos. O composto orgânico pode fornecer nutrientes para as plantas, principalmente o N, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (RIBEIRO & MELLO, 2008).

O uso permanente de lodo de curtume compostado pode, por um lado, melhorar a fertilidade e, por outro lado, alcalinizar e salinizar o solo. Além disso, a aplicação do composto pode aumentar os teores de Cr no solo (ARAÚJO et al., 2013). Em consequência, os microrganismos e os processo bioquímicos pode ser afetados, tais como a nodulação e a fixação biológica do N (FBN) (SINGH & AGRAWAL, 2009, 2010). A FBN é um processo importante para o aumento da produtividade agrícola, além de ser considerado indicador de impactos ambientais (Araújo et al., 2010). BROOKES (1995) e WETZEL & WERNER (1995) reportaram que a nodulação e a fixação biológica do N pode ser utilizado como indicadores de distúrbios no solo decorrentes da aplicação de compostos potencialmente poluentes. Estudos recentes avaliaram o efeito de lodo de curtume sobre a nodulação e fixação de N (TEXEIRA et al., 2006; SANTOS et al, 2012). Entretanto estes estudos foram realizados sob condições controladas em casa de vegetação. Não há estudos sobre o efeito de lodo de curtume compostado sobre a nodulação e fixação de N após aplicações sucessivas em campo.

A hipótese do estudo é que aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado altera os atributos do solo, principalmente o pH, a condutividade elétrica (ARAUJO et al., 2013) e os teores de Cr (SANTOS et al., 2014), conseqüentemente pode afetar a nodulação e a FBN. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar a nodulação e a FBN em feijão-caupi cultivado em solo com aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado por quatro anos.

## **1. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e condições climáticas da região do estudo**

O experimento foi conduzido, no quarto ano, em campo experimental do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina-PI, (05°02' latitude S e 42°47' de longitude W, altitude 52 m), no período de março a junho de 2011. O clima da região, conforme o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), é C1sA', caracterizado como subúmido seco, megatérmico e com excedente hídrico moderado no verão. As médias anuais de umidade relativa e precipitação são de 72,6% e 1.336 mm, respectivamente, com a maioria das precipitações concentradas nos meses de janeiro a abril (BASTOS & ANDRADE JÚNIOR, 2008).

### **2.2 Características do composto lodo de curtume**

O lodo de curtume utilizado foi obtido do curtume Europa, localizado no município de Teresina, Piauí. A formação da pilha de compostagem foi constituída de lodo de curtume misturado com bagaço de cana e esterço bovino na proporção de 1:1:3 (v:v:v). O bagaço de cana e o esterco bovino foram obtidos na Usina Comvap, no município de União, Piauí e no Departamento de Zootecnia da UFPI, respectivamente.

O processo de compostagem foi conduzido durante 85 dias, utilizando-se o método de pilhas revolvidas (USDA, 1980). Ao final do processo foram retiradas amostras em três pontos da pilha para avaliação de pH, umidade, matéria orgânica e conteúdo de nutrientes. As características do LCC foram determinadas pelo método USEPA (United State of Environmental Protection

Agency) 3051 (USEPA, 1986) e realizadas no Departamento de Tecnologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, SP. Estes procedimentos foram adotados durante os quatro anos, com os resultados apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Valores máximos de concentração permitidos (CMP) pela Legislação para uso agrícola e características químicas do Lodo de curtume compostado (LCC) utilizado ao longo dos cinco anos de experimento.

Parâmetro	LCC				CMP <sup>(1)</sup>
	2009	2010	2011	2012	
pH	7,8	7,2	7,5	7,5	-
Umidade (%)	42,7	49,0	45,8	45,8	-
C org (g Kg <sup>-1</sup> )	187,5	195,3	201,2	194,7	-
N (g Kg <sup>-1</sup> )	1,28	1,39	1,51	1,39	-
P (g Kg <sup>-1</sup> )	4,02	3,83	4,91	4,25	-
K (g Kg <sup>-1</sup> )	3,25	3,51	2,90	3,22	-
Ca (g Kg <sup>-1</sup> )	95,33	84,28	121,18	100,26	-
Mg (g Kg <sup>-1</sup> )	6,80	5,71	7,21	6,57	-
S (g Kg <sup>-1</sup> )	9,39	8,43	10,20	9,34	-
Cu (mg Kg <sup>-1</sup> )	17,80	19,51	16,38	17,90	1.500
Zn (mg Kg <sup>-1</sup> )	141,67	128,31	127,81	132,60	2.800
Mo (mg Kg <sup>-1</sup> )	9,28	14,87	8,71	10,95	-
Ni (mg Kg <sup>-1</sup> )	21,92	28,61	23,26	24,60	420
Cd (mg Kg <sup>-1</sup> )	2,87	3,93	1,93	2,91	39
Cr (mg Kg <sup>-1</sup> )	2.255	2.581	1.943	2.260	1.000
Pb (mg Kg <sup>-1</sup> )	42,67	38,54	40,31	40,50	300

<sup>(1)</sup> e <sup>(2)</sup> GONÇALVES, (2001). <sup>(3)</sup> GUIMARÃES (2013). <sup>(4)</sup> OLIVEIRA e ARAÚJO (2013). <sup>(5)</sup>

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2006), CMP: Concentração Máxima Permitida.

### 2.3 Características do solo

O solo da área do estudo é classificado como Neossolo flúvico (EMBRAPA, 2006) e de textura franco arenoso. Na caracterização química do solo, no quarto ano, foram utilizadas amostras de solo coletadas na profundidade de 0-0,20 m, nas parcelas representativas de cada tratamento aos 60 dias após a aplicação do lodo de curtume compostado. As amostras foram secas ao ar, peneiradas (malha 2 mm), homogeneizadas e então obtidas amostras de terra fina seca ao ar (TFSA).

