

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI APÓS DOIS ANOS DE
APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**

IÚNA CARMO RIBEIRO GONÇALVES

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

TERESINA - PI - BRASIL

MAIO/2011

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI APÓS DOIS ANOS DE
APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**

IÚNA CARMO RIBEIRO GONÇALVES
Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

TERESINA - PI - BRASIL
MAIO/2011

FICHA CATALOGRÁFICA

G635a

Gonçalves, Iúna Carmo Ribeiro

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. / Iúna Carmo Ribeiro Gonçalves. – 2011.

66 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí Teresina, 2011.

Orientador :Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

1. Resíduo industrial 2. Solo 3. Compostagem 4. Produtividade I. Título

CDD 631. 843

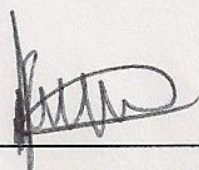
ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) APÓS DOIS ANOS DE
APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO.

IÚNA CARMO RIBEIRO GONÇALVES

Engenheira Agrônômica

Aprovada em 27/05/2014

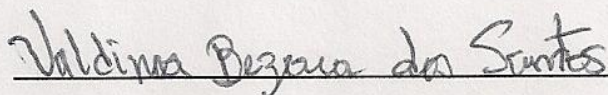
Comissão Julgadora:



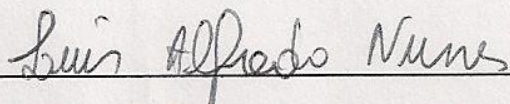
Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo – Presidente
CCA/UFPI



Dra. Francirose Shigaki - Titular
UFMA



Dr. Valdinar Bezerra dos Santos – Titular
UESPI/Parnaíba



Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes – Titular
CCA/UFPI

“Inteligência sozinha não resolve nada. Sucesso é, sobretudo,
trabalho pesado, que somado à sua inteligência, trará
resultados concretos.”

(A Vida é um Combate, Sucesso é Dor – Rogério Caldas)

Aos meus pais (Rafael e Josete) e irmãos (Milena e Bráulio), pelo exemplo de perseverança.

DEDICO

A DEUS, e à minha filha Ingrid por seu amor, carinho, companheirismo, amizade e compreensão nos meus momentos de ausência.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), especificamente ao Centro de Ciências Agrárias, por proporcionar ensino de qualidade através de profissionais competentes, na Graduação e Pós-Graduação;

À FAPEPI (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Piauí), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de Mestrado;

Ao meu Orientador, professor Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo, pela paciência em ter me orientado durante todo o trabalho, pelas oportunidades e pelo exemplo de dedicação profissional;

Aos amigos conquistados: Francisco Ferreira, Sávio Braga, Almerinda, Gerusa Rodrigues, Lusiene Barbosa, Elizângela e Dorotéia.

Aos funcionários Vicente (Programa de Pós-Graduação), Tadeu (Coordenação do Curso de Agronomia), Edilson (DEAS) e Toinha (Laboratório de Fitossanidade), por não medirem esforços para me atenderem sempre que precisei;

Aos alunos de Graduação Luciano Moura, Marcus Willames, Gildean e Frederico, pelo auxílio em muitas atividades impostas pelo trabalho em campo e laboratório.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REVISÃO DE LITERATURA.....	13
1. A compostagem do lodo de curtume.....	13
2. A biomassa microbiana do solo.....	15
3. Atividade microbiana do solo.....	16
4. Efeito do lodo de curtume sobre propriedades químicas do solo.....	18
5. Potencial do lodo de curtume sobre a produtividade das plantas.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
CAPÍTULO I.....	30
BIOMASSA MICROBIANA, ATIVIDADE MICROBIANA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS DOIS ANOS DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO.	
RESUMO.....	30
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1. Biomassa e Atividade microbiana do Solo.....	36
2.2. Atributos Químicos do Solo.....	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.1. Biomassa e Atividade microbiana do Solo.....	37
3.2. Atributos Químicos do Solo.....	42
4. CONCLUSÃO.....	46

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
CAPÍTULO II.....	54
PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI APÓS DOIS ANOS DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO.	
RESUMO.....	54
1. INTRODUÇÃO.....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
3.1. Acúmulo de elementos traços nas folhas e nos grãos do feijão-caupi.....	58
3.2. Produtividade do feijão-caupi.....	61
4. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI APÓS DOIS ANOS DE APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO

Autora: Iúna Carmo Ribeiro Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

RESUMO

A utilização do composto proveniente do lodo de curtume, em áreas agrícolas, pode trazer benefícios para o crescimento das plantas e melhoria da fertilidade do solo, com conseqüente diminuição deste passivo ambiental. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do lodo de curtume compostado (LCC) após dois anos de aplicação, nos atributos químicos e biológicos do solo e na produtividade do feijão-caupi. Os experimentos foram realizados em 2009 e 2010 com a aplicação de LCC nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Dois tratamentos adicionais foram incluídos com testemunha sem aplicação e fertilização mineral com N, P e K. A aplicação de LCC aumentou o conteúdo de C microbiano, inclusive com valores semelhantes aos observados com a aplicação de fertilizantes minerais. A aplicação do LCC não promoveu aumentos significativos na respiração do solo. Entretanto, os valores de qCO_2 foram semelhantes entre o tratamento com aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC, e o da fertilização mineral, no segundo ano. Após dois anos de aplicação do LCC, não houve efeitos significativos sobre a atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína, enquanto que a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC promoveu um decréscimo da atividade da desidrogenase, semelhante aos outros tratamentos. Não houve diferenças significativas entre os valores de pH para os tratamentos após dois anos de aplicação do LCC. Comportamento semelhante aos valores de pH foi observado para os teores de matéria orgânica do solo (MOS), sem diferenças entre os tratamentos, observando-se uma tendência de diminuição dos teores após dois anos de aplicação do LCC. Os teores de P, K, Ca e Mg, não foram diferentes significativamente entre os tratamentos. Houve um aumento nos teores de Cr no solo após dois anos de aplicações sucessivas de LCC na dosagem de 40 Mg ha⁻¹. Os teores de Ni aumentaram após a primeira aplicação do LCC em doses iguais ou

superiores a 10 Mg ha^{-1} , não sendo significativo em relação a testemunha e ao NPK. Após dois anos de aplicações do LCC, houve uma tendência de diminuição nos teores de Ni no solo. Houve diferenças para os valores de Cd com a aplicação de 40 Mg ha^{-1} em relação a testemunha no segundo ano. Os teores de Pb após dois anos de aplicação entre os tratamentos com LCC e a fertilização química, foram semelhantes. A aplicação de 40 Mg ha^{-1} de LCC promoveu aumento nos teores de Cr e Cd no solo. Por outro lado, o LCC não alterou os valores de Ni e Pb quando comparados a adubação química e testemunha. As doses de 20 e 40 Mg ha^{-1} de LCC promoveram um aumento significativo nos teores de Cr nas folhas do feijão-caupi em relação ao controle sem aplicação. Não houve aumentos nos teores de Ni, Cd e Pb, nas folhas, após dois anos de aplicações sucessivas do LCC. O acúmulo de metais nos grãos mostra que, no primeiro ano, não houve aumento nos teores de metais pesados pela aplicação do LCC. O uso do LCC não proporcionou aumentos significativos na produtividade de grãos, em comparação com a testemunha e a fertilização química, no primeiro ano. No segundo ano de aplicação, observou-se um aumento significativo da produtividade de grãos pelo uso do LCC nas doses de 20 e 40 Mg ha^{-1} . Ni, Cd e Pb apresentaram teores estatisticamente iguais entre os tratamentos. Nos grãos, os teores de Cr, Ni e Pb foram significativamente iguais entre os tratamentos no segundo ano; Os teores de Cd foram elevados com a dose de 20 Mg ha^{-1} . Desta forma, a aplicação do LCC não alterou a biomassa microbiana do solo após dois anos de aplicações sucessivas, não alterou os valores dos teores dos elementos que compõem a fertilidade do solo e promoveu um aumento significativo da produtividade do feijão-caupi.

Palavras-chave: resíduo industrial, compostagem, solo, produtividade.

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, devido à crescente atividade urbana e industrial, vemos um problema sendo gerado pelo acúmulo de resíduos derivados destas atividades. Este problema precisa ser estudado pela necessidade de adotar práticas para descartar estes resíduos sem causar um impacto no meio ambiente. Dentre os resíduos gerados pela atividade urbana e industrial, pode-se citar o lodo de esgoto, oriundo das estações de tratamento de esgoto (ETE); o lixo urbano; a vinhaça, oriunda da indústria álcool-açucareira; e o resíduo de curtume, oriundo da indústria curtumeira.

Os resíduos de curtume conhecido como lodo de curtume possuem elevadas cargas orgânicas de origem animal (pêlos, raspas de pele, etc), misturados com sais inorgânicos utilizados no processamento do couro. Além disso, possuem teores de nutrientes como o nitrogênio, cálcio e magnésio, e elevados teores de metais pesados como o cromo trivalente (Cr^{+3}).

O método mais usado para dispor o resíduo de curtume é o acondicionamento em depósitos ou aterros sanitários, porém este método apresenta desvantagens pelo alto risco de contaminação ambiental devido o acúmulo e concentração de materiais tóxicos presentes no lodo, e um custo elevado na operação dos curtumes. A utilização direta do lodo de curtume em solo vem sendo estudada nos últimos anos para fins de melhoria fertilidade do solo e conseqüentemente nutrir as plantas. Alguns estudos mostram que o lodo de curtume apresenta capacidade de aumentar o crescimento vegetal e melhorar a fertilidade do solo. Por outro lado, a aplicação do lodo de curtume tem ocasionado aumento na salinidade, no pH e no conteúdo de Cr do solo.

Em virtude do exposto, a compostagem vem sendo proposta como um processo alternativo de tratamento e reutilização resíduos urbanos e industriais para posteriormente serem utilizados para fins agrícolas. Durante a compostagem o resíduo é decomposto e seus nutrientes são convertidos pelos microrganismos, em formas disponíveis às plantas. Nesta decomposição do processo, há a diminuição e/ou eliminação da toxicidade do lodo, sendo um processo dependente de uma monitoração da temperatura e umidade. A monitoração da temperatura e umidade

serve como um indicativo que o composto está pronto ou maturado, podendo assim ser descartado no solo.

A utilização do composto do lodo de curtume pode trazer benefícios para o crescimento das plantas e melhoria da fertilidade do solo, com conseqüente diminuição do impacto que o mesmo pode causar como a contaminação do solo, do vegetal e lençóis freáticos. Desta forma, tornam-se necessários alguns estudos sobre os impactos da aplicação sucessiva do composto de lodo de curtume no solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do lodo de curtume compostado após dois anos de aplicação, nos atributos químicos e biológicos do solo e na produtividade do feijão-caupi.

REVISÃO DE LITERATURA

1. A compostagem do lodo de curtume

A crescente urbanização e industrialização tem resultado em um aumento no volume de resíduos oriundos das atividades antrópicas e do processamento industrial. Geralmente, esses resíduos são liberados no meio ambiente e estima-se que o volume gerado, pela atividade industrial, seja da ordem de 7,6 bilhões de toneladas anualmente apenas nos Estados Unidos (EPA, 2007).

A indústria curtumeira gera grandes quantidades de resíduos sólidos comumente conhecidos por lodo de curtume. No Brasil, as estimativas anuais indicam a geração de aproximadamente 1 milhão de toneladas de lodo de curtume que são liberados no meio ambiente (PACHECO, 2009) . O principal método de disposição do lodo de curtume é em aterros sanitários, sendo necessárias grandes áreas e alto custo para implantação e manutenção (SILVA et al. 2010). Entretanto, a grande quantidade de lodo gerado pode criar problemas sociais, econômicos e ambientais.

