



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

WILON PINHEIRO GUIMARÃES

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO POR TRÊS ANOS CONSECUTIVOS DE
LODO DE CURTUME COMPOSTADO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO
VERDE**

**TERESINA – PI
2013**

WILON PINHEIRO GUIMARÃES

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO POR TRÊS ANOS CONSECUTIVOS DE
LODO DE CURTUME COMPOSTADO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO
VERDE**

TERESINA - PI

2013

WILON PINHEIRO GUIMARÃES

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO POR TRÊS ANOS CONSECUTIVOS DE
LODO DE CURTUME COMPOSTADO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO
VERDE**

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

ORIENTADOR: PROF. DR. ADEMIR SÉRGIO FERREIRA DE ARAÚJO

TERESINA-PI

2013

“ É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitórias nem derrotas”.

(Theodore Roosevelt)

A minha querida mãe, Solimar Rodrigues Pinheiro,
Aos meus irmãos Washington, Normândia, Roberta, Jorge e Dodô (*in memoriam*)
Aos meus filhos, Miquéias, Pedro Gabriel e Joana
Aos meus amigos, Agenor Rocha, João Silvestre, Leandra Silvestre, Hugo Henrique, Ramon Rêgo

OFEREÇO

A minha namorada, Carla Caroline por todo
Companheirismo e amor a mim dedicados.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meus caminhos e permitir alcançar mais esta conquista.

A minha mãe Solimar Rodrigues Pinheiro, que me ensinou a lutar pelo que acredito e a dar valor as coisas simples da vida.

Aos meus irmãos, Washington, Normândia, Roberta, Jorge e Dodô (in memoriam) pelo apoio e confiança ao longo da vida.

A tia Maria Emilia Rodrigues Pinheiro pelo apoio e incentivo nas dificuldades enfrentadas.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelo conhecimento e formação.

Ao Prof^o. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo, pela oportunidade, ao aceitar-me como orientado, e pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela colaboração, nobreza e profissionalismo na condução do conhecimento.

Aos amigos do refúgio Agenor Rocha, João Silvestre, Hugo Henrique, Ramon Rêgo e Leandra Silvestre pela ajuda e companheirismo nos momentos difíceis.

À família Silvestre por todo apoio ao longo de todos esses anos de amizade.

A amiga Dorotéia Maçal pelo apoio e colaboração, durante a realização do trabalho.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Natália, Alane, Francisco Leonardo, Sabrina, Sulimary, Eliana, Katarina, Emerson, Mauricio, Raimundo, Paulo, Borgim, Kadson, Vânia e Leonardo, pela parceria e alegria durante a realização desta importante etapa profissional.

Ao bolsista Lenildo Tavares de Sousa, pelo auxílio e contribuição na condução do experimento.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vicente de Sousa Paulo, pela atenção e disponibilidade em ajudar.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Uso agrícola do lodo de curtume	2
2.2. A compostagem do lodo de curtume	3
2.3. Caracterização da cultura	3
2.4. Efeito residual do lodo sobre o milho	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Localização e condições edafoclimáticas da região do estudo.....	9
3.2 Características do composto do lodo de curtume	9
3.3 Características do solo	10
3.4 Tratamentos e condução experimental	11
3.5 Variáveis avaliadas	13
3.5.1 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta (52DAE).....	13
3.5.1.1 Altura de plantas	13
3.5.1.2 Diâmetro de colmo	13
3.5.1.3 Teor de clorofila nas folhas	13
3.5.1.4 Avaliação da concentração de elementos-traço nas folhas	14
3.5.2 Características relacionadas ao desenvolvimento produtivo (79 DAE).....	15
3.5.2.1 Comprimento de espigas comerciais empalhadas e despalhadas	15
3.5.2.2 Diâmetro de espigas comerciais empalhadas e despalhadas.....	15
3.5.2.3 Número de fileiras de grãos na espiga.....	15
3.5.2.4 Massa de espigas empalhadas.....	15
3.5.2.5 Massa de espigas despalhadas.....	15
3.5.2.6 Produtividade de espigas verdes comerciais empalhadas e despalhadas.....	15
3.6 Avaliação do teor de elementos-traço nos grãos	16
3.7 Análise estatística	17