O pH foi determinado conforme método proposto por Mclean (1982), em uma mistura de solo água na proporção de 1:2,5. A matéria orgânica do solo (MOS) determinada conforme metodologia descrita em Embrapa (2005). A condutividade elétrica do solo foi determinada em água (1:2 v:v) de acordo com Richards (1954). O teor de Cr foi determinado pelo método USEPA-3050, descrito em USEPA (1986), extraível pelo método DTPA-TEA (LINDAY & NORVELL, 1978) e realizadas no Departamento de Tecnologia da FCAV da UNESP, Jaboticabal, SP.

#### **2.4 Tratamentos e condução experimental**

A área experimental vem sendo manejada há quatro anos com aplicação de LCC e cultivada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivar BR 17-Gurguéia em parcelas com delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados nos quarto anos foram: 0 (controle), 2,5, 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC. Desta forma, as taxas acumuladas de LCC, após cinco anos são: 0, 12,5, 25, 50 e 100 Mg ha<sup>-1</sup> LCC.

No quarto ano, o LCC foi distribuído uniformemente nas parcelas com dimensões de 2 x 5 m e em seguida incorporado ao solo com enxada a uma profundidade média de 0,20 m. Após 10 dias foi semeado manualmente feijão-caupi no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Após 15 dias da semeadura foi realizado o desbaste deixando cinco plantas por metro linear, obtendo um stand de 100 plantas e com a área útil da parcela representada pelas duas fileiras centrais, sendo descartadas as plantas contidas no espaço de 0,5 m no início e final das linhas úteis.

Durante o desenvolvimento do feijão-caupi foram realizadas sempre que necessário, capinas manuais, deixando as parcelas livres de plantas invasoras e aplicações de produtos fitossanitários, visando o controle de lagarta, pulgão e da vaquinha.

## **2.5 Amostragem e avaliação da nodulação e fixação biológica do nitrogênio**

Nas parcelas representativas foram realizadas amostragens de plantas aos 30 dias após a emergência. Em cada parcela foram coletadas quatro plantas na área útil. Nestas coletas foram avaliados o número e a massa dos nódulos, a massa seca da parte aérea e raiz e o conteúdo de N na parte aérea. Os nódulos foram destacados, contados e colocados para secar em estufa a 65 °C por 72 horas, sendo em seguida determinada sua massa. Para determinação da produção de matéria seca, o material vegetal foi colocado em estufa com circulação forçada de ar à 65 °C até atingir massa constante. O N total foi determinado pelo método semi-microkjeldahl (Silva, 1981) e utilizado para se calcular o N acumulado na parte aérea (NAC), dividindo-se o percentual de N na folha pela massa seca da parte aérea.

## **2.6 Análise estatística**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os resultados foram submetidos a ANOVA (teste F) e a comparação de médias pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ). Os cálculos foram efetuados através do aplicativo estatístico “SAS” – System for Windows 95.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação de LCC elevou os valores de pH, CE, matéria orgânica e Cr no solo (Tabela 2) indicando um efeito direto da composição do resíduo (Tabela 1). O LCC apresenta carbonatos e hidróxidos (SELBACH et al., 1991), que aumenta o pH do resíduo e, em consequência, contribui para o efeito corretivo do solo (FERREIRA et al., 2003; TEIXEIRA et al., 2006). Da mesma forma, o

alto conteúdo de sódio no LCC contribui para a elevação da condutividade elétrica do solo (ARAUJO et al., 2013).

**Tabela 2.** Valores de pH, Cromo e condutividade elétrica e Matéria orgânica do solo (MO) após aplicação de LCC no quinto ano experimental.

<b>TRATAMENTOS (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Cr-solo (Mg Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>CE dS m<sup>-1</sup></b>	<b>MO (g kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>0</b>	6,64 c	6,73 e	0,27 e	17,88 c
<b>2,5</b>	7,04 c	12,7 d	0,64 d	19,12 c
<b>5</b>	7,32 bc	26,8 c	0,94 c	23,41 b
<b>10</b>	7,73 ab	30,4 b	1,57 b	25,34 b
<b>20</b>	7,94 a	36,9 a	1,77 a	28,18 a

Valores seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente à nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação ao aumento nos teores de MOS, isto pode ser atribuído ao alto conteúdo de matéria orgânica presente no LCC (Tabela 1). Este aumento nos teores de MOS é importante uma vez que a matéria orgânica promove o condicionamento do solo e aumenta a disponibilidade de nutrientes (ARAUJO et al., 2013). Resultados semelhantes da elevação dos teores de MOS pelo uso de resíduos foram observados com lodo de esgoto (OLIVEIRA et al., 2002), de resina (TRANNIN et al., 2008) e lixo compostado (MANTOVANI et al., 2005).

O Cr foi encontrado em valores elevados no LCC e isto contribui para o aumento dos teores no solo. Entretanto, o Cr pode está em forma insolúvel ou com baixa disponibilidade devido aos valores do pH do solo encontrarem-se acima de 7,0 (AQUINO NETO and CAMARGO, 2000).

A aplicação do LCC promoveu efeitos significativos sobre o crescimento, nodulação e FBN do feijão-caupi (Tabela 3). A massa da parte aérea aumentou com a aplicação do LCC, enquanto que as raízes não apresentaram mudanças. Desta forma, a relação da parte aérea e raízes (PA/R) foram maiores com a aplicação do LCC. Por um lado, os resultados indicam que o resíduo incrementou o crescimento do feijão-caupi, provavelmente pela

disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, não houve efeito inibitório no crescimento radicular, mesmo com a elevação da CE e dos teores de Cr no solo.