Neste sentido, torna-se importante encontrar uma alternativa para utilização racional sem riscos ao ambiente e ao homem. A utilização direta do lodo de curtume, em solo agrícola, pode promover a melhoria na fertilidade do solo (CASTILHOS et al. 2002; KONRAD & CASTILHOS, 2002), o aumento na nutrição e crescimento das plantas (TEIXEIRA et al. 2006; ARAÚJO et al. 2006), devido ao alto conteúdo de matéria orgânica presente no resíduo.

Borges (2003), avaliando o desenvolvimento do milho pela aplicação de lodo de curtume, verificou que o resíduo proporcionou aumento da produtividade da cultura.

Entretanto, a aplicação do lodo de curtume tem ocasionado aumento na salinidade, no pH e no conteúdo de Cr do solo (FERREIRA et al. 2003; ARAÚJO et al. 2005). Associado a estes fatores, alguns trabalhos têm observado efeitos deletérios do resíduo sobre a microbiota do solo e seus processos bioquímicos (ARAÚJO et al. 2005; TEIXEIRA et al. 2006; ARAÚJO et al. 2006).

Nos últimos anos, a compostagem tem sido reconhecida como uma alternativa de baixo custo e ambientalmente adequada para reciclagem de resíduos orgânicos urbanos e industriais (ARAÚJO & MONTEIRO, 2006; ARAÚJO et al. 2007), sendo proposta como um tratamento alternativo a ser empregado na reutilização do lodo de curtume.

A utilização da compostagem pode reduzir a quantidade de elementos químicos tóxicos presentes no lodo de curtume, reduzindo assim a sua toxicidade. Outros trabalhos, com lodo de esgoto e têxtil, mostraram a redução da toxicidade do resíduo após a sua compostagem (BERNAL et al. 1998; ARAÚJO e MONTEIRO, 2006; ARAÚJO et al. 2007). Entretanto, o efeito da aplicação de lodo de curtume compostado necessita ser avaliado no sentido de conhecer os possíveis benefícios e riscos do uso do composto sobre as propriedades do solo e a acumulação de metais pesados no sistema solo-planta.

Durante a compostagem, a matéria orgânica é decomposta pela ação de microrganismos resultando na fragmentação gradual e oxidação dos detritos (BUDZIAK et al. 2004). A compostagem consiste em um processo biológico de decomposição controlada da fração orgânica contida nos resíduos de modo a resultar em um produto estável, similar ao húmus (KIHTEL, 1998). Este processo é realizado em condições aeróbias e, segundo Frassinetti et al. (1990), nestas condições, os microrganismos se desenvolvem e transformam a matéria orgânica, eliminando a toxicidade do resíduo.

A utilização do composto, proveniente do lodo de curtume, pode trazer benefícios para o crescimento das plantas e melhoria da fertilidade do solo, com conseqüente diminuição deste passivo ambiental. Ainda assim, o uso do composto em áreas agrícolas, como condicionadores das propriedades do solo e como fonte de nutrientes para as plantas, deve ser uma ação muito bem definida, de modo a não causar prejuízo ao meio ambiente, colocando em risco a qualidade do solo e a saúde do homem. Estudos realizados com lodo de esgoto mostraram que aplicações sucessivas do resíduo podem contribuir para aumento nos teores de metais no solo (CHANG et al., 1987; BERTI & JACOBS, 1996; ANJOS & MATTIAZO, 2000).

2. A biomassa microbiana do solo

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre, e representa um balanço entre as frações líquida, gasosa e sólida. A fração líquida é composta por água e materiais dissolvidos, a fração gasosa é composta por gases atmosféricos em diferentes proporções e a fração sólida é composta por minerais, raízes, macro e microorganismos metabolicamente ativos ou inativos e matéria orgânica em vários estádios de decomposição. A fase sólida do solo representa cerca de 50 % do volume total do solo, sendo composta de minerais (cerca de 45%) e matéria orgânica (1 - 5 %), incluindo-se os organismos vivos (raízes, macro e microorganismos) (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Os inúmeros organismos que se multiplicam e habitam o solo são responsáveis direta ou indiretamente por processos bioquímicos diversos com alto grau de complexidade que controlam as transformações dos elementos químicos e transferências de energia no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo-se na base de sustentação e produtividade dos ecossistemas terrestres em equilíbrio (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Os microrganismos realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo, decompondo a matéria orgânica, liberando nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradando substâncias tóxicas (DORAN et al. 1996). Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas e atuam no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo. A função dos microrganismos é mediar processos no solo relacionados com o manejo, desta forma podem ser sensíveis indicadores de mudanças nos processos da matéria orgânica (POWLSON et al. 1997).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo excluindo-se a macrofauna e as raízes das plantas (JENKINSON & LADD, 1981). A BMS é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais. Representa, ainda, uma reserva considerável de nutrientes, os quais são continuamente assimilados durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

O carbono da BMS é um indicador sensível de qualidade do solo, por representar a fração ativa e biodegradável da matéria orgânica (MO) e refletir tendências de mudanças que estão ocorrendo na mesma (FEIGL et al. 1998). O C da BMS pode refletir adequadamente o efeito de resíduos orgânicos sobre a microbiota do solo ao longo do tempo. Neste sentido, García-Gil et al. (2000) observaram que a aplicação de 80 t ha^{-1} de lodo compostado em solo arenoso, durante nove anos, aumentou em 46 % o C da BMS.

Santos et al. (2011) avaliaram o efeito do lodo de curtume compostado sobre o C da BMS e não observaram efeitos negativos do resíduo sobre a microbiota do solo. Entretanto, os resultados mostraram que a aplicação de 7,5 t do lodo compostado favoreceu o crescimento da BMS em solo arenoso e argiloso. Segundo os autores, o efeito positivo pode ter ocorrido devido a presença de elementos químicos benéficos ao crescimento microbiano além do alto conteúdo de matéria orgânica.

3. Atividade microbiana do solo

A avaliação da respiração do solo é a técnica mais freqüente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana (ALEF, 1995). A disponibilidade de C no solo também tem sido descrita como fonte contribuidora para o aumento da respiração (CATTELAN & VIDOR, 1990). A respiração do solo é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido e possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, tais como presença de resíduos orgânicos. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela liberação de CO_2 via degradação da matéria orgânica (SILVA et al. 2007).

Alguns estudos têm demonstrado que a respiração do solo é um sensível indicador do efeito de resíduos urbanos e industriais (CARDOSO & FORTES NETO 2000; ARAÚJO & MONTEIRO, 2006; SANTOS et al. 2011).

A utilização de lodo de esgoto aumentou a respiração do solo conforme reportado por Cardoso & Fortes Neto (2000) que avaliaram a efeito da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (0, 10, 20, 40, 80 e 160 t ha^{-1}) sobre a microbiota do solo. Os autores mostraram que a aplicação do resíduo ocasionou

mudanças importantes no ambiente, na comunidade microbiana e na atividade dos microrganismos do solo. Araújo & Monteiro (2006) avaliaram o uso do lodo têxtil compostado sobre a microbiota do solo e observaram um aumento na atividade respiratória em virtude da aplicação do resíduo.

As enzimas são medidas utilizadas para indicação da atividade microbiana geral e específica. As enzimas são mediadoras do catabolismo biológico dos componentes orgânico e mineral do solo. A atividade enzimática do solo possui as características de: a) ser relacionada com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana; b) ser um claro indicador de mudanças na qualidade do solo; c) envolver metodologias simplificadas (DICK, 1997). Além disso, a atividade enzimática pode ser utilizada como medida de produtividade e efeito de poluentes no solo. Taylor et al. (2002) sugerem duas razões para avaliar as enzimas do solo. A primeira, como informativo do potencial bioquímico e de manipulação do solo, e a segunda, como indicador de qualidade devido à sensibilidade para prover informações sobre mudanças nas funções-chave do solo.

As desidrogenases são um grupo de enzimas incluídas na classe das oxidoreduções. Desidrogenases ativas são consideradas existentes em solos como parte integrante das células intactas e, atividades de desidrogenase são utilizadas para refletir a gama completa de atividades oxidativas da microflora do solo (BURNS, 1978). Araújo (2003) encontrou aumento da atividade desta enzima em um Latossolo que recebeu doses crescentes de lodo de esgoto equivalente a 20, 40 e 80 mg de N dm⁻³.

A hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é catalisada por um grupo de enzimas, incluindo as lipases, proteases e esterases produzidas por bactérias e fungos, consideradas decompositores primárias da matéria orgânica. A FDA é considerada um bom indicador para estimar decompositores de matéria orgânica do solo e um bom indicador para a atividade heterotrófica no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Chantigny et al. (2000) verificaram aumento em valores de FDA após três anos de aplicação de 100 t ha⁻¹ de resíduo industrial. Tardif (1996) relatou crescimento na atividade de hidrólise de FDA pela aplicação de 18 t ha⁻¹ de lodo oriundo da indústria de celulose. Para composto de lixo urbano, Perucci (1992) reportou maiores valores de atividade de hidrólise de FDA com a adição de 90 t ha⁻¹ do resíduo ao solo.

A combinação das medidas da biomassa microbiana e respiração do solo fornecem a quantidade de CO_2 evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório ($q\text{CO}_2$). O $q\text{CO}_2$ indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al. 2002). O uso do $q\text{CO}_2$ como uma medida de indicador de mudanças na qualidade do solo está baseado na teoria sobre a respiração da comunidade descrita por ODUM (1985). Esta teoria descreve que o aumento na respiração da comunidade pode ser o primeiro sinal de estresse, uma vez que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular. Portanto, durante um estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO_2 .

4. Efeito do lodo de curtume sobre propriedades químicas do solo

O composto de lodo de curtume apresenta potencial de utilização como fonte de nutrientes, corretivo de acidez e condicionador das propriedades químicas do solo, uma vez que apresenta carbonatos, hidróxidos, matéria orgânica e cátions na sua composição (ABREU JUNIOR et al. 2000; OLIVEIRA, 2000). Desta forma, no solo o resíduo libera hidroxilas e bases que neutralizam a acidez e aumenta a capacidade de troca de cátions (SOUZA et al. 2007).

Vários trabalhos mostraram que a aplicação de lodo de curtume aumentou os teores de N (KONRAD e CASTILHOS, 2002; KRAY et al. 2008), Ca (COSTA et al. 2001; CASTILHOS et al. 2002; FERREIRA et al. 2003; TEIXEIRA et al. 2006) e Mg (CASTILHOS et al. 2002) no solo, devido a riqueza do resíduo com estes nutrientes. Por outro lado, o P e K são normalmente encontrados em baixos teores no lodo de curtume, sendo necessária a complementação com uso de fontes mineral desses nutrientes, quando se almeja suprir a necessidade nutricional das plantas.

Martines et al. (2006) relataram que devido ao elevado teor de nutrientes e potencial de neutralização da acidez do solo, a utilização de lodos de curtume em

áreas agrícolas pode ser uma alternativa para a disposição e reciclagem desses resíduos. A recomendação da dose no valor corretivo e fertilizante que esses apresentam, bem como a capacidade da macro e microbiota do solo em decompor os materiais orgânicos, requerem, entretanto, considerar as alterações nas propriedades do solo e a resposta das plantas para avaliar o potencial fertilizante dos resíduos e a possível contaminação do ambiente por metais pesados (FERREIRA et al. 2003).