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Desenvolvimento vegetativo da planta milho	20
4.2 Desempenho produtivo do milho verde	21
4.3 Acúmulo de elementos-traço	24
4.3.1 Acúmulo de elementos-traços nas folhas.....	25
4.3.2 Acúmulo de elementos-traços nos grãos de milho verde.....	27
5 CONCLUSÕES	29
6 REFERÊNCIAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do lodo de curtume compostado (LCC) utilizado nos três anos de experimento e valores da concentração máxima permitida (CMP) pela legislação para uso agrícola.....	10
Tabela 2. Características químicas do solo antes do experimento (análise inicial) e no final do terceiro ano (2011) de cultivo.....	11
Tabela 3. Quantidades de lodo de curtume compostado (LCC) aplicados em três anos de cultivo na área experimental.....	12
Tabela 4. Resumo do quadro de análise de variância sobre os aspectos vegetativos e produtivos do milho verde em função das doses do LCC	19
Tabela 5. Resumo do quadro de análise de variância das concentrações de elementos-traço nas folhas e grãos de milho verde.	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Avaliação das características vegetativas do experimento, Teresina – 2012	14
Figura 2. Avaliação das características relacionadas ao desempenho produtivo do experimento, Teresina-PI, 2012	16
Figura 3. Altura de planta (AP), Diâmetro de colmo (D.C) aos 52 DAE de plantas de milho após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado	20
Figura 4. Comprimento de espigas empalhadas (CEE) e despalhadas (CED), diâmetro de espigas empalhadas (DEE) e despalhadas (DED) de milho verde aos 79 DAE após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado	22
Figura 5. Massa de espigas empalhadas (MEE) massa de espigas despalhadas (MED), Número de fileiras na espiga (NF), numero de espigas comerciais (NEC) de milho verde por ha ⁻¹ aos 79 DAE após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado..	23
Figura 6. Quantidade acumulada de Cr, Pb e Cd em folhas de milho após três anos de aplicações de lodo de curtume compostado	26
Figura 7. Quantidade acumulada de Cd, Ni e Pb em grãos de milho verde após três anos de aplicações de lodo de curtume compostado	28

EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO POR TRÊS ANOS CONSECUTIVOS DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE

Autor: Wilon Pinheiro Guimarães

Orientador: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

RESUMO: Em decorrência do alto teor de nutrientes associado ao poder de neutralização da acidez do solo, a utilização do lodo de curtume em sistemas agrícolas constitui-se uma alternativa sustentável para a reciclagem deste resíduo. No entanto, a presença de elementos-traço como cádmio (Cd), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e cromo (Cr), representa um fator de risco aos recursos ambientais. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito residual da aplicação de Lodo de Curtume Compostado (LCC) após três aplicações consecutivas, sobre a produtividade do milho verde e acúmulo de elementos-traço nas folhas e grãos. Os tratamentos utilizados nos dois primeiros anos (2009 e 2010) foram: 0 (controle), 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ de LCC, além de um tratamento adicional com NPK, aplicado anualmente. Em 2011 aplicou-se as doses 2,5, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹, resultando na dose acumulada de 12,5; 25; 50 e 100 Mg ha⁻¹; Na ocasião deste trabalho não foi aplicado o LCC. Aos 52 dias após a emergência (DAE), avaliou-se a altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), teor de clorofila (CLO) e os teores de Cd, Ni, Pb e Cr nas folhas. Aos 79 DAE foram determinados o comprimento de espigas empalhadas (CEE) e despalhadas (CED), diâmetro de espigas empalhadas (DEE) e despalhadas (DED), massa de espigas empalhadas (MEE) e despalhadas (MED), número de fileiras por espiga (NF), número de espigas comerciais por ha⁻¹ (NEC), além dos teores de elementos-traço nos grãos. O efeito da aplicação do LCC sobre o desenvolvimento vegetativo teve influência significativa nas variáveis AP e DC. O teor de clorofila nas folhas não foi significativo com LCC. A aplicação do LCC promoveu aumento significativo nas variáveis CEE, CED, DEE, DED, MEE, MED e NF e NEC. Os teores de Cd, Pb e Cr foram significativos nas folhas, estando o Cr acima do limite máximo permitido para tecidos vegetais. Nos grãos, o efeito das doses foi significativo para Cd, Ni e Pb. Apesar de não ser significativo estatisticamente, o teor de Cr nos grãos está acima do limite máximo estabelecido para o consumo humano. O valor Máximo estimado de NEC despalhadas foi de 22.247 espigas, obtido com a dose estimada de 103,10 Mg ha⁻¹.