**Tabela 3.** Efeitos da aplicação de LCC, por quatro anos, sobre o crescimento, nodulação e FBN do feijão-caupi.

<b>LCC</b> <b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>MPAS</b>	<b>MRS</b>	<b>MNS</b>	<b>PA/R</b>	<b>NN</b>	<b>NAC</b>	<b>EFB</b>
<b>0</b>	2,30 b	0,29 a	17,3 c	7,9 b	7,9 c	71,8 c	100,0 b
<b>2,5</b>	2,9 ab	0,30 a	32,0 b	9,8 a	13,4 ab	79,3 c	127,9 ab
<b>5</b>	3,5 ab	0,36 a	28,3 b	9,8 a	11,6 b	97,9 bc	154,7 ab
<b>10</b>	5,0 a	0,50 a	35,6 a	10,0 a	17,1 a	158,9 a	220,2 a
<b>20</b>	3,8 ab	0,37 a	29,7 b	10,4 a	17,5 a	140,2 ab	166,9 ab

MPAS: Matéria da parte aérea seca; MRS: Massa da raiz seca; MNS: Massa do nódulo seco; PA/R: Relação parte aérea raiz; NN: Numero de nódulos; NAC: Nitrogenio acumulado; EFB: Eficiência biológica. Valores seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente à nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

O número e a massa dos nódulos são indicadores de nodulação (FERREIRA & CASTRO, 1995). Desta forma, a nodulação aumentou com a aplicação do LCC e isto sugere que não houve efeito deletério do LCC sobre o rizóbio nativo. Embora o LCC tenha elevado a alcalinidade e a salinidade do solo, não houve efeito negativo sobre a nodulação. Segundo BALASUMBRAMANIAM & SINHA (1976) o valor de CE prejudicial à nodulação é acima de 2,0 dS m<sup>-1</sup> e, neste caso, o valores encontrados neste trabalho foram inferiores a este limite. Estes resultados discordam com os observados por TEIXEIRA et al., (2006) que avaliaram aplicação de lodo de curtume, em casa de vegetação, e observaram um decréscimo na nodulação do feijão-caupi quando a CE ultrapassou 1,0 dS m<sup>-1</sup>. Neste estudo, após quatro anos de aplicações de LCC, provavelmente o rizóbio nativo apresenta maior tolerância à salinidade e, desta forma, a capacidade de nodulação não foi afetada. Entretanto, estudos anteriores avaliando lodo de e não encontraram efeitos negativos sobre a nodulação (VIEIRA, 2001; VIEIRA et al., 2004).

Os teores de nitrogênio acumulado pelas plantas foram maiores com a aplicação do LCC e isto indica que o resíduo contribuiu para a nutrição nitrogenada do feijão-caupi. Este resultado indica que a elevação na matéria orgânica do solo, principal fonte de N, pode ter contribuído para a maior disponibilidade do elemento às plantas. Além disso, a eficiência da FBN foi superior com a aplicação de LCC e isto promoveu efeito aditivo no acúmulo de N pelas plantas.

#### **4 CONCLUSÃO**

A aplicação, por quatro anos consecutivos, de LCC eleva o pH, a condutividade elétrica e os teores de matéria orgânica e Cr do solo.

O LCC apresentou efeito positivo sobre a nodulação e a fixação de nitrogênio do feijão-caupi após quatro anos de aplicações consecutivas.

#### **REFERENCIAS**

AQUINO NETO, V. e CAMARGO, O. A. Acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com  $\text{CrCl}_3$  e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 24: 225 – 235, 2000.

ARAÚJO, A. S. F.; SILVA, M. D. M.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, F. F. e DIAS, N. S. Soil pH, electric conductivity and organic matter after three of consecutive amendment of composted tannery sludge. **African Journal of Agricultural Research**, v 8 (14), p. 1204-1208, 2013.

BALASUMBRAMANIAN, V.; SINHA, S. K. Effects of salt stress on growth, nodulation and nitrogen fixation in cowpea and mungbean. **Plant Physiology**, Berlin, v 36: 179 – 200, 1976.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano 2008 para o município de Teresina, PI**. EMBRAPA Meio Norte (Documentos – 181), Teresina, 2008, 37 p.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Define critérios e procedimentos para uso e lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. Resolução nº 375 Diário Oficial da União: DF, No 167, p 141-146. 2006.

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. e SELBACH, P. A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: **Fundamentos de química do solo**. Ed 2, Porto Alegre, Gênese, 2004, 207 – 237 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Embrapa, 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CNPS/EMABRAPA, 2005. 412p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.4, v.27, p. 755-763, 2003.

FERREIRA, E. M.; CASTRO, I. V. Nodulations and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) in soils previously treated with sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, v 27:117 – 1183, 1995.

GONÇALVES, I. C. R. Atributos químicos e biológicos do solo e produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) após dois anos de aplicação de lodo de curtume compostado. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011, 66p.

GONÇALVES, I.C.R.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J. Soil microbial biomass after two years of consecutive applications. **Acta Sci. Agron.** (In press), 2013.

GUIMARÃES, W. P. **Efeito residual da aplicação por três anos consecutivos de lodo compostado sobre a produtividade de milho verde.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí – UFPI. Teresina, 48p, 2013.

KONRAD, E. F e CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do solo.** V 26: 257 – 265, 2002.

LINDAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. **Soil Science Society of American Journal.** Madison, v 42, p 421 – 428, 1978.

MANTOVANI, J. R. et al. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Rev. Brasileira de Ciência do solo,** 29: 817 – 824, 2005.

McLEAN, E. O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties.** Ed 2. Madison: ASA, Pt 2, p 199 – 223, 1982.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. F. Organic carbon, electric conductivity, pH and CEC changes in a typic hapludox after repeated sludge amendment. **Braz. J. Revist Soil Scienc.,** 26: 505 – 519, 2002.