Selbach et al. (1991) aplicaram lodo de curtume no solo e avaliaram o seu efeito como fertilizante e corretivo da acidez, além do aporte de metais pesados. Os resultados mostraram o poder corretivo do lodo de curtume devido à sua capacidade de neutralização da acidez, além de promover aporte significativos de Ca, Mg e S.

O aumento na fertilidade do solo pela aplicação dos resíduos promove melhoria no estado nutricional das plantas (TRANNIN et al. 2005). Estes autores observaram respostas lineares dos níveis de N, P, Cu, Fe e Zn nas folhas em virtude da aplicação de lodo de esgoto. Além disso, os resultados mostraram efeitos semelhantes da aplicação do lodo de esgoto e da adubação mineral na nutrição das plantas.

Muitos estudos têm sido realizados sobre a avaliação de metais pesados em solos após aplicação de biossólidos (HAROUN et al. 2009; WANI et al. 2007). Alguns trabalhos sugerem que a especiação de cada metal no composto de lodo de curtume depende do estado químico inicial, mecanismos de adsorção e precipitação do lodo, o efeito de estabilização do material e o processo de humificação que ocorre durante a compostagem na forma química do metal (HAROUN et al. 2009).

De acordo com Haroun et al. (2007) a compostagem é um importante meio para eliminar a fração mais lábil dos metais, principalmente durante a fase de decomposição ativa. Em estudo de metais pesados e seu destino na compostagem do lodo de curtume observaram reduções notáveis nas concentrações dos metais pesados, Pb, Cr, Cd, Zn e Cu, apresentando reduções de 31,12%, 33,3%, 38,5%, 11,8% e 22,6% respectivamente desses metais no composto em comparação com o lodo "in natura" .

Segundo Melo et al. (2002), a elevação de pH do solo promove precipitação de metais pesados na forma de hidróxidos, fosfatos e carbonatos, e de complexos insolúveis com a matéria orgânica. Conforme Bell et al. (1991), a

aplicação anual prolongada de lodo de esgoto ao solo pode tornar-se restritiva ao sistema de produção agrícola, pelo enriquecimento de metais pesados no ambiente.

5. Potencial do lodo de curtume sobre a produtividade das plantas

O lodo de curtume compostado pode apresentar potencial como fertilizante, melhorando a produtividade das plantas. Isto ocorre devido à sua composição química com riqueza em nutrientes e matéria orgânica.

Desta forma, a aplicação de resíduos urbanos e industriais tem sido recomendada em culturas perenes e anuais, cujas partes comestíveis não entram em contato com o resíduo, e em pastagens e reflorestamentos (ANDREOLI et al. 1999; BETTIOL & CAMARGO, 2000).

Embora já existam evidências do aumento na produtividade de diferentes culturas tais como o milho, com a aplicação de resíduos urbanos (BISCAIA & MIRANDA, 1996; SILVA et al. 2002), estudos sobre a viabilidade de uso agrícola de resíduos de origem industrial são poucos (KONRAD & CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al. 2003).

Borges (2003) avaliou doses de aplicação de lodo de curtume, em três épocas antecedentes a semeadura de milho, e obteve incremento de até 71% no aporte de N nas folhas das plantas com a maior dose do lodo de curtume em relação a testemunha. A aplicação de lodo de curtume associado à adubação mineral pode promover aumento de fitomassa vegetal em milho, conforme reportado por Borges et al. (2007).

Em um trabalho avaliando a produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto, 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⁻¹, a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica. Entretanto, Silva et al. (2005) estudando o uso do lodo de curtume, como adubo orgânico, na plantação da cultura de milho, observaram que após 15 e 30 dias de plantio, a aplicação de esterco bovino proporcionou melhor desenvolvimento das plantas do que o lodo de curtume. Os autores atribuíram o fato à elevação do teor de cromo na presença do lodo de curtume.

Araújo et al. (2007) avaliaram o efeito do lodo têxtil compostado sobre o desenvolvimento do feijão-caupi e observaram um aumento significativo nas variáveis relativas ao crescimento da planta pela aplicação de 32 t ha⁻¹ do resíduo. Em feijão-caupi, Teixeira et al. (2006) observaram aumentos significativos no desenvolvimento da cultura pela aplicação de lodo de curtume na dose de 10 t ha⁻¹.

Desta forma, tornam-se necessários alguns estudos sobre os impactos da aplicação sucessiva do composto de lodo de curtume no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ V., F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 635-647, 2000.

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: Alef. K., Nannipieri, P. (Eds.) **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, p.464-470, 1995.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 288p, 1999.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólidos. **Scientia Agrícola**, v.57, p.769-776, 2000.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. Uberlândia. **Bioscience Journal**. v.23, n.3. p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A. S. F. de; CARVALHO, A. J. S.; SANTOS, F. J. S.; CARVALHO, M. M. S.; SANTOS, V. B. Growth and nodulation of leucaena and prosopis seedlings in soil plus tannery sludge. **Caatinga**, v.19, n.1, p.20-24, 2006.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v.64, p.1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 549-554, 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S.; SOUZA, I. S. **Influência do lodo têxtil compostado sobre o acúmulo de matéria seca em feijão-caupi.** (Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo). 2007.

ARAÚJO, F. F. de. **Efeito de lodo de esgoto sobre a nodulação e doenças da soja.** 2003. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

BELL, P. F.; JAMES, B. R.; CHANEY, R. L. Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal saltamended soils. **Journal of Environmental Quality.** Madison, v. 20, p. 481- 486, 1991.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C. & ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 69:175-189, 1998.

BERTI, W. R.; JACOBS, L. W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.1025-1032, 1996.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312p, 2000.

BISCAIA, R. C. M.; MIRANDA, G. M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. **Sanare**, v.5, p.86-89, 1996.

BORGES, J. D.; BARROS, R. G.; SOUZA, E. R. B. de; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA, I. P. de; CARNEIRO, M. de F.; NAVES, R. V.; SONNENBERG, P. E. Teores de micronutrientes nas folhas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Bioscience Journal.** Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 1-6, Apr./June, 2007.

BORGES, J. D. **Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e do capim braquiarião [*Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rick) Sapf.] cultivar Marandu em latossolo vermelho-amarelo**. 2003. 244 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

BUDZIALK, C. R.; MAIA, C. M. B. F.; MANGRICH, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria curtumeira. **Química Nova**, v.27, n.3, p. 399-403, 2004.

BURNS, R. G. **Soil enzymes**. New York: Academic Press, 380p, 1978.

CARDOSO, E. J. B. N.; FORTES NETO, P. Aplicabilidade do bio sólido em plantações florestais: alterações microbianas no solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Org.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 197-202, 2000.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990.

CHANG, A. C.; HINESLY, T. D.; BATES, T. E.; DONER, H. E.; DOWDY, R. H.; RYAN, J. A. Effect of long-term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A. L.; LOGAN, T. G.; RYAN, J. A. **Land application of sludge**. Celsea: Lewis Publishers, p. 53-66. 1987.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A. & BEAUCHAMP, C. J. Active carbon pools and enzyme activities in soils amended with de-inking paper sludge. **Canadian Journal Soil Science**. v. 80, p. 99-105, 2000.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. Efeitos da adição de lodos de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 3, p. 189-191, 2001.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as integrative indicator of soil health. In: PANKHURST C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Org) Biological indicators of soil health. **New York: CAB**, p. 121-155, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Org.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, p. 25-3, 1996.

EPA, **Guide for Industrial Waste Management**. 2007.

FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (Eds). **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-NPA, p.423-441, 1998.

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**, v.27, p.755-763, 2003.

FRASSINETTI, S.; CITTERIO, S.; NAPPI, P. Chemical changes in sludge stabilization. **Bio Cycle**, v.31, p.50-52, 1990.

GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P. & POLO, A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 32, p. 1907-1913, 2000.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Biondi. 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.459–465, 2007.

HAROUN, M.; IDRIS, A.; OMAR, S. Analysis of heavy metals during composting of the tannery sludge using physicochemical and spectroscopic techniques. **Journal of Hazardous Materials**, v.165, p. 111–119, 2009.

HAROUN, M.; IDRIS, A.; OMAR, S.R.S. A study of heavy metals and their fate in the composting of tannery sludge. **Waste Management**, v.27, p.1541–1550, 2007.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, p.415-471, 1981.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem, maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 171 p, 1998.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrente da adição do lodo de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.257-265, 2002.

KRAY, C. H.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; SILVA, K. J. Tannery and coal mining waste disposal on soil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2877-2882, 2008.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, p. 1149-1155, 2006.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. 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. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. cap.11, p.289-363, 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 729 p, 2006.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience**, Londres, v. 35, p. 419-422, 1985.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 247 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – USP/ESALQ, Piracicaba-SP, 2000.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. São Paulo: CETESB. 2009.

PERUCCI, P. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. **Biology & Fertility of Soils**, 14:54-60, 1992.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 159-164, 1997.

SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAÚJO, A. S. F. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass in two different soils. **European Journal of Soil Biology**, v.1, p.146-151, 2011.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

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

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99). 2007.

SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; VIEIRA, R. F. Efeito dos fungicidas metalaxil e fenarimol na microbiota do solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e meio ambiente**, n.15, v.93, p.104, 2005.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio-sólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.487-495, 2002.

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

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F., et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-274, 2007.

TARDIF, J. **Impact des résidus de désencrage sur la microflore d'un sol en culture de pomme de terre**. Québec, Université Laval (Tese de Mestrado), 1996.

TAYLOR, J. P.; WILSON, M.; MILLS, S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 387-401, 2002.

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, 2006.

TRANNIN, I. C. de B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. **Avaliação agronômica de um biossólido industrial para a cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar. 2005.

WANI, P. A.; KHAN, M. S.; ZAIDI, A. Effect of metal tolerant plant growth promoting Bradyrhizobium sp. (vigna) on growth, symbiosis, seed yield and metal uptake by greengram plants. **Chemosphere**, v.70, p.36–45, 2007.

CAPÍTULO I

BIOMASSA MICROBIANA, ATIVIDADE MICROBIANA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS DOIS ANOS DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação sucessiva, por dois anos, de lodo de curtume compostado sobre a biomassa microbiana, atividade microbiana e atributos químicos do solo. Os experimentos foram realizados em 2009 e 2010 com a aplicação de LCC nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Dois tratamentos adicionais foram incluídos com testemunha sem aplicação e fertilização mineral com N, P e K. A aplicação de LCC aumentou o conteúdo de C microbiano, inclusive com valores semelhantes aos observados com a aplicação de fertilizantes minerais. A aplicação do LCC não promoveu aumentos significativos na respiração do solo. Entretanto, os valores de $q\text{CO}_2$ foram semelhantes entre o tratamento com aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC, e o da fertilização mineral, no segundo ano. Após dois anos de aplicação do LCC, não houve efeitos significativos sobre a atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína, enquanto que a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC promoveu um decréscimo da atividade da desidrogenase, semelhante aos outros tratamentos. Não houve diferenças significativas entre os valores de pH para os tratamentos após dois anos de aplicação do LCC. Comportamento semelhante aos valores de pH foi observado para os teores de matéria orgânica do solo (MOS), sem diferenças entre os tratamentos, observando-se uma tendência de diminuição dos teores após dois anos de aplicação do LCC. Os teores de P, K, Ca e Mg, não foram diferentes significativamente entre os tratamentos. Houve um aumento nos teores de Cr no solo após dois anos de aplicações sucessivas de LCC na dosagem de 40 Mg ha⁻¹. Os teores de Ni aumentaram após a primeira aplicação do LCC em doses iguais ou superiores a 10 Mg ha⁻¹, não sendo significativo em relação a testemunha e ao NPK. Após dois anos de aplicações do LCC, houve uma tendência de

diminuição nos teores de Ni no solo. Houve diferenças para os valores de Cd com a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ em relação a testemunha no segundo ano. Os teores de Pb após dois anos de aplicação entre os tratamentos com LCC e a fertilização química, foram semelhantes. Desta forma, a aplicação do LCC não alterou a biomassa microbiana do solo após dois anos de aplicações sucessivas, não alterou os valores dos teores dos elementos que compõem a fertilidade do solo. A aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC promoveu aumento nos teores de Cr e Cd no solo. Por outro lado, o LCC não alterou os valores de Ni e Pb quando comparados a adubação química e testemunha.