Palavras-Chave: Resíduo industrial, Compostagem, elementos-traço, Lodo de Curtume

RESIDUAL EFFECT OF APPLICATION FOR THREE CONSECUTIVE YEARS OF TANNERY SLUDGE COMPOSTED ON PRODUCTIVITY OF GREEN CORN

Author: Wilon Pinheiro Guimarães
Advisor: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

ABSTRACT: In result the high nutrient content associated with power to neutralize the acidity of the soil, the use of tannery sludge in agricultural systems constitutes a sustainable alternative for recycling this waste. However, the presence of trace elements such as Cd, Ni, Pb and Cr represents a risk factor to environmental resources. This study aimed to evaluate the residual effect of Tannery Sludge composted (LCC) after three consecutive applications, on the productivity of corn and accumulation of trace elements in the leaves and grains. The treatments in the first two years (2009 and 2010) were: 0 (control), 5, 10, 20 and 40 Mg ha⁻¹ LCC, plus an additional treatment with NPK, applied annually. In 2011 we applied the doses 2, 5, 5, 10 and 20 Mg ha⁻¹, resulting in a cumulative dose of 12.5, 25, 50 and 100 Mg ha⁻¹; At the time this work was not applied the LCC. At 52 days after emergence (DAE), evaluated the plant height (PH), stem diameter (DC), chlorophyll content (CLO) and the concentrations of Cd, Ni, Pb and Cr in the leaves. At 79 DAE were determined length of cobs with husk (CEE) and husked (CED), diameter of cobs with husk (DEE) and husked (DED), weight of cobs with husk (MEE) and husked (MED), number of rows per cobs (NF), number of trade cobs per ha⁻¹ (NEC), and the concentrations of trace elements in grains. The effect of the application of LCC on vegetative growth significantly affected at the variables AP and DC. The chlorophyll content in the leaves was not significant with LCC. The application of LCC caused a significant increase in the variables CEE, CED, DEE, DED, MEE, MED and NF and NEC. The concentrations of Cd, Pb and Cr were significant in leaves, being Cr above the maximum allowed for plant tissues. Although not statistically significant, the Cr content in the grains is above the maximum limit established for human consumption. The Maximum value estimated of NEC husked was 22.247 cobs, obtained with the estimated dose of 103,10 Mg ha⁻¹.

Key words: industrial waste, composting, trace elements, tannery sludge.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se no cenário mundial como um dos maiores produtores de couro com perspectivas de crescimento acelerado em virtude do seu rebanho bovino. Entretanto, o processo de beneficiamento e curtimento do couro gera uma grande quantidade de resíduos comumente conhecidos por lodos de curtume. O lodo de curtume possui, em sua constituição original, elementos químicos, tais como os elementos-traço Cádmio (Cd), Cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb), e sua disposição direta no solo pode promover contaminação ambiental. Desta forma, torna-se necessário encontrar alternativas para disposição deste resíduo no ambiente.

Uma das alternativas que vem sendo estudada, nos últimos anos, é a compostagem do lodo de curtume e, após o processo, o seu uso agrícola como fonte de matéria orgânica e nutriente para as plantas. Contudo, há a necessidade de se avaliar o efeito de aplicações do lodo de curtume compostado (LCC) sobre o solo e as plantas, inclusive com relação ao seu efeito residual após anos de aplicação.