OLIVEIRA, M. L. J.; ARAÚJO, A. S. **Teores de Cr em plantas de feijão-caupi após 4 anos de aplicações consecutivas de composto de lodo de curtume.** III Congresso Nacional de feijão-caupi. Recife – PE, 2013, 5 p.

RIBEIRO, E. M. P.; MELO, P. B. **A utilização do adubo de resíduo de apara de couro com fonte e nitrogênio no solo agrícola com ganhos energéticos e ambientais.** In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008, 15 p.

RICHARD, L. A. **Diagnosis improvements of saline and alkaline soils.** Washington, Department of Agriculture, 1954, 160 p.

SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAUJO, A. S. F. Tannery sludg compost amendment rates on soil microbial biomass in two different soils. **Eur. J. Soil Biologic.** 47: 146-151, 2012.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos, métodos químicos e biológicos.** Viçosa – Mg: UFV, 1981, 166p.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, v 28, p. 347 – 358, 2008.

TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência Agrotecnologica.**, v 30, n 6, p 1071 – 1076, 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in 32 **Climatology.** New Jersey: Drexel Institute of Tecnology, 1955, 104 p.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira Eng. Agri. Amb.**, 12: 223 – 230, 2008.

USDA. United States Departamento f Agriculture. **Manual for Composting of Swage Sluge by the Beltsville Aerated – pile Methord.** USDA – EPA, 1980, 65 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Test method for evaluating soil wast.** Washington, 1986, 152 p.

VIEIRA, R. F. Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. **Biogic. Fert. Soils**, 34: 196 – 200, 2001.

VIEIRA, R. F. TSAI, S. M.; TEIXEIRA, M. A. **Efeito do lodo de esgoto no crescimento e fixação simbiótica de N<sub>2</sub> em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2004, 18 p.

WETZEL, A.; WERNER, D. Ecotoxicological evaluation of contaminated soil using the legume root nodule symbiosis as effect paramenters. **Environment Toxicologic Water Qual.**, 10, 127 – 133, 1995.

## CAPITULO 2

### **Teores de cromo e produtividade de feijão caupi após quatro anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado**

**Resumo:** A utilização de resíduos industriais compostados como condicionantes e fertilizantes de solo, tem sido uma alternativa viável a muitos produtores agrícolas, principalmente, quando entendida como viés de mitigação de impactos ambientais gerados por descartes irregulares e redução de custos com fertilização mineral. O grande entrave está sua capacidade de transferir aos sistemas agrícolas teores de metais pesados considerados fitotóxicos às culturas, comprometendo suas produtividades. Objetivou-se determinar após quatro anos de deposição de lodo de curtume compostado em solo cultivado com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), a possível influência dos metais no índice de produtividade e acúmulo de cromo no solo, nas folhas e grãos da cultura. As análises foram distribuídas temporalmente, avaliando-se as respostas compiladas dos quatro anos para as mesmas variáveis. Conclui-se que a aplicação de lodo de curtume compostado contribuiu para o aumento da concentração de cromo no solo, nas folhas e grão de feijão-caupi, sendo sua menor absorção pelos grãos, elevando-se a 173, 219 e de 5 a 10%, respectivamente. Os teores de cromo nos grãos encontram-se acima do limite máximo permitido para consumo. As maiores produtividades de feijão-caupi foram obtidas quando sob influencia da dose 10 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo com aumento acima de 29%, sendo esta a dose recomenda para aplicação em ganhos produtivos.

**Palavras-chave:** atividade curtumeira, elemento-traço, efluente.

## 1 INTRODUÇÃO

A reutilização de resíduos industriais no solo pode oferecer vantagens na redução do passivo ambiental e substituição parcial de fertilizantes químicos para as plantas. O lodo de curtume apresenta características que são favoráveis para utilização agrícola, tais como potencial de neutralização da acidez (KONRAD & CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003) e melhoria na fertilidade do solo (COSTA et al., 2004). Por outro lado, o resíduo pode aumentar os teores de Cr no solo e na planta (GONÇALVES et al., 2013).

Uma forma de tratamento que pode minimizar os efeitos adversos do uso direto do lodo de curtume é a compostagem (GONÇALVES et al., 2013). A compostagem consiste em uma técnica de processamento de resíduos orgânico para transforma-los em composto ou húmus a serem utilizados nas práticas agrícolas como adubos. O composto orgânico pode fornecer nutrientes para as plantas, principalmente o N, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (RIBEIRO & MELLO, 2008). O uso permanente de lodo de curtume compostado pode, por um lado, melhorar a fertilidade e, por outro lado, alcalinizar e salinizar o solo. Além disso, a aplicação do composto pode aumentar os teores de Cr no solo e nas plantas (ARAÚJO et al., 2013).

Além disso, a elevação dos teores de Cr no solo pode inibir a produtividade das plantas. RODRIGUES et al. (1993) propuseram valor limite de Cr, em áreas cultivadas, de  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  valor este bem abaixo da concentração máxima sugeridas por órgãos ambientais. MARQUES et al. (2002) afirmam que os efeitos dos elementos traços na morfologia e na fisiologia das plantas não depende somente da concentração e do tipo do metal, mas também da forma de ocorrência do mesmo, das características do solo e, sobretudo das características intrínsecas das plantas envolvidas, Além dos mecanismos de absorção, transporte e acumulação (MACEDO & MORRIL, 2008).