Palavras-chave: resíduo industrial, compostagem, solo.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de couro com exportações contabilizadas na ordem de bilhões de dólares (SANTOS et al. 2011). Entretanto, o processamento industrial de couro libera, anualmente, mais de um milhão de toneladas de efluentes (PACHECO, 2009) com aproximadamente 3% de resíduos sólidos (SILVEIRA et al. 2002).

O aumento da atividade humana e industrial tem gerado quantidades consideráveis de resíduos orgânicos, principalmente lodo de esgoto, lixo urbano e resíduos industriais. A utilização destes resíduos como fonte de nutrientes para as plantas e condicionadores dos solos constitui-se em uma alternativa viável na preservação da qualidade ambiental (ARAÚJO, 2004). Estes resíduos sólidos são comumente conhecidos por lodo de curtume e a sua disposição ocorre, geralmente, em aterros sanitários. A disposição em aterros sanitários é um método inviável, em longo tempo, em virtude do alto custo de manutenção e possibilidade de contaminação ambiental (CHANDRA et al. 2008).

O lodo de curtume apresenta alto conteúdo de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados, principalmente o cromo (Cr^{3+}) (CASTILHO et al. 2002) e o seu uso agrícola tem sido proposta como disposição final contribuindo para aumento na fertilidade do solo e a nutrição das plantas (MARTINES et al. 2010; OLIVEIRA et al. 2008). Entretanto, a utilização do lodo de curtume diretamente no solo pode trazer prejuízos ao meio ambiente, em função da grande quantidade de metais pesados. Neste sentido, a compostagem tem sido reconhecida como uma alternativa para a reciclagem de lodos industriais (ARAÚJO e MONTEIRO, 2006; ARAÚJO et al. 2007; SANTOS et al. 2011). Durante a compostagem, ocorre a decomposição do resíduo, proporcionando uma redução de patógenos e elementos tóxicos (ARAÚJO e MONTEIRO, 2005). Este método tem sido utilizado em resíduos orgânicos urbanos e industriais (BERNAL et al. 1998.; ARAÚJO E MONTEIRO, 2006; ARAÚJO et al. 2007).

Por outro lado, a utilização do lodo de curtume compostado pode ocasionar mudanças na biomassa microbiana do solo (BMS) e seus processos bioquímicos. Os microrganismos realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo, decompondo a matéria orgânica, liberando nutrientes em

formas disponíveis às plantas e degradando substâncias tóxicas (DORAN et al. 1996).

O uso destes resíduos em áreas agrícolas, condicionando as propriedades do solo e servindo de fonte de nutrientes essenciais para as plantas, deve ter critérios definidos de aplicação, evitando prejuízos ambientais (COSTA et al. 2001). O lodo de curtume apresenta composição variável, e normalmente contendo alto conteúdo de matéria orgânica, N, P, K, micronutrientes e metais pesados. Alguns trabalhos mostraram a eficiência do lodo de curtume como fertilizante e corretivo da acidez do solo (KONRAD & CASTILHOS, 2002; ARAÚJO et al. 2005). Entretanto, devido a sua composição, deve ser feito um monitoramento dos elementos nocivos em razão do risco de contaminação do solo (ARAÚJO et al. 2008), pois utilizado de forma inadequada, pode resultar em elevados valores de pH (SELBACH et al. 1991) e excesso de sais solúveis (KONRAD & CASTILHOS, 2002) o que pode comprometer a sustentabilidade agrícola e o uso futuro dessas áreas.

Nos últimos anos, alguns estudos têm focado o efeito de compostos de lodo de esgoto (BERNAL et al. 1998) e têxtil (BERNAL et al. 1998; ARAÚJO e MONTEIRO, 2006; ARAÚJO et al. 2007). Neste sentido, García-Gil et al. (2000) observaram que a aplicação de 80 t ha⁻¹ de lodo de esgoto compostado, em solo arenoso durante nove anos, aumentou em 46 % o conteúdo da BMS. Recentemente, Araújo & Monteiro (2006) avaliaram o uso do lodo têxtil compostado sobre a microbiota do solo e observaram um aumento na atividade respiratória em virtude da aplicação do resíduo.

Devido a sua composição e ao risco associado com o uso agrícola direto do lodo de curtume, a compostagem vem sendo proposta como uma forma alternativa de tratamento (SANTOS et al. 2011). A compostagem pode diminuir ou eliminar a toxicidade do resíduo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2005), originando um produto estabilizado para uso agrícola. O monitoramento dos atributos químicos do solo após aplicações sucessivas do resíduo é um dos critérios utilizados pelos órgãos ambientais para regulamentar o uso agrícola.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar as mudanças sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, e nos atributos químicos do solo após dois anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Teresina, Piauí. O solo da área é classificado como Neossolo flúvico, tendo as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo antes do experimento.

Parâmetros	Solo do experimento
Areia (g kg^{-1})	61,3
Silte (g kg^{-1})	28,5
Argila (g kg^{-1})	10,2
pH (água)	7,15
Matéria orgânica (g.kg^{-1})	12,2
P (mg dm^{-3})	8,04
K (mg dm^{-3})	0,06
Ca (cmolc dm^{-3})	1,76
Mg (cmolc dm^{-3})	0,37

O Lodo de Curtume utilizado foi obtido no Curtume Europa, localizado no município de Teresina-PI. A pilha de compostagem foi constituída de lodo de curtume misturado com bagaço de cana e esterco bovino na proporção de 1:1:3 (V:V:V). O processo de compostagem foi conduzido por 85 dias, pelo método de pilhas revolvidas (USDA, 1980). As características do lodo de curtume compostado (LCC) foram determinadas pelo Método EPA 3051 (USEPA, 1986) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização do LCC utilizado no experimento.

Parâmetros	LCC	Valor permitido para o solo¹
Umidade a 65°C (%)	42,7	-
C _{org} (g.kg ⁻¹)	187,5	-
N (g.kg ⁻¹)	1,28	-
P (g.kg ⁻¹)	4,02	-
K (g.kg ⁻¹)	3,25	-
Ca (g.kg ⁻¹)	95,33	-
Mg (g.kg ⁻¹)	6,80	-
S (g.kg ⁻¹)	9,39	-
Cu (mg.kg ⁻¹)	17,80	4.300
Fe (mg.kg ⁻¹)	5.171,60	-
Mn (mg.kg ⁻¹)	1.848,7	-
Zn (mg.kg ⁻¹)	141,67	7.500
Mo (mg.kg ⁻¹)	9,28	-
Ni (mg.kg ⁻¹)	21,92	420
Cd (mg.kg ⁻¹)	2,87	85
Cr (mg.kg ⁻¹)	2.255,0	3.000
Pb (mg.kg ⁻¹)	42,67	75

¹CETESB (1999).

As doses de LCC utilizadas foram 0 (controle), 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Um tratamento adicional foi incluído com adubação completa (NPK) de 80, 60 e 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A adubação com P e K foi realizada no

plântio, enquanto que o N foi parcelado em duas vezes (plântio com 20 kg de N e cobertura aos 30 dias com 60 kg de N).

As aplicações do LCC foram realizadas em parcelas com 2 m x 5 m. Após 10 dias da aplicação do LCC, o feijão-caupi, cultivar BR17-Gurgueia, foi semeado em cada ano, em espaçamento 0,5 m x 0,2 m, formando um stand de 100 plantas, sendo consideradas como parcela útil as duas fileiras centrais.

As amostragens do solo foram realizadas aos 7 e 60 dias após a aplicação do LCC.

2.1. Biomassa e Atividade microbiana do Solo

Em cada período de amostragem, o C da biomassa microbiana foi estimado pelo método da irradiação e extração utilizando na eliminação dos microrganismos um forno de microondas com frequência de microondas de 2450 MHz e energia a 900W por 180s (FERREIRA et al. 1999). Para quantificação do carbono da biomassa microbiana foi utilizada a equação: $C_{mic} = (C_I - C_{NI}) / K_c = \mu g g^{-1}$ de C no solo onde: C_{mic} é o carbono da biomassa microbiana; C_I é o carbono da amostra irradiada; C_{NI} é o carbono da amostra não irradiada e $K_c = 0,45$ é fator de correção para C_{mic} .

A atividade microbiana foi estimada através da taxa de respiração do solo, pelo C-CO₂ liberado por 75g de solo durante a incubação a 28°C, por sete dias em 21 frascos herméticos de vidro com capacidade de 1L. O C-CO₂ capturado por solução de NaOH 1,0 mol.L⁻¹ foi determinado por titulação com HCL 0,05 mol L⁻¹ em 1mL de BaCl₂ 0,5 mol.L⁻¹ + 3 gotas de Fenolftaleína (ALEF & NANNIPIERI, 1995). O quociente respiratório (qCO_2) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração e o carbono da biomassa microbiana do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1990).

Para a determinação da atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína e desidrogenase foram utilizados os métodos propostos por Alef & Nannipieri (1995).

O delineamento experimental adotado foi em bloco casualizado 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 Sisvar – Versão 5.3.

2.2. Atributos Químicos do Solo

Os atributos químicos foram avaliados em amostras de solos coletadas aos 60 dias após a emergência das plantas. O pH do solo foi determinado de acordo com o método proposto por Mclean (1982), com a transferência 10 cm³ de solo para um copo de 100 mL, adição de 25 mL de água numa relação 1:2,5 (solo:água). A quantificação do pH do solo foi feita em leitura direta no potenciômetro. O cálcio e o magnésio foram extraídos com cloreto de potássio e analisados por titrimetria com o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) (LANYON & HEALD, 1982). Para a extração do cálcio e do magnésio, foram transferidos 5 cm³ de TFSA para um Erlenmeyer de 125 mL e adicionaram-se 50 mL da solução extratora (KCl 1 mol L⁻¹). Após extração, duas alíquotas de 25 mL do extrato foram coletadas e tituladas com a solução EDTA 0,006 mol L⁻¹. A primeira alíquota foi utilizada para quantificação conjunta de cálcio + magnésio, e a segunda, para quantificação do cálcio. O potássio trocável (K⁺) foi extraído com solução extratora Mehlich I (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e analisado por fotometria de chama, conforme Embrapa (2005).

Os conteúdos de Cr, Ni, Cd e Pb foram determinados pelo método utilizado pela USEPA (1998), método 3050, e extraível pelo método DTPA-TEA (LYNDAY & NORVELL, 1978).