O LCC pode trazer benefícios para a produtividade das plantas, inclusive àquelas de importância alimentar, como o milho. A cultura é bastante responsiva aos elementos químicos presentes no solo e, desta forma, pode apresentar comportamento diferenciado pela aplicação do LCC. Além disso, o efeito residual das aplicações sucessivas deste material pode contribuir para aumentar a produtividade da cultura.

Entretanto, há a necessidade de monitorar o acúmulo de elementos-traço presentes no LCC, principalmente o cromo (Cr) por encontrar-se em grande quantidade, podendo acumular-se no solo e, conseqüentemente, translocá-lo para as plantas ocasionando o risco de entrar diretamente na cadeia alimentar humana.

A hipótese do estudo é que aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado promove um efeito residual de matéria orgânica e elementos químicos nutrientes que podem exercer efeitos positivos sobre a produtividade do milho. Por outro lado, o acúmulo de elementos-traço no solo, após três anos, pode aumentar a concentração destes elementos na planta e no grão podendo causar fitotoxidez nas mesmas.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito residual de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado, durante três anos, sobre o desenvolvimento da planta, produtividade do milho verde e o acúmulo dos elementos-traço, Cd, Cr, Ni e Pb na planta e nos grãos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso agrícola de lodo de curtume

O Brasil responde por uma produção anual de couro estimada em 44 milhões de unidades e isto corresponde a cerca de 13 % da produção mundial (CICB, 2010). A cadeia produtiva do couro constitui uma parcela importante da economia nacional movimentando anualmente 21 bilhões de dólares (CICB, 2010). No entanto, a atividade é responsável pela geração de quantidades significativas de resíduos sólidos conhecidos comumente por lodos de curtume.

O lodo de curtume é gerado após o curtimento do couro e, neste processo são usados produtos químicos tais como hidróxido de sódio, hidróxido de amônio, tenso-ativos não iônicos, bactericidas, enzimas proteolíticas, cal hidratada, sulfeto de sódio, cloreto de amônio, sulfato de amônio, ácido sulfúrico, ácido fórmico e sais de cromo (MARTINES, 2009). Desta forma, o lodo de curtume apresenta em sua composição final grandes quantidades de resíduos orgânicos e elementos químicos, tais como elementos-traço (CLASS; MAIA, 1994).

Atualmente, os métodos mais utilizados para a disposição final do lodo de curtume é o acondicionamento a céu aberto ou em aterros sanitários, os quais constituem alto risco de contaminação ambiental (COSTA et al., 2001). Na tentativa de minimizar este passivo ambiental, o lodo de curtume vem sendo estudado com o intuito de ser utilizado em sistemas agrícolas, uma vez que apresenta, em sua constituição, grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes, podendo substituir parcialmente os corretivos e fertilizantes minerais (SILVA et al., 2002a). Diversos trabalhos comprovaram a eficiência da aplicação de lodo de curtume como fertilizante e corretivo da acidez do solo (ABREU Jr. et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002; KONRAD e CASTILHOS, 2002; FERREIRA, et al., 2003; ARAÚJO, et al., 2006, GONÇALVES, 2011; SILVA, 2012).

Apesar do grande potencial do lodo de curtume para uso agrícola, sua aplicação direta no solo, pode ocasionar a contaminação deste, com risco acentuado de translocação de elementos-traço para as plantas cultivadas. Souza et al. (2005) utilizaram lodo de curtume diretamente no solo e verificaram que houve aumento significativo nos teores de elementos-traço em plantas de milho. Assim, faz-se necessário encontrar alternativas para reduzir este risco ambiental. Segundo Bertelli (2007) os resíduos provenientes de atividades industriais devem receber adequado tratamento, possibilitando sua degradação e/ou transformação de

modo que atendam padrões de qualidade sem oferecer riscos ao ambiente, a saúde e ao bem estar do homem. Desta forma a compostagem pode ser uma alternativa para a reciclagem do lodo de curtume antes da sua aplicação direta no solo.