GONÇALVES et al., (2013) avaliaram dois anos de aplicações sucessivas do lodo de curtume compostado e, constatou no primeiro ano que diferentes doses do resíduo não promoveu incrementos no rendimento de grãos em comparação a adubação com NPK e a testemunha. Porém, no segundo ano de aplicação do composto, observou-se um aumento significativo da produtividade nas doses

de 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, GOMES et al. (2007) observaram que a produção de grãos aumentou em função das doses de lodo de esgoto, até a aplicação de 26 t ha<sup>-1</sup>, a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica.

Por outro lado, SOUZA et al. (2005), avaliaram os teores de Cr nos tecidos foliares de plantas de milho e verificaram que esta variável foi influenciada pela adição de doses de lodo de curtume, tendo seus valores crescentes com o aumento das doses do resíduo. GONÇALVES et al., (2013) encontraram aumento no teor de Cr com a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup> no primeiro ano de aplicação do lodo de curtume compostado.

A hipótese do estudo é que aplicações consecutivas de LCC pode elevar a produtividade e os teores de Cr no solo e na planta. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade e os teores de Cr em feijão-caupi após quatro anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área experimental e condições climáticas**

O experimento foi conduzido entre os anos de 2009 a 2012, cujo local de estudo consiste em uma área que recebeu aplicações de lodo de curtume compostado para avaliações de seus efeitos em cultivo agrícola. Esta localizada no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Teresina-PI (05°02' latitude S e 42°47' de longitude W, altitude 52m). Clima é C1sA', conforme o método de ORNTHWAITE & MATHER (1955), com características de subúmido seco, megatermático e como moderado excedente hídrico no período de verão. As média anuais de umidade relativa e precipitação são de 72,6% e 1.336mm, respectivamente, com a maioria das precipitações concentradas nos meses de janeiro a abril (BASTOS & ANDRADE JÚNIOR, 2008).

### **2.2 Característica do solo e análises**

Classificado como Neossolo flúvico (EMBRAPA, 2006) e de textura franco arenoso. O solo foi coletado na fase final do experimento a uma profundidade de 0 – 20 cm com auxílio de trado, elaborando-se amostras compostas de quatro subamostras por parcela, posteriormente seco e etiquetado.

O teor de Cr foi determinado pelo método USEPA-3050, descrito em USEPA (1986), extraível pelo método DTPA-TEA (LINDAY & NORVELL, 1978) e realizadas no Departamento de Tecnologia da FCAV da UNESP, Jaboticabal, SP.

### **2.3 Características do lodo de curtume compostado**

O lodo utilizado para formação do composto foi coletado do Curtume Europa, localizado em Teresina, Piauí, extraído da etapa final de produção. A pilha de compostagem foi constituída por dois materiais considerados orgânicos, o esterco bovino e bagaço de cana de açúcar somados ao lodo na proporção de 3: 1: 1(v: v: v). Sendo o esterco obtido no Departamento de Zootecnia de UFPI e o bagaço de cana de açúcar da Usina Comvap no município de União, Piauí. Utilizando-se o processo de pilhas revolvidas (USDA, 1980), a compostagem destes materiais ocorreu em um período de 85 dias, obtendo-se ao final um material característico de composto orgânico. Após este período, foram extraídas amostras de três pontos distintos na pilha para avaliação do pH, umidade, matéria orgânica e conteúdo de nutrientes. O método USEPA (United State of Environmental Protection Agency) 3051 (USEPA, 1986) foi utilizado pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Jaboticabal, SP no Departamento de Tecnologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) para determinação das características do lodo de curtume compostado.

### **2.4 Delineamento e Condução experimental**

Constitui-se em uma repetição experimental ao longo de quatro anos, sendo manejado por meio de aplicações de doses lodo de curtume com posterior cultivo de feijão-caupi (*V. unguiculata* (L.) Walp), cultivar BR17-Gurguéia em

parcelas com dimensões de 2x5m (10m<sup>2</sup>), utilizando-se o delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições.

A semeadura foi realizada após a incorporação do composto, obtendo-se um stand de 100 plantas por parcela com área útil de parcela representada pelas duas fileiras centrais, descartando-se os indivíduos presentes nas bordaduras.

Nos quatro anos as doses aplicadas por tratamento foram as seguintes: tratamento 1 controle, tratamento 2 com 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC, tratamento 3 com 5 Mg ha<sup>-1</sup>, tratamento 4 com 10 Mg ha<sup>-1</sup>, tratamento 5 com 20 Mg ha<sup>-1</sup>.

## **2.5 Amostragem e determinação dos teores de cromo e produtividade**

No período final de maturação das vagens, foram coletados da parte central de cada parcela (área útil) os frutos produzidos para as determinações de número de vagens por planta e produtividade média dos grãos.

Após a colheita e contagem das vagens, realizou-se a debulha manual, contagem e pesagem dos grãos para determinação da produtividade.

De cada amostra por parcela, foram retirados 100 gramas de grãos para análise dos elementos-traço. Uma amostra de parte aérea aos 45 dias de ciclo foi extraída de cada parcela experimental, sendo composta por quarto indivíduos coletados ao acaso. Este material passou por processo de secagem e moagem sendo sujeitos a semelhantes análises aplicadas aos grãos para determinação de teores de cromo, ambas realizadas no laboratório da FCAV da UNESP em Jaboticabal-SP, conforme o procedimento descrito em USEPA (1986).

Para a análise conjunta dos dados obtidos ao longo de quatro anos de experimento em função das doses de lodo de curtume, comportamento do cromo e produtividades alcançadas, utilizou-se o programa estatístico “SAS” – System for Windows 95.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação de LCC durante quatro anos consecutivos elevou os teores de Cr no solo e na planta (Tabela 1). Os valores de Cr no solo elevaram-se entre 22 a 173% durante quatro anos de aplicações de LCC. Esta elevação nos teores de Cr no solo é devido à alta concentração deste metal no LCC original. Embora houve uma elevação nos teores de Cr no solo, os valores estão abaixo dos limites para solo agrícola ( $75 \text{ mg kg}^{-1}$ ; CONAMA, 2009).