O delineamento experimental adotado foi em bloco casualizado 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 Sisvar – Versão 5.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Biomassa e Atividade microbiana do Solo

A biomassa microbiana do solo é considerada uma medida sensível a aplicação de poluentes orgânicos (BROOKES, 1995). No primeiro ano de aplicação, o lodo de curtume compostado promoveu aumento significativo no conteúdo de C microbiano (Figura 1).

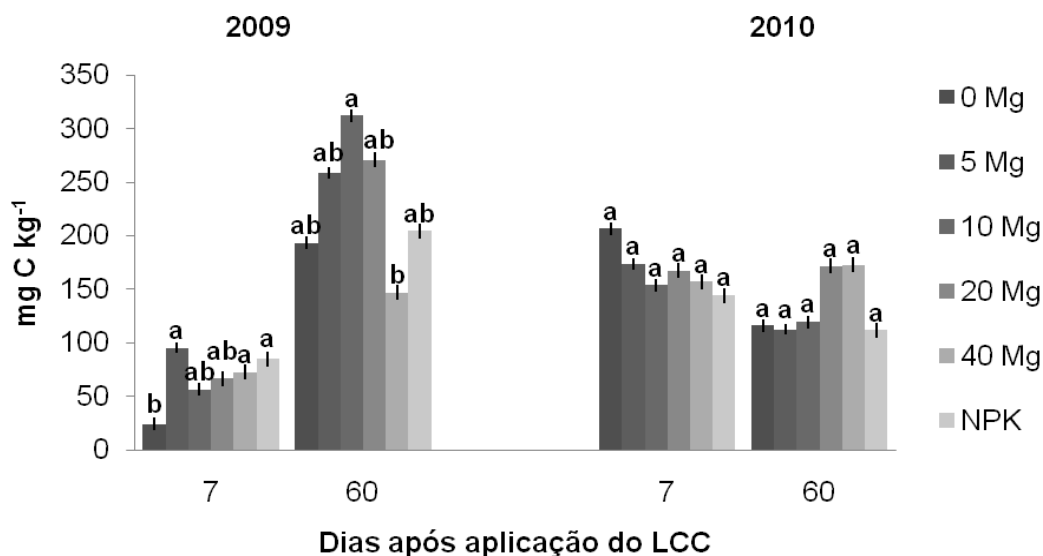


Figura 1. Carbono da biomassa microbiana do solo após 7 e 60 dias de aplicação do LCC em 2009 e 2010. Médias de 4 repetições seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Este aumento foi observado aos sete dias após a aplicação do LCC ao solo, sendo, inclusive, encontrados valores semelhantes aos observados com a aplicação de fertilizantes minerais. Aos 60 dias, o C microbiano diminuiu com a aplicação da maior dose de LCC (40 Mg ha⁻¹), não apresentando diferença significativa entre a testemunha controle nem com o tratamento NPK.

Os resultados indicam que a aplicação do LCC, no primeiro ano, estimulou a biomassa microbiana pelo aporte de C e nutrientes contidos no composto. Por um lado, observa-se efeito positivo do aporte de fontes de nutrientes de fácil decomposição. Por outro lado, os dados mostraram que não houve efeito deletério do LCC, sobre a microbiota do solo em virtude da presença de metais pesados. Resultados semelhantes foram observados por Trannin et al. (2007) e Santos et al. (2011) que encontraram aumentos significativos na biomassa microbiana após a aplicação de doses crescentes de resíduos industriais em virtude da disponibilidade de substratos orgânicos e nutrientes.

No segundo ano de aplicação, os valores de CBM foram estatisticamente iguais entre todos os tratamentos nas duas avaliações. Isto indica que o lodo de curtume compostado não apresentou efeito negativo pela aplicação sucessiva ao

solo, mostrando que o composto pode ser uma forma alternativa de adubação. Provavelmente, a biomassa microbiana apresentou adaptação à presença dos elementos químicos do composto nas dosagens aplicadas. Este comportamento foi observado por Sullivan et al. (2006) e Souza et al. (2009) trabalhando com aplicação por dois anos de lodo de esgoto, onde observou-se uma adaptação da microbiota do solo com aplicação sucessiva do resíduo. Além disso, a aplicação por dois anos do composto não promoveu aumentos significativos no conteúdo de metais pesados no solo.

Nos dois anos de avaliação, a aplicação do lodo de curtume compostado não promoveu aumentos significativos na respiração do solo, no início e no final dos cultivos (Figura 2).

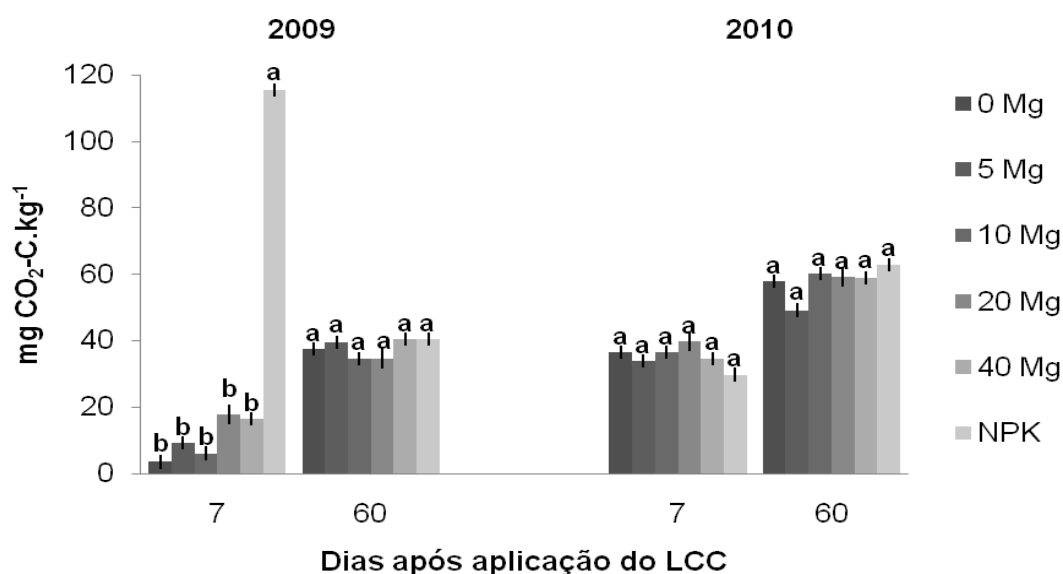


Figura 2. Respiração basal após 7 e 60 dias de aplicação do LCC em 2009 e 2010. Médias de 4 repetições seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Por outro lado, os valores de qCO_2 foram maiores com a aplicação da maior dose de lodo de curtume compostado (40 Mg ha^{-1}), aos 60 dias, no primeiro ano de cultivo (Figura 3), não diferindo da testemunha.

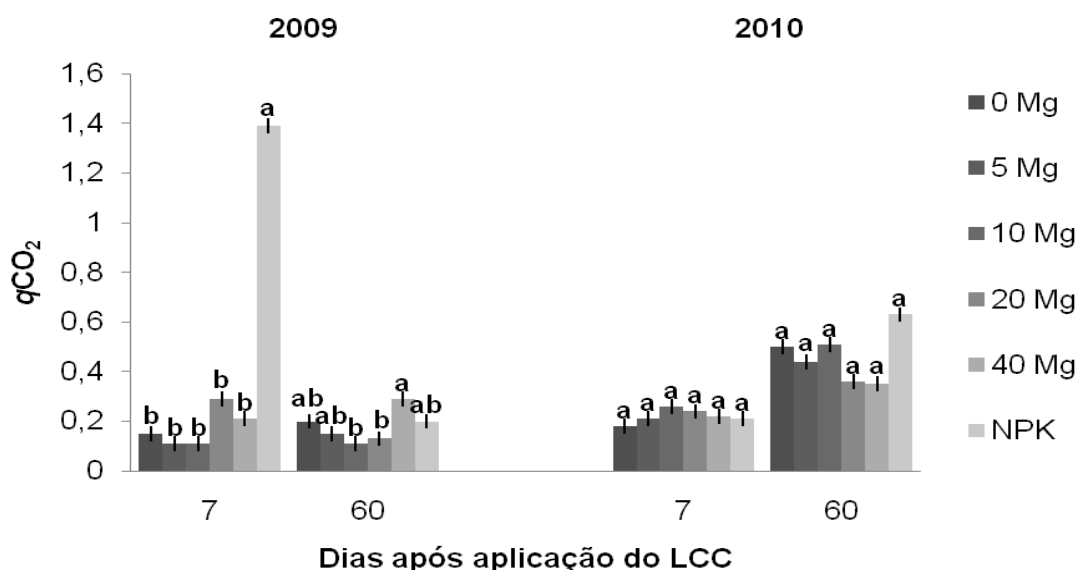


Figura 3. Quociente respiratório (qCO_2) após 7 e 60 dias de aplicação do LCC em 2009 e 2010. Médias de 4 repetições seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No segundo ano, os valores de qCO_2 foram semelhantes entre todos os tratamentos avaliados.

Embora, no primeiro ano, a aplicação do LCC, nas doses de 5, 10 e 20 e 40 Mg ha⁻¹ tenha estimulado ao aumento na BMS, a respiração microbiana total ou específica (qCO_2) não foi estimulada ou inibida nestas doses. Desta forma, não houve efeito negativo do LCC sobre a conversão de C em biomassa microbiana, uma vez que o qCO_2 é um indicativo de eficiência microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1990) Além disso, em virtude do conteúdo de metais pesados no LCC dentro dos valores de referência, não houve indicação de stress microbiano pela aplicação do resíduo ao solo, uma vez que não houve perda de C microbiano através da respiração. Estes resultados são semelhantes aos observados por Banerjee et al. (1997) e Trannin et al. (2007) em solos com aplicação de lodo de esgoto e industrial com baixos teores de metais pesados. Por outro lado, em solo com aplicação de resíduos com alto conteúdo de metais pode ocorrer um efeito negativo sobre a microbiota do solo, conforme observado por Valsecchi et al. (1995).

A desidrogenase é uma enzima que mede a capacidade oxidativa do solo (BURNS, 1978) e, neste sentido, a aplicação do lodo de curtume compostado não apresentou inibição neste processo (Figura 4.a).