2.2. A compostagem do lodo de curtume

A compostagem é um processo biológico realizado por microrganismos que decompõem o substrato orgânico disponibilizando nutrientes aos vegetais (KHALIL et al., 2011). Durante a compostagem há liberação de calor contribuindo para a eliminação dos microrganismos patogênicos, tornando o material mais adequado para utilização agrícola (ARAÚJO et al., 2009). De acordo com Pereira Neto (1987), a compostagem ocorre em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas, onde há elevação de temperatura; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de mineralização da matéria orgânica, originando o composto orgânico.

O composto proveniente do lodo de curtume pode promover melhorias na qualidade do solo e na produtividade das plantas, podendo reduzir os efeitos ambientais adversos do resíduo original. O lodo de curtume compostado (LCC) pode apresentar potencial de utilização como fonte de nutrientes e corretivo da acidez 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 aumentam a capacidade de troca de cátions (SOUZA et al. 2007).

Contudo, para que o LCC seja aplicado de forma segura em áreas agrícolas, é necessário definir doses de aplicação e avaliar o efeito residual do composto após anos de aplicação (HAROUN et al. , 2009).

2.3. Caracterização da cultura

O milho é uma planta monocotiledônea, da família das poáceas, cujo ciclo fenológico varia de 90 a 205 dias, dependendo do genótipo e do clima (FAGERIA, 1989; NORMAN et al., 1995; TOLLENAAR & DWYER, 1999). Por ser uma planta C4, é muito eficiente na conversão de CO₂, com altas taxas de fotossíntese líquida mesmo em elevados níveis de luminosidade. O milho tem como centro de origem o México, no entanto devido sua

facilidade de adaptação, difundiu-se por todos os continentes (FAGERIA, 1989; NORMAN et al., 1995; TOLLENAAR e DWYER, 1999).

Devido seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, o milho destaca-se por ser um dos cereais mais cultivados no mundo, responsável pela geração de empregos, tanto na atividade agrícola, como no manuseio de derivados para uma série de produtos industrializados.

O Brasil, com uma área plantada de 15,6 milhões de hectares (ha), produção de aproximadamente 77,4 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2013), é considerado o terceiro maior produtor mundial de milho. Praticamente toda a produção brasileira é consumida internamente, sendo que, cerca de 70 a 80% é destinada à produção de rações para abastecer a cadeia produtiva de aves e suínos (DUARTE et al., 2006), uma pequena parte é empregada na produção de óleo comestível, e o restante é utilizado na fabricação de produtos básicos que compõem a alimentação de um grupo significativo de pessoas, principalmente na região nordeste do país. Nesta região a produção de milho verde, constitui uma excelente alternativa para aumentar a rentabilidade da cultura por unidade de área, uma vez que a comercialização do milho, neste estado fenológico, é muito mais viável. Segundo PEREIRA FILHO (2003), a exploração de milho verde tornou-se uma excelente alternativa econômica para o produtor, por conta do bom preço de mercado, da contínua demanda pelo produto *in natura* e pela indústria de conservas alimentícias.

Embora os números relativos à produção de milho verde sejam mais modestos do que os relativos à produção de grãos, seu cultivo no Brasil cresce a cada ano devido ao valor agregado ao produto (Vieira, 2007). O mercado tem se tornado tão promissor que produtores tradicionais de milho para grãos e feijão, entre outras culturas, estão passando a explorar o milho para vender espigas verdes ou diversificando suas atividades de modo a incluí-lo entre seus cultivos (Pereira Filho, 2003). No Piauí a produção de milho verde vem crescendo consideravelmente, sendo que a sua maior produção e consumo ocorrem na região denominada Grande Teresina, formada por treze municípios piauienses e um maranhense (SEPLAN-PI, 2002).

Nesta região, o cultivo de milho verde irrigado é realizado por pequenos produtores rurais, em área média em torno de 2 hectares, com produtividade média em torno de 20-25 mil espigas verdes comerciais ha⁻¹, (ROCHA, 2008). Essa produtividade é considerada baixa diante do potencial produtivo que pode ser alcançado pela cultura. Dentre os motivos que

causam essa baixa produtividade, destaca-se o manejo incorreto do N, que geralmente é aplicado em quantidades insuficientes.