**Tabela 1.** Cromo no solo (CrS), folha (CrF) e grão (CrG) e produtividade no primeiro e após quatro anos de aplicação de lodo de curtume compostado (LCC).

Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Aplicação de LCC		Diferença (%)
	Primeiro ano	Após quatro anos	
<b>CrS (mg k<sup>-1</sup>)</b>			
0	2,9 d	2,7 d	- 7
2,5	3,8 d	5,0 d	+ 31
5	5,13 c	14,05 b	+ 173
10	12,4 b	17,7 c	+ 42
20	27,4 a	33,5 a	+ 22
<b>CrF (mg k<sup>-1</sup>)</b>			
0	0,29 c	0,42 b	+ 44
2,5	0,42 b	0,56 b	+ 33
5	0,49 c	0,78 b	+ 59
10	0,91 b	2,91 a	+ 219
20	1,20 a	3,9 a	+ 253
<b>CrG (mg k<sup>-1</sup>)</b>			
0	0,11 c	0,15 c	+ 36
2,5	0,17 ab	0,16 bc	- 5,9
5	0,18 ab	0,19 ab	+ 5,5
10	0,20 a	0,22 a	+ 10
20	0,20 b	0,21 a	+ 5
<b>Produtividade (t/ha<sup>-1</sup>)</b>			
0	741 d	784 d	+ 5
2,5	1031 c	1185 c	+ 14
5	1454 b	1751 b	+ 20
10	1575 a	2046 a	+ 29
20	1557 a	1648 b	+ 6

Os valores são representados como a média  $\pm$  erro padrão. Os valores seguidos pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) pelo Teste t de Student. Médias são calculadas pela diferença entre os valores de cada parâmetro no início e após três anos de aplicação composto de lodo de curture.

Da mesma forma, houve um aumento significativo nos teores de Cr nas folhas do feijão-caupi (Tabela 2). Neste caso, Os valores de Cr nas folhas elevaram-se entre 33 a 253% durante quatro anos de aplicações de LCC. O Cr normalmente apresenta baixa absorção e translocação nos tecidos vegetais, acumulando-se nas raízes (MARQUES et al., (2002). Provavelmente, a elevação dos teores de Cr no solo tenha contribuído para a mudança no comportamento do elemento.

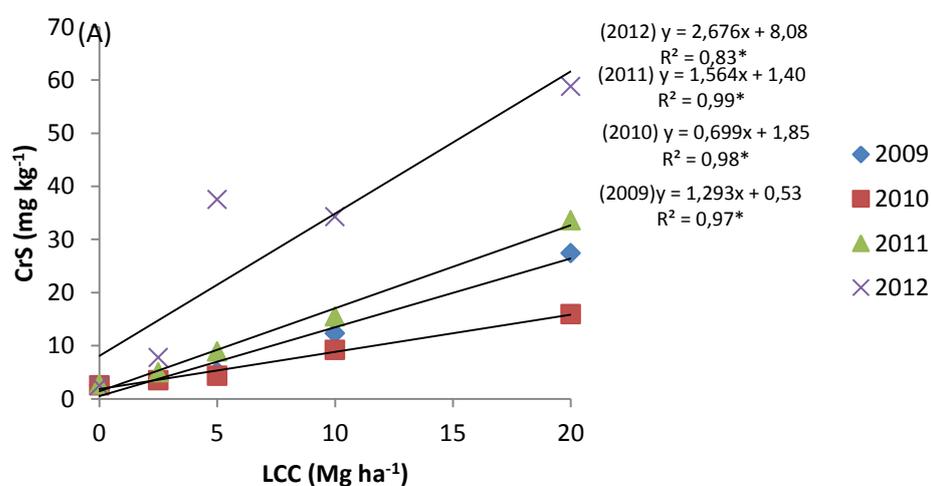
Não houve aumento significativo nos teores de Cr nos grãos e isto pode sugerir que não há exportação de Cr das folhas e estes resultados são concordantes com MERLINO et al. (2010), que observaram, após onze anos de aplicação de lodo de esgoto na cultura do milho, que houve translocação parcial de Cr das folhas para os grãos de milho. Os valores de Cr encontrando nos grãos estão acima do permitido pela Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1965) que é de  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ .