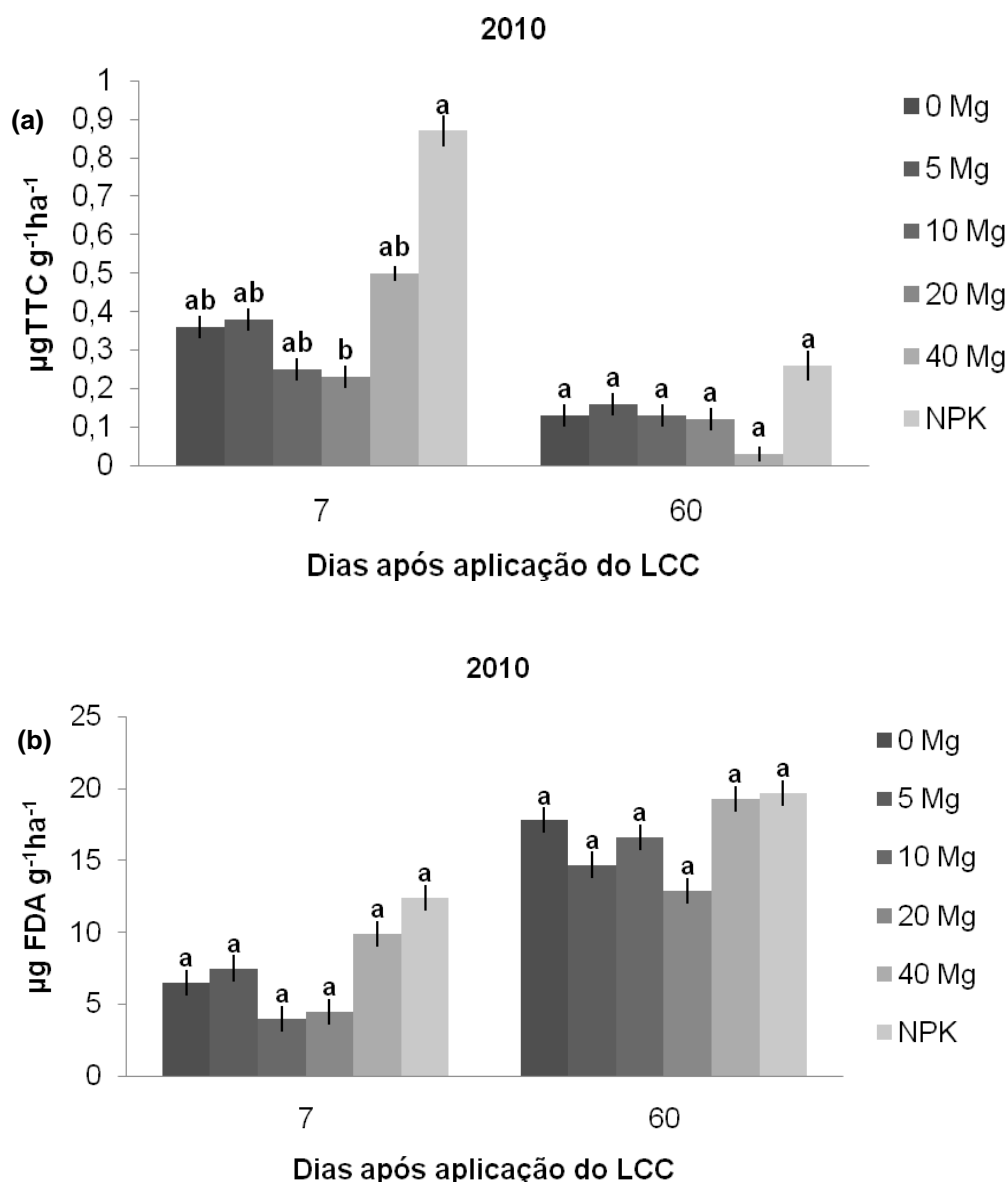


Figura 4. (a) Atividade da desidrogenase e **(b)** hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) e após 7 e 60 dias de aplicação do LCC em 2010. Médias de 4 repetições seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Jeziarska-Tys & Frac (2006) não observaram efeitos negativos ou positivos sobre a atividade da desidrogenase pela aplicação de lodo de esgoto com baixos níveis de metais pesados. Entretanto, o aumento no conteúdo de metais, principalmente o Cr, pode reduzir significativamente a atividade desta enzima (BARAJAS-ACEVES et al. 2007). Os resultados para a atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína indicam que a atividade microbiana global do solo não foi afetada pela aplicação do lodo de curtume compostado em dois anos sucessivos

(Figura 4.b). Em outros trabalhos foram observados que a hidrólise de FDA não foi negativamente afetada pela aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, de curtume, de celulose e composto de lixo urbano (CHANTIGNY et al. 2000; SANTOS et al. 2011; TRANNIN et al. 2007; PERUCCI et al. 1992).

3.2. Atributos Químicos do Solo

Não houve diferenças significativas entre os valores de pH para os tratamentos após dois anos de aplicação do LCC (Tabela 3). Estes resultados indicam que, embora o lodo de curtume promova o aumento do pH (MELO & MARQUES, 2000), não houve efeito do resíduo na elevação do pH do solo se comparado à testemunha. A avaliação do pH do solo é importante devido a influência desta variável na disponibilidade de nutrientes e na capacidade de troca de cátions (TROEH e THOMPSON, 2007). Este resultados diferem com os obtidos por Castilhos et al. (1999) que aplicaram 60 Mg ha^{-1} de lodo de curtume em um Argissolo e observaram elevação do pH do solo após 42 dias de aplicação. Esta diferença deve-se à característica textural do solo, visto que o solo em estudo é Arenoso.

O comportamento semelhante aos valores de pH foi observado para os teores de matéria orgânica do solo (MOS), onde não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Características da amostra de solo no final do experimento, no ano de 2009 e 2010.

Doses	Parâmetros											
	pH		Matéria orgânica (g kg ⁻¹)		P ------(mg dm ⁻³)-----		K		Ca ------(cmol _c dm ⁻³)-----		Mg	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
0 Mg ha⁻¹	7,15 a	7,40 a	12,2 a	7,2 a	8,04 a	3,57 a	0,06 b	0,11 a	1,76 a	0,93 a	0,37 a	0,28 a
5 Mg ha⁻¹	7,06 a	7,27 a	8,2 a	6,3 a	21,79 a	1,94 a	0,06 b	0,09 a	1,80 a	1,04 a	0,35 a	0,22 a
10 Mg ha⁻¹	7,24 a	7,76 a	11,8 a	6,3 a	26,16 a	1,13 a	0,07 b	0,21 a	2,68 a	1,03 a	0,55 a	0,17 a
20 Mg ha⁻¹	7,23 a	7,73 a	10,7 a	7,3 a	17,27 a	4,33 a	0,06 b	0,09 a	2,72 a	1,06 a	0,56 a	0,17 a
40 Mg ha⁻¹	7,48 a	7,84 a	12,6 a	6,5 a	22,01 a	1,87 a	0,13 a	0,20 a	2,87 a	1,04 a	0,66 a	0,16 a
NPK	6,72 a	7,26 a	10,7 a	6,1 a	10,30 a	1,97 a	0,04 b	0,29 a	1,99 a	0,81 a	0,44 a	0,31 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Por outro lado, observa-se uma tendência de diminuição dos teores de MOS após dois anos de aplicação do LCC. Este comportamento já havia sido descrito por Stevenson (1982) e Favaretto et al. (1997) que observaram redução nos teores de MOS após aplicação do lodo de esgoto. Segundo Vaz & Gonçalves (2002) isso é devido ao estímulo à atividade microbiana, a qual atua sobre as frações orgânicas de fácil decomposição ocasionando a diminuição nos teores de MOS.

O aumento nos teores de MOS geralmente ocorre após a aplicação de resíduos orgânicos. Entretanto, alguns trabalhos reportaram que pode acontecer uma diminuição nos teores de MOS (GHERI, 2002; ARAÚJO, 2006). Segundo Stevenson (1986), a adição de material orgânico ao solo pode estimular a decomposição de húmus, graças ao aumento da atividade microbiana, devendo-se esta diminuição nos teores de MOS, às maiores disponibilidades de frações de C facilmente decomponíveis.

Em relação aos teores de P, K, Ca e Mg, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3). Por um lado, os resultados indicam que, após dois anos de aplicação do resíduo, não houve incremento na fertilidade do solo. Por outro lado, a falta da elevação nos valores dos nutrientes após 60 dias da aplicação indica que estes elementos foram absorvidos pelas plantas.

Houve um aumento nos teores de Cr no solo após dois anos de aplicações sucessivas de LCC na dosagem de 40 Mg ha⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmiio (Cd) e Chumbo (Pb) em solo tratado com LCC em dois anos de aplicação.

Doses	Cr		Ni		Cd		Pb	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
	-----(mg kg^{-1})-----							
0 Mg ha⁻¹	3,15 b	2,69 c	1,28 ab	0,42 a	0,04 a	0,07 b	1,4 b	2,15 a
5 Mg ha⁻¹	3,77 b	4,86 c	1,45 ab	0,50 a	0,04 a	0,08 ab	1,6 ab	2,36 a
10 Mg ha⁻¹	2,56 b	6,43 c	1,77 a	0,41 a	0,06 a	0,17 ab	1,8 ab	2,71 a
20 Mg ha⁻¹	2,54 b	17,26 b	1,78 a	0,31 a	0,05 a	0,17 ab	1,9 ab	2,35 a
40 Mg ha⁻¹	7,29 a	30,31 a	1,81 a	0,54 a	0,06 a	0,18 a	2,1 a	2,84 a
NPK	2,05 b	3,27 c	1,19 b	0,05 a	0,04 a	0,11 ab	1,6 ab	1,94 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Isto indica que a presença de Cr no resíduo original favoreceu o aumento no solo pela aplicação de altas doses do LCC. Entretanto, os valores encontrados encontram-se dentro do intervalo permitido para solos agrícolas de 5 a 1.000 mg kg^{-1} (LAKE, 1987).

De acordo com Bartlett & James (1988), o Cr^{3+} presente no lodo de curtume é solúvel somente em pH do solo abaixo de 5,0, pois acima deste valor de pH o elemento é precipitado em formas insolúveis de $\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no solo (AQUINO NETO & CAMARGO, 2000). Portanto, pelos valores de pH do solo encontrados neste experimento, o Cr encontra-se em formas insolúveis, sem efeito negativos ao ambiente.

Os teores de Ni aumentaram após a primeira aplicação do LCC em doses iguais ou superiores a 10 Mg ha^{-1} , não sendo significativo em relação a testemunha e ao NPK. Entretanto, após dois anos de aplicações do LCC, houve uma tendência de diminuição nos teores de Ni no solo. Os valores encontrado para o Ni após dois anos de aplicações estão abaixo dos observados por Galdos et al. (2004), após duas aplicações anuais de lodo de esgoto.

Houve diferenças para os valores de Cd com a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ em relação a testemunha no segundo ano. Os teores de Pb após dois anos de aplicação entre os tratamentos com LCC e a fertilização química, foram semelhantes (Tabela 4). O Cd é um elemento pouco móvel no solo (MELO et al. 2001) e está intimamente ligado a matéria orgânica (BORGES, 2002). No solo, em condições normais, raramente aparecem concentrações de Cd que podem promover toxidez às plantas. O aumento do pH reduz sua disponibilidade no solo e absorção pelas plantas (FERREIRA et. al. 2001). Entretanto, os valores de Cd encontrados neste experimento estão dentro do intervalo adequado para solo agrícolas de 0,01 a 0,70 mg kg⁻¹ (LAKE, 1987). Para o Pb, o mesmo autor indica intervalo adequado para solos agrícolas de 2 e 200 mg kg⁻¹. Desta forma, após dois anos de aplicação de LCC não houve extrapolação dos valores propostos naquele intervalo.

4. CONCLUSÃO

A aplicação sucessiva de lodo de curtume compostado, mostrou resultados semelhantes ao tratamento com NPK, sem afetar negativamente a biomassa microbiana, a atividade microbiana e enzimática do solo.

A aplicação de LCC não alterou os valores dos teores dos elementos que compõem a fertilidade do solo. A aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de LCC promoveu aumento nos teores de Cr e Cd no solo. Por outro lado, o LCC não alterou os valores de Ni e Pb quando comparados a adubação química e testemunha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Londres: **Academic Press**, 576p, 1995.

ANDERSON, J. M.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Crescimento e acúmulo de cromo em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl_3 e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.225-235, 2000.

ARAÚJO, A. S. F. **A compostagem do lodo têxtil e seu efeito sobre indicadores biológicos**. 89 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v.64, p.1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A. S. F. de.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of textile sludge composted on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 5, p 1028-1032, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; MONTEIRO, R. T. R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. **European Journal of Soil Biology**. v. 44, p.225-230, 2008.

ARAÚJO, J. C. **Efeito do lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo e no capim - tanzânia**. 30p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

ARAÚJO, A. S. F., MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**. v.62, p.286-290, 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 549-554, 2005.