Este nutriente é absorvido em maior quantidade pelo milho e o que mais influencia na resposta em produtividade, sendo o insumo que mais onera o custo de produção da cultura (AMADO et al., 2002). Segundo Machado et al. (1998), os fertilizantes nitrogenados representam 75% dos custos da adubação do milho, o que corresponde a cerca de 40% dos custos totais de produção da cultura. Para se determinar a lucratividade e o correto manejo da aplicação de N, é necessário analisar o estado nutricional da planta, como meio de alcançar a produtividade esperada por unidade de área.

O teor de clorofila na folha é utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio (N) em plantas, devido esse pigmento correlacionar-se positivamente com o teor de N na planta (Piekielek e Fox, 1992; Smeal e Zhang, 1994; Booij et al., 2000). Essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas é integrante de enzimas (Chapman e Barreto, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (Stocking e Ongun, 1962).

Na avaliação das características agrônomicas para produtividade em milho verde, os parâmetros mais utilizados são: altura de plantas, diâmetro de colmo, e massa de espigas comerciais empalhadas e despalhadas; comprimento de espigas comerciais empalhadas e despalhadas; diâmetro de espigas comerciais empalhadas e despalhadas, percentagem de espigas comerciais empalhadas e despalhadas (ROCHA, 2008). Paiva Junior et al. (2001), consideram que deva ser dada maior ênfase ao peso de espigas comerciais despalhadas, pois essas são as espigas que realmente são comercializadas. Os autores entendem por espigas comerciais despalhadas aquelas maiores de 15 cm de comprimento e diâmetro superior a 3,5 cm. As espigas empalhadas deverão ter comprimento maior que 25 cm e diâmetro superior a 5 cm, bem granadas e sem evidências de ataques de pragas e doenças.

A utilização do CLC em substituição parcial ou total ao N mineral na produção do milho verde pode ser uma alternativa sustentável em Teresina-PI, uma vez que é uma prática economicamente viável e ambientalmente correta.

2.4 Efeito residual do lodo sobre o milho

A aplicação de lodo de curtume visando aumentar a eficiência do processo produtivo em sistemas agrícolas tem sido estudada em diversas culturas, dentre elas o milho, mostrando

resultados positivos da aplicação deste material (LOURENÇO et al., 1995; BISCAIA E MIRANDA, 1996; PEREIRA et al., 1997; SILVA et al., 2002). No entanto devido à presença de elementos-traço, deve-se ter o cuidado de monitorar o solo e as culturas avaliando-se os efeitos do uso prolongado deste resíduo.

A aplicação de resíduos urbanos e industriais tem sido recomendada para culturas perenes e anuais, desde que as partes comestíveis não tenham contato direto com o resíduo aplicado (ANDREOLI et al. 1999; BETTIOL e CAMARGO, 2000). A cultura do milho obedece a esse pré-requisito. Trabalhos realizados demonstraram que há um incremento considerável na produtividade do milho, quando realiza-se aplicação de resíduos industriais (BISCAIA e MIRANDA, 1996; SILVA et al. 2002). O efeito residual das aplicações de lodos pode trazer respostas positivas sobre a cultura do milho. Borges (2003) aplicou lodo de curtume por três anos consecutivos e após este período realizou plantio de milho. O autor encontrou um aumento de até 71% no aporte de N nas folhas das plantas nas parcelas que receberam a maior dose do lodo de curtume em relação à testemunha. Gomes et al. (2007) ao avaliar a produtividade do milho em solo adubado com lodo de esgoto, observaram que a produção de grãos aumentou em função das doses de lodo até a aplicação de 26 t ha⁻¹ a qual proporcionou a máxima eficiência agrônômica.

Biscaia e Miranda (1996) avaliaram a importância da adição de lodo para o incremento do potencial produtivo do solo e nutrição das plantas, onde os mesmos ressaltam que a aplicação do lodo possibilita um aumento significativo da produtividade das culturas testadas. Em trabalho conduzido em um latossolo vermelho eutroférico, Andreoli (1999) observou maior produtividade na cultura do milho em tratamentos em que se utilizou lodo de esgoto na dose de 18 t ha⁻¹, em relação àqueles com adubação mineral e à testemunha.