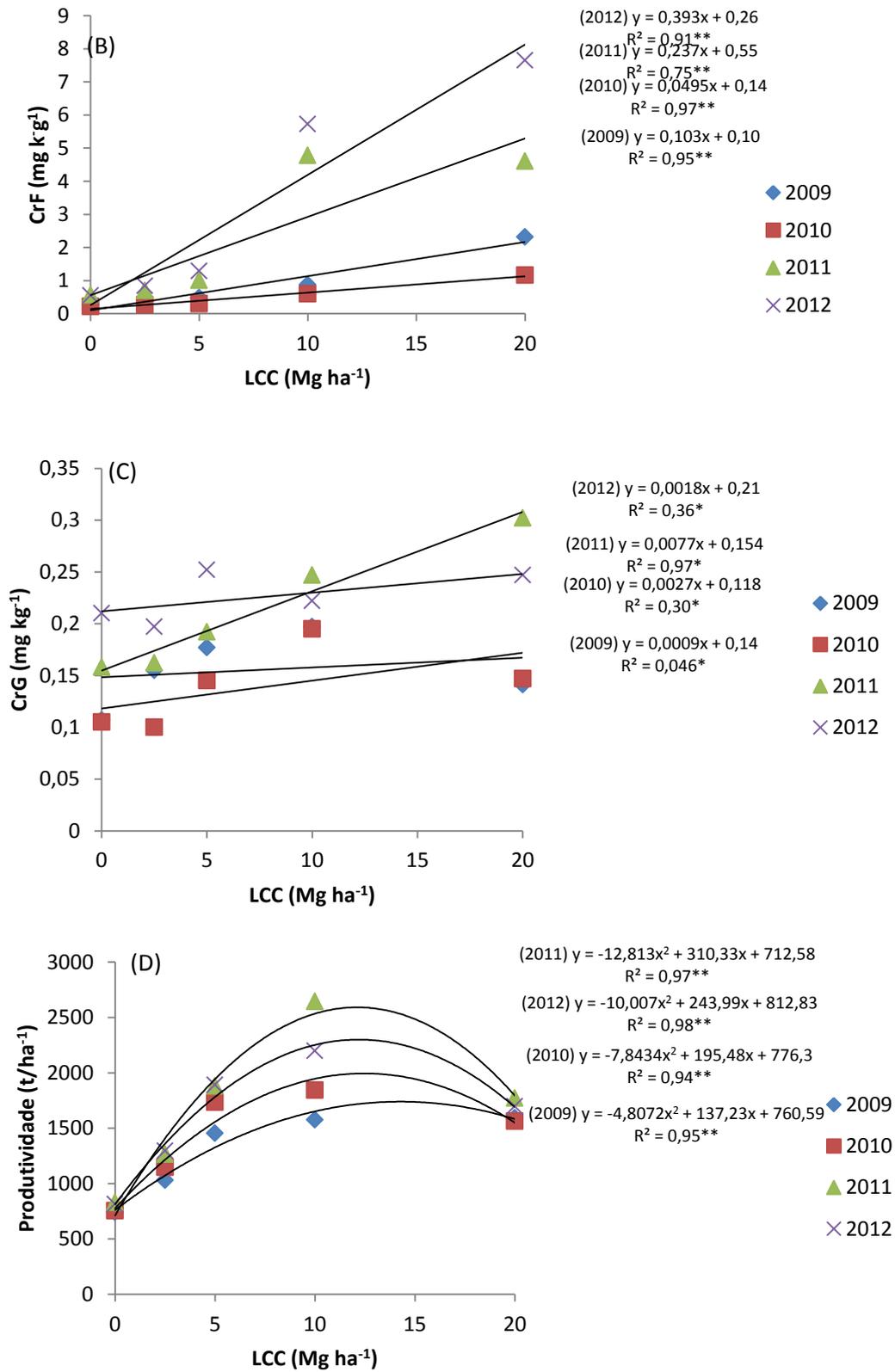
Por outro lado, AWASHTHI (2000) e VARALAKSHMI & GANESHAMURPHY (2010) afirmam que o limite de Cr seguro nos alimentos é de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de massa seca. Entretanto, a Organização Mundial de Saúde, através do CODEX *alimentarius* n°. 193, não limita o teor de Cr nos alimentos, uma vez que este elemento é importante na alimentação humana e não apresenta nenhuma importância para a saúde pública.

A produtividade obtida no primeiro ano foi consideravelmente maior sob influencia das doses  $10$  e  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de LCC, alcançando valores médios em torno de  $1.500 \text{ t/ha}^{-1}$ , superiores inclusive, a média regional, onde rendimentos obtidos com o seu cultivo ainda são extremamente baixos, sendo inferiores a  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  (IBGE, 2002; MOUSINHO, et al., 2008). Após quatro anos de aplicações de lodo, a produtividade refletiu aumentos para todas as doses aplicadas, sendo de forma bem expressiva para  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de LCC, com 29,9% de acréscimos, com produtividade média de  $2.046 \text{ t/ha}^{-1}$  de grãos colhidos.

A composição do resíduo compostado é responsável pelos incrementos de produtividade obtidos, uma vez que isso pode promover o crescimento de plantas suportado pelo seu fornecimento de nutrientes (TEIXEIRA et al., 2006) tornando-se portanto, o uso agrícola do LCC uma alternativa para a reciclagem de resíduos (SILVA et al., 2010).

Durante os quatro anos de utilização de composto sobre a área, houve aumento linear de concentrações de cromo no solo, folha e grão (Figura 1). As equações de regressão para cromo (Figura 1A) no solo em 2009, 2010, 2011 e 2012 apresentaram aumentos constantes de 2,67, 1,56, 0,69 e 1,29 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para as dose de lodo aplicadas. Isto significa que a deposição continua de lodo de curtume ao solo, contribui para acúmulo de metais, especificamente, o cromo aumentando seus tores, pseudototais de cromo no solo foram alterados pelos tratamentos com maiores doses do resíduo (10 e 20 tha<sup>-1</sup>) acarretando em maiores teores deste metal ao solo (MERLINO et al., 2010).





**Figura 1.** Cromo no solo (CrS) (A), folha (CrF) (B) e grão (CrG) (C) e produtividade (D) após quatro anos de aplicação de LCC.

A concentração de cromo nas folhas (Figura 1B) representada pela equação demonstra aumentos de 0,10, 0,04, 0,23 e 0,39 mg kg<sup>-1</sup>, proporcionalmente as crescentes doses para os anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, respectivamente, indicando efeito residual do composto. MARQUES et al (2002), explica que de maneira geral os metais pesados são pouco móveis nas plantas, especialmente o cromo, que normalmente apresenta baixa absorção e translocação nos tecidos vegetais, acumulando-se nas raízes.

Maiores valores de acúmulo de cromo nos grãos ocorreu em 2011 (Figura 1C), alcançando 0,007 mg kg<sup>-1</sup> por Mg ha<sup>-1</sup> de LCC aplicado, seguida de 0,002 e 0,001 mg kg<sup>-1</sup> nos anos de 2010 e 2011. Houve constância nos teores deste metal nos grãos no primeiro ano de experimento, comprovando que a continuidade de deposição de lodo interfere na absorção o acúmulo de metais pela planta.