BANERJEE, M. R.; BURTON, D. L. & DEPOE, S. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 66, p. 241-249, 1997.

BARAJAS ACEVES, M.; OCAMPO VELÁSQUEZ, R.; RODRIGUEZ VÁSQUEZ, R. Effects of Cr³⁺, Cr⁶⁺ and tannery sludge on C and N mineralization and microbial activity in semi-arid soils. **Journal of Hazardous Materials**, v.143, p.522-531, 2007.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C. & ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 69, p. 175-189, 1998.

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

BURNS, R. G. **Soil enzymes**. New York: Academic Press, 380p, 1978.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Mobility and bioavailability of chromium in soils. In: NRIAGU, J. O.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments**. New York: J. Wiley & Sons, p. 267-304, 1988.

BORGES, M. **Extratabilidade do cádmio: influência de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo peso molecular**. 88f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J.; Redução do Cromo em Solo Suprido com lodo de Curtume e Cromo Hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência**, Viçosa, v. 5, no. 3. p. 228 a 232, 1999.

CETESB. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. Norma P4230. São Paulo, 1999.

CHANDRA, R.; YADAV, S.; MOHANB, D. Effect of distillery sludge on seed germination and growth parameters of green gram (*Phaseolus mungo* L.). **Journal of Hazar Materials**. 152, 431-439. 2008.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A. & BEAUCHAMP, C. J. Active carbon pools and enzyme activities in soils amended with de-inking paper sludge. **Canadian Journal Soil Science**. v. 80, p. 99-105, 2000.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. Efeito de adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, p. 189–191, 2001.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Org.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, p. 25-3, 1996.

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

FAVARETTO, N. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays* L.) **Brazilian Archives of Biology Technology**, v. 40, n. 4, p. 837-848, 1997.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAFESP/POTAFOS. 600 p, 2001.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 991-996, 1999.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.569-77, 2004.

GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P. & POLO, A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1907-1913, 2000.

GHERI, E. O. **Resposta de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia à aplicação de soro ácido de leite**. 2002. 33p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

JEZIEWSKA-TYS, S.; FRAC, M. Enzymatic activity in gray-brown podzolic soil enriched with sewage sludge from a dairy plant. **Polish Journal of Soil Science**, v. 39, p. 33-42, 2006.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrente da adição do lodo de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.257-265, 2002.

LAKE, D. L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J. N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, v.2, p.91-130. 1987.

LANYON, L. E.; HEALD, W.R. Magnesium, calcium and barium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA, pt.2, p.247-260, 1982.

LINDAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.42, p.421-8, 1978.

MARTINES, A. M.; NOGUEIRA, M. A.; SANTOS, C. A.; NAKATANI, A. S.; ANDRADE, C. A.; COSCIONE, A. R.; CANTARELLA, H.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Ammonia volatilization in soil treated with tannery sludge. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4690-4696, 2010.

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**. 2.ed. Madison: ASA, Pt.2, p.199-223, 1982.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 312p. 2000.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V.P. O uso agrícola do bio sólido e as propriedades do solo. 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. (Ed.s). **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, p.289-363. 2001.

OLIVEIRA, R. C. **Contaminação do solo por alguns resíduos de curtume**. 137f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. São Paulo: CETESB. , 2009.

PERUCCI, P. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. **Biology and Fertility of Soils**, v. 14, p. 54-60, 1992.

SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAÚJO, A. S. F. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass in two different soils. **European Journal of Soil Biology**, v.1, p.146-151, 2011.

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

SILVEIRA, I. C. T.; ROSA, D.; MONTEGGIA, L. O.; ROMEIRO, G. A.; BAYER, E.; KUTUBUDDIN, M. Low temperature conversion of sludge and shavings from leather industry. **Water Science and Technology**, v.46, p.277–283. 2002.

SOUZA, C. A.; Reis Junior, F. B.; Mendes, I. C.; Lemainski, J.; Silva, J. E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1319-1327, 2009.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil**. Canada, John Wiley & Sons, 380p. 1986.

STEVENSON, F. J. Organic matter reactions involving metal íons in soil. In: STEVENSON, F. J. **Humus chemistry genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, p. 337-354. 1982.

SULLIVAN, T. S.; STROMBERGER, M. E.; PASCHKE, M. W.; IPPOLITO, J. A. Long-term impacts of infrequent biosolids applications on chemical and microbial properties of a semi-arid rangeland soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.42, p.258-266, 2006.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio sólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 5, pp. 1173-1184, 2007.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade dos solos**. Edit. Andre. São Paulo-SP. 2007.

United States Department of Agriculture (USDA). **Manual for Composting of Sewage Sludge by the Beltsville Aerated-pile Method**. USDA-EPA, p. 65, 1980.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Test method for evaluating solid wastes**. Report Number SW-846, Washington, DC, p. 255, 1986.

VALSECCHI, G.; GIGLIOTI, C.; FARINI, A. Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 20, p. 253-259, 1995.

VAZ, L. M. S. & GONÇALVES, J. L. M. Uso de bio sólidos em povoamento de eucalipto: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 747-758, 2002.

CAPÍTULO II

PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI APÓS DOIS ANOS DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO

RESUMO

O presente trabalho foi realizado em campo experimental com o objetivo de avaliar os teores de Cr, Cd, Ni e Pb em folhas e grãos do feijão cultivado em solo tratado com lodo de curtume compostado por dois anos consecutivos e seus efeitos na produtividade. Os experimentos foram realizados em 2009 e 2010 em parcelas de 10 m² cultivando-se feijão-caupi, com aplicação de LCC nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Dois tratamentos adicionais foram incluídos com testemunha sem aplicação e fertilização mineral com N, P e K. As doses de 20 e 40 Mg ha⁻¹ de LCC promoveram um aumento significativo nos teores de Cr nas folhas do feijão-caupi em relação ao controle sem aplicação. Não houve aumentos nos teores de Ni, Cd e Pb, nas folhas, após dois anos de aplicações sucessivas do LCC. O acúmulo de metais nos grãos mostra que, no primeiro ano, não houve aumento nos teores de metais pesados pela aplicação do LCC. O uso do LCC não proporcionou aumentos significativos na produtividade de grãos, em comparação com a testemunha e a fertilização química, no primeiro ano. No segundo ano de aplicação, observou-se um aumento significativo da produtividade de grãos pelo uso do LCC nas doses de 20 e 40 Mg ha⁻¹. Os resultados mostraram que a aplicação sucessiva do lodo de curtume compostado aumentou a produtividade de grãos do feijão-caupi. Ni, Cd e Pb apresentaram teores estatisticamente iguais entre os tratamentos. Nos grãos, os teores de Cr, Ni e Pb foram significativamente iguais entre os tratamentos no segundo ano; Os teores de Cd foram elevados com a dose de 20 Mg ha⁻¹.

Palavras-chave: Feijão-caupi, resíduo industrial, compostagem, metais pesados, produtividade.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização tem ocasionado a geração cada vez maior de resíduos orgânicos potencialmente poluentes (ARAÚJO et al. 2007). Dentre estes, aproximadamente um milhão de toneladas de resíduos do processamento do couro, comumente conhecidos por lodo de curtume, são dispostos no ambiente (SILVEIRA et al. 2002). O principal método de disposição do lodo de curtume é em aterros sanitários sendo considerado um inviável, em longo tempo, em virtude do alto custo de manutenção e possibilidade de contaminação ambiental (CHANDRA et al. 2008).

Por outro lado, o uso agrícola direto de lodo de curtume tem sido avaliado em culturas perenes e anuais (ANDREOLI et al. 1999; BETTIOL & CAMARGO, 2000; BORGES et al. 2007; TEIXEIRA et al. 2006). Geralmente, os resultados têm demonstrado efeitos positivos do uso do lodo de curtume no aumento do desenvolvimento e produtividade das culturas, principalmente em relação à adubação mineral.

Entretanto, devido à composição química do lodo de curtume e ao risco associado com o uso direto no solo, a compostagem vem sendo proposta como uma forma alternativa de tratamento (ARAÚJO et al. 2005). Durante a compostagem os nutrientes presentes nesses resíduos são convertidos pela ação dos microrganismos em formas solúveis disponíveis para as plantas (NDEGWA & THOMPSON, 2001). Além disso, pode também diminuir ou eliminar a toxicidade do resíduo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2005).

Na avaliação de resíduos industriais compostados para uso agrícola deve-se levar em consideração, dentre outros fatores, o acúmulo de metais pesados, no solo e na planta, após aplicações sucessivas do resíduo (KAPANEN & ITAVAARA, 2001).

Nas plantas, o acúmulo de metais pesados pode ocorrer sem que haja manifestação de sintomas de toxicidade e prejuízo para a produção das culturas (JEEVAN RAO & SHANTARAN, 1996); Portanto, quantificar o conteúdo destes elementos nas plantas é essencial para a avaliação do impacto ambiental do uso do resíduo.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade do feijão-caupi e o acúmulo de elementos traços na planta após dois anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Teresina-PI.

O solo da área é classificado como Neossolo flúvico, tendo as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo.

Parâmetros	Solo do experimento
Areia (g kg ⁻¹)	61.3
Silte (g kg ⁻¹)	28.5
Argila (g kg ⁻¹)	10.2
pH	7,15
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	12,2
P (mg dm ⁻³)	8,04
K (mg dm ⁻³)	0,06
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,76
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,37

O Lodo de Curtume utilizado foi obtido no Curtume Europa, localizado no município de Teresina-PI. A pilha de compostagem foi constituída de lodo de curtume misturado com bagaço de cana e esterco bovino na proporção de 1:1:3 (V:V:V). O processo de compostagem foi conduzido por 85 dias, pelo método de pilhas revolvidas (USDA, 1980). As características do lodo de curtume compostado (LCC) foram determinadas pelo Método EPA 3051 (USEPA, 1986) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização do LCC utilizado no experimento.

Parâmetros	LCC	Valor referencia*
Umidade a 65°C (%)	42,7	-
C _{org} (g kg ⁻¹)	187,5	-
N (g kg ⁻¹)	1,28	-
P (g kg ⁻¹)	4,02	-
K (g kg ⁻¹)	3,25	-
Ca (g kg ⁻¹)	95,33	-
Mg (g kg ⁻¹)	6,80	-
S (g kg ⁻¹)	9,39	-
Cu (mg kg ⁻¹)	17,80	4.300
Fe (mg kg ⁻¹)	5.171,60	-
Mn (mg kg ⁻¹)	1.848,7	-
Zn (mg kg ⁻¹)	141,67	7.500
Mo (mg kg ⁻¹)	9,28	-
Ni (mg kg ⁻¹)	21,92	420
Cd (mg kg ⁻¹)	2,87	85
Cr (mg kg ⁻¹)	2.255,0	3.000
Pb (mg kg ⁻¹)	42,67	75

*CETESB (1999).

As doses de LCC utilizadas foram 0 (controle), 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Um tratamento adicional foi incluído com adubação completa (NPK) de 80, 60 e 40 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A adubação com P e K foi realizada no

plantio, enquanto que o N foi parcelado em duas vezes (plantio com 20 kg de N e cobertura aos 30 dias com 60 kg de N).

As aplicações do LCC foram realizadas em parcelas com 2 m x 5 m. Após 10 dias da aplicação do LCC, o feijão-caupi, cultivar BR17-Gurguéia, foi semeado em cada ano, em espaçamento 0,5 m x 0,2 m, formando um stand de 100 plantas, sendo consideradas como parcela útil as duas fileiras centrais.