Vale ressaltar que após quatro anos, maiores registros de teores de cromo nos grãos foram em doses de maior concentração de lodo, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, 0,22 e 0,21 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, chegando a ultrapassar valores de limite máximo permitido deste metal na alimentação humana que é de uma ingestão diária entre 0,03 - 0,1 mg/dia (CONAMA, 2006).

Estudo com as espécies *Vigna radiata* e *Vigna unguiculata* sob estresse por cádmio e cromo, constataram maior acúmulo desses elementos nas raízes TSUKAMOTO et al (2006), maiores acúmulos de Cd e Cr nas raízes de plantas de *V. radiata* e *V. unguiculata* (CHANDRA et al., 2010) o que pode estar relacionado à presença de ácidos orgânicos nos exsudatos das raízes, sendo que possivelmente os referidos metais se ligam a estes ácidos limitando sua translocação para a parte aérea (SOUSA et al, 2011), desta forma reduzindo sua absorção e acúmulo em órgão como folhas e grãos.

A produtividade foi representada por equação polinomial quadrática (Figura 1D), sendo superior em volume de produção o ano de 2011 com aumentos de 12,8 t/ha<sup>-1</sup> à dose 10 Mg ha<sup>-1</sup> aplicada, seguida por 10,0, 7,84 e 4,8 t/ha<sup>-1</sup>, para a mesma aplicação. Doses acima desta, não promoveram incrementos de produtividade, sendo então não recomendadas para estas condições experimentais.

## 4 CONCLUSÕES

A aplicação de lodo de curtume compostado após quatro anos contribuiu para o aumento da concentração de cromo no solo, folhas e grãos na cultura do feijão-caupi, elevando-se a 173, 219 e de 5 a 10%, respectivamente.

De maneira geral, as maiores produtividades de feijão-caupi foram obtidas sob a influencia da dose 10 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo, apresentando aumentos que superam 29%.

Os teores de cromo nos grãos encontram-se acima do limite máximo permitido para consumo.

## REFERENCIAS

ARAÚJO, A. S. F.; SILVA, M. D. M.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, F. F. e DIAS, N. S. Soil pH, electric conductivity and organic matter after three of consecutive amendment of composted tannery sludge. **African Journal of Agricultural Research**, v 8 (14), p. 1204-1208, 2013.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano 2008 para o município de Teresina, PI**. EMBRAPA Meio Norte (Documentos – 181), Teresina, 2008, 37 p.

CHANDRA, R. P., et al. Distribution of bio-accumulated Cd and Cr in two Vigna species and the associated histological variations. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v 6, n 1 p 4 -12, 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Define critérios e procedimentos para uso e lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. Resolução nº 375 Diário Oficial da União: DF, N 167, p 141-146. 2006.

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. e SELBACH, P. A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: **Fundamentos de química do solo**. Ed 2, Porto Alegre, Gênese, 2004, 207 – 237 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Embrapa, 2006.

FERREIRA, A. S. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v 27, p 755 – 763, 2003.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. B. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 11, n 5, p 459 – 265, 2007.

GONÇALVES, I.C.R.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J. Soil microbial biomass after two years of consecutive applications. **Acta Science Agronomic** (In press), 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação automática – SIDRA. **Banco de dados agregados: produção agrícola municipal (2002)**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>. Acesso em 26 de março de 2013.

KONRAD, E. E. e CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 26: 257 – 265, 2000.

MACÊDO, L. de S. e MORRIL, W. B. B. Origem e comportamento dos metais fitotóxicos: revisão de literatura. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v 2, n 2. João Pessoa – PB, p 29 – 38, 2008.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de.; MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds). **Biossólidos na Agricultura**, 2 ed. São Paulo: ABES, p. 365 – 403, 2002.

MERLINO, L. C. S. et al. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho em Latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. 34: 2031 – 2039, 2010.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Science Agronomic**. Maringá, v30, n1, p 139 – 145, 2008.

RIBEIRO, E. M. P.; MELO, P. B. **A utilização do adubo de resíduo de aparado de couro com fonte e nitrogênio no solo agrícola com ganhos energéticos e ambientais**. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008, 15 p.

RODRIGUES, A. L. M.; ANGHINONI, M. C. M.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: Congresso da União Internacional dos Químicos e Técnicos da Indústria de Couro, 22, 1993. Porto Alegre. **Resumos**. P 115 – 118, 1993.

SILVA, J. D. C, LEAL, T. T. B.; ARAÚJO, A. S. F.; ARAUJO, R. M.; GOMES, R. L. F.; MELO, W. J. SINGH, R. P. Effect of diferente tannery sludge compost amendment rates on growth, biomass accumulation and yield responses of Capsicum plants. **Waste Manag**. 30:1976-1980, 2010.

SOUZA, E. R. B. et al. Teores de metais tóxicos nas folhas de plantas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35: 117 – 122, 2005.

TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência Agrotecnológica**, v 30, n 6, p 1071 – 1076, 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in 32 **Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Tecnology, 1955, 104 p.

USDA. United States Departamento f Agriculture. **Manual for Composting of Swage Sluge by the Beltsville Aerated – pile Methord**. USDA – EPA, 1980, 65 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Test method for evaluating soil wast**. Washington, 1986, 152 p.

## **APENDICES**



Figura 1. Área experimental após a incorporação do composto nas parcelas



Figura 2. Emergência do feijão-caupi após cinco dias da semeadura



Figura 3. Desenvolvimento e floração da cultura de feijão-caupi



Figura 4. Vagens Colhidas em processo de secagem natural



Figura 5. Grãos após debulha das vagens de feijao