As avaliações foram realizadas aos 40 e 60 dias após a emergência das plantas. Na primeira avaliação, determinou-se os teores de Cr, Cd, Ni e Pb nas folhas. Na segunda avaliação, aos 60 dias, foram determinados os teores Cr, Cd, Ni e Pb nos grãos e a produtividade, a 13% de umidade. As análises de Cr, Cd, Ni e Pb foram realizadas na UNESP, Jaboticabal, através da metodologia descrita em USEPA (1986).

O delineamento experimental adotado foi em bloco casualizado 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 Sisvar – Versão 5.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de elementos traços nas folhas e nos grãos do feijão-caupi.

Os resultados mostram que as aplicações de 20 e 40 Mg ha⁻¹ de LCC aumentaram significativamente os teores de Cr nas folhas em relação ao controle sem aplicação (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração de Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmiio (Cd), e Chumbo (Pb) nas folhas do feijão-caupi cultivado em solo tratado com LCC em dois anos de aplicação.

Doses	Cr		Ni		Cd		Pb	
	----- (mg kg ⁻¹) -----							
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
0 Mg ha⁻¹	0,09 b	0,53 c	1,69 a	1,01 a	0,46 a	0,28 a	4,02 a	3,47 a
5 Mg ha⁻¹	0,12 b	0,69 c	1,83 a	0,82 a	0,53 a	0,27 a	4,48 a	3,35 a
10 Mg ha⁻¹	0,14 b	1,22 bc	1,96 a	0,88 a	0,53 a	0,27 a	4,85 a	3,11 a
20 Mg ha⁻¹	0,32 b	4,08 a	2,06 a	0,72 a	0,54 a	0,28 a	4,43 a	3,15 a
40 Mg ha⁻¹	2,93 a	3,42 ab	2,14 a	0,72 a	0,51 a	0,27 a	4,21 a	3,11 a
NPK	0,00 b	0,19 c	1,72 a	1,30 a	0,44 a	0,26 a	3,76 a	3,27 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

O aumento nos teores de Cr nas folhas pelas aplicações sucessivas de doses elevadas de LCC está relacionado diretamente com o conteúdo deste metal presente originalmente no resíduo (Tabela 2). Desta forma, há uma translocação do elemento das raízes e acúmulo na parte aérea (ZONTA et al. 2006). Entretanto, em doses mais baixas do LCC (5 e 10 Mg ha⁻¹), os teores de Cr nas folhas encontraram-se dentro do intervalo normal de ocorrência deste elemento nos tecidos vegetais que, segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984) situa-se entre 0,02 a 2,0 mg kg⁻¹.

Em relação ao Ni, Cd e Pb, não houve aumentos nos teores destes elementos nas folhas do feijão-caupi, após dois anos de aplicações sucessivas do LCC, indicando que a baixa concentração destes metais no resíduo original não causou aumento de absorção pelas plantas. Por outro lado, houve uma tendência de diminuição nos teores destes elementos no segundo ano de aplicação.

Os teores de Ni encontrados nas folhas do feijão-caupi não ultrapassaram o intervalo de variação normal proposto por Adriano (1986) que é 0,1 a 5 mg kg⁻¹. Entretanto, os teores deste elemento podem variar de acordo com a espécie vegetal, parte da planta e estágio fenológico, sendo considerado nível de toxicidade valores de Ni nas folhas superiores a 50 mg kg⁻¹. Em relação ao Cd e Pb os valores

observados nas folhas estão abaixo dos limites máximos de tolerância de 1 e 50 mg kg⁻¹, respectivamente (ANVISA, 1965).

Os resultados sobre o acúmulo de metais nos grãos mostram que, no primeiro ano, não houve aumento nos teores de metais pesados pela aplicação do LCC (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) nos grãos do feijão-caupi cultivado em solo tratado com LCC em dois anos de aplicação.

Doses	Cr		Ni		Cd		Pb	
	----- (mg kg ⁻¹) -----							
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
0 Mg ha⁻¹	2,55 a	1,78 a	2,14 a	2,41 a	0,21 a	0,04 bc	3,04 a	0,36 a
5 Mg ha⁻¹	3,41 a	1,68 a	2,43 a	2,74 a	0,17 ab	0,01 d	3,63 a	0,02 b
10 Mg ha⁻¹	1,99 a	1,50 a	1,58 a	2,56 a	0,17 ab	0,04 bc	3,36 a	0,01 b
20 Mg ha⁻¹	1,52 a	1,23 a	1,87 a	2,33 a	0,16 ab	0,09 a	3,50 a	0,01 b
40 Mg ha⁻¹	1,25 a	1,87 a	1,47 a	2,66 a	0,16 ab	0,03 cd	3,32 a	0,00 b
NPK	1,67 a	0,78 a	1,52 a	2,27 a	0,14 ab	0,07 ab	3,41 a	0,00 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

De maneira geral, os metais pesados são pouco móveis nas plantas, especialmente o Cr, que normalmente tem sua absorção e translocação nos tecidos vegetais muito baixas, acumulando-se nas raízes (MARQUES et al., 2001). Entretanto, no segundo ano de aplicação, houve uma diminuição nos teores de Pb pela aplicação do LCC. Berton (1989) relata que, dentro da planta, alguns metais concentram-se nas raízes, não sendo assim transportados para a parte aérea e os grãos.

Os resultados mostram que o acúmulo de Ni foi maior nos grãos do que nas folhas. Estes resultados são concordantes com os de Boareto et al. (1992), que observaram, em plantas de feijão comum, teores elevados de Ni nos grãos, com

aplicação de dose de lodo de esgoto em torno de 10 Mg ha⁻¹ em relação aos teores do tratamento testemunha e do tratamento de fertilização mineral.

3.2. Produtividade do feijão-caupi.

No primeiro ano de aplicação, o uso do LCC não proporcionou aumentos significativos na produtividade de grãos, em comparação com a testemunha e a fertilização química (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade de grãos de feijão-caupi cultivado em solo tratado com lodo de curtume compostado.

Doses	Produtividade (t ha ⁻¹)	
	2009	2010
0 Mg ha ⁻¹	1,74 a	0,54 c
5 Mg ha ⁻¹	1,51 a	0,94 bc
10 Mg ha ⁻¹	1,47 a	1,26 abc
20 Mg ha ⁻¹	1,33 a	2,09 a
40 Mg ha ⁻¹	1,52 a	1,62 ab
NPK	1,59 a	0,49 c

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Os resultados encontrados neste trabalho indicaram que a aplicação do LCC melhorou o estado nutricional das plantas. Resultados semelhantes foram observados por Nascimento et al. (2004) em milho e feijão cultivados em solo com aplicação de lodo de esgoto.

Entretanto, no segundo ano de aplicação, observou-se um aumento significativo da produtividade de grãos pelo uso do LCC nas doses de 20 e 40 Mg

ha⁻¹. Isto indica que a composição química do LCC em macro e micronutrientes pode ter favorecido o aumento de produtividade. Maiores produções de grãos em feijão-comum, com doses de adubos orgânicos foram relatados por Galbiatti et al. (1996) que analisou os efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral.

Silva et al. (2002), avaliaram o efeito residual do lodo de esgoto na produtividade de milho e observaram que a aplicação do resíduo aumentou a produção da cultura.

Geralmente, os incrementos de produtividade proporcionados por resíduos orgânicos são visualizados em longa duração em virtude da liberação lenta de nutrientes através da mineralização (MARCHESINI et al. 1988; SMITH & HADLEY, 1989).

4. CONCLUSÕES

A aplicação sucessiva do lodo de curtume compostado aumentou a produtividade de grãos do feijão-caupi nas doses de 20 e 40 Mg ha⁻¹ no segundo ano. Os teores de Cr nas folhas, no segundo ano, foram elevados nas doses de 20 e 40 Mg ha⁻¹; Ni, Cd e Pb apresentaram teores estatisticamente iguais entre os tratamentos. Nos grãos, os teores de Cr, Ni e Pb foram significativamente iguais entre os tratamentos no segundo ano; Os teores de Cd foram elevados com a dose de 20 Mg ha⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Spring, 533p. 1986.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 288p. 1999.

ANVISA. Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.htm. Acesso em: 16/03/2010.

ARAÚJO, A. S. F. de.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of textile sludge composted on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 5, p 1028-1032, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. **Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, p. 549-554, 2005.

ARAÚJO, A. S. F., Monteiro, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**. v.62, p.286-290, 2005.

BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A. & VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.187-192, 1989.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312p. 2000.

BOARETO, A. E.; MURUAKA, T.; NACAGAWA, J.; CHITOLINA, J. C. Níquel e cádmio em grãos de feijão produzidos em solo adubado com lodo de esgoto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20. Piracicaba, 1992. **Adubação, produtividade, ecologia**: Anais, Piracicaba: SBCS, P.100-401. 1992.

BORGES, J. D.; BARROS, R. G.; SOUZA, E. R. B. de; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA, I. P. de; CARNEIRO, M. de F.; NAVES, R. V.; SONNENBERG, P. E. Teores de micronutrientes nas folhas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 1-6, Apr./June 2007.

CETESB. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. Norma P4230. São Paulo, 1999.

CHANDRA, R.; YADAV, S.; MOHANB, D. Effect of distillery sludge on seed germination and growth parameters of green gram (*Phaseolus mungo* L.). **Journal of Hazardous Materials**. 152, 431-439. 2008.

GALBIATTI, J. A.; GARCIA, A.; SILVA, M. L.; MASTROCOLA, M. A.; CALDEIRA, D. S. A. Efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a duas lâminas de água por meio de irrigação por sulco. **Científica**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 63-74, 1996.

JEEVAN RAO, K. & SHANTARAM, M. V. Effect of urban solid wastes on dry matter yield, uptake of micronutrients and heavy metals by maize plants. **Journal of Environmental Biology**. v.17, p.25-32, 1996.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRC, Florida. 315 p. 1984.

KAPANEN, A.; ITÄVAARA, M. **Ecotoxicity Tests for Compost Applications**. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 49, p. 1-16, 2001.

MARCHESINI, A.; ALLIEVI, L.; COMOTTI, E.; FERRARI, A. Long-term effects of quality-compost treatment on soil. **Plant and Soil**, v. 106, p. 253-261, 1988.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; 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**. São Paulo: SABESP, p.365-403. 2001.

NASCIMENTO, C. W. A. do; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. de; OLIVEIRA, A. B. de. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting. In: Obbard, J.P., Jones, K.C., 1993. **The effect of heavy metals on dinitrogen fixation by Rhizobium-white clover in a range of long-term sewage sludge amended and metal contaminated soils**. Environmental Pollution. v. 79, p.105–112. 2001.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. & SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:487-495, 2002.

SILVEIRA, I. C. T.; ROSA, D.; MONTEGGIA, L. O.; ROMEIRO, G. A.; BAYER, E.; KUTUBUDDIN, M. Low temperature conversion of sludge and shavings from leather industry. **Water Science and Technology**, v.46, p.277–283. 2002.

SMITH, S. R.; HADLEY, P. A comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers: their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune). **Plant and Soil**, v. 115, p. 135-144, 1989.

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, 2006.

United States Department of Agriculture (USDA). **Manual for Composting of Sewage Sludge by the Beltsville Aerated-pile Method**. USDA-EPA, p. 65. 1980.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Test method for evaluating solid wastes**. Report Number SW-846, Washington, DC, p. 255. 1986.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 355-3. 2006.