No entanto, apesar dos resultados positivos encontrados para produtividade, a concentração e o comportamento dos elementos-traços nas diferentes partes da planta apresentam respostas diferenciadas. Souza et al. (2005) avaliaram os teores de Cr nas plantas de milho e observaram que à medida que aumentou-se a dose do elemento, via lodo de curtume, aumentou a sua absorção. Por outro lado, Anjos e Mattiazzo (2000) e Merlino (2010) não diagnosticaram a presença de elementos-traço nas folhas das plantas de milho após aplicação de lodo de esgoto.

Ao estudar as concentrações de Pb em folhas de milho, (RANGEL et al. 2006; TRANNIN et al. 2005), observaram redução significativa na concentração deste elemento com a elevação das doses do resíduo. Em ambos os trabalhos ocorreu redução dos teores de

Pb com o aumento das doses do resíduo, esses atribuíram o fenômeno à maior concentração de matéria orgânica presentes nas maiores doses do resíduo, bem como pela presença de óxidos e hidróxidos de Fe, Mn, uma vez que estes podem imobilizar elementos-traço com força superior à que é envolvida no mecanismo de absorção (MARQUES et al., 2002). Segundo ADRIANO, (1986), a translocação de Pb das raízes para a parte aérea das plantas é limitada, de modo que este, tende a concentrar-se nas raízes na forma de compostos insolúveis, diminuindo o transporte para a parte aérea.

De acordo com estudos realizados por Malavolta, (1994), o Ni, é um elemento facilmente absorvido quando presente no solo, sendo bastante móvel na planta, porém à medida que se eleva os valores de pH, sua absorção pelos vegetais é reduzida. Segundo Ferreira, et. al. (2001), a elevação do pH do solo reduz a absorção dos elementos traços pelas plantas, devido à menor mobilidade do mesmo. Essa característica varia de acordo com as particularidades do elemento-traço em questão, que geralmente é bastante influenciada pelas características do meio em que se encontra (MERLINO, 2010), sendo que o pH e o potencial de oxidação, são os fatores que mais influenciam a mobilidade de um elemento no perfil do solo (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 1992).

Ao estudar o comportamento do mesmo elemento após a aplicação de resíduos com elevadas cargas de matéria orgânica, (MARQUES et al., 2002), observou que, este aumento no solo, pode contribuir para a complexação de elementos-traço, reduzindo sua mobilidade, concentrando-se maiores quantidades nas camadas superficiais ao longo do perfil do solo, ocasionando menor absorção pela planta.

Quando se pretende utilizar determinado resíduo industrial com a finalidade de nutri plantas, deve-se estudar o efeito da aplicação ao longo dos anos, principalmente a translocação de elementos-traço para os grãos que deve ser monitorada constantemente, uma vez que a concentração encontrada nesta parte da planta é quem vai determinar se o produto poderá ou não ser consumido. Neste sentido, ao estudar a concentração de elementos-traço em grãos de milho, Merllino et al. (2010), detectaram teores de Cr em pequenas quantidades, após onze anos de aplicações de resíduos industriais. Ao avaliar o teor de Pb em grãos de milho, Silva et al. (2006) detectaram pequenas concentrações do elemento após três aplicações consecutivas de lodo de esgoto.

Rangel et al. (2006) encontraram resultados semelhantes em grãos de milho após o segundo e terceiro ano de experimento, onde os tratamentos que receberam as doses de lodo de esgoto não diferiram estatisticamente da testemunha. A baixa concentração dos elementos-

traços encontrada nos grãos de milho, nos referidos trabalhos, deve-se à elevação do pH do solo que promove a precipitação destes elementos na forma de hidróxidos, fosfatos e carbonatos, bem como de complexos insolúveis com a matéria orgânica, limitando o acúmulo nos grãos (MELO et al. 2002).

Nesse contexto, a aplicação do LCC como corretivo e fertilizante na produção de milho, tem mostrado resultados positivos, porém necessita-se avaliar o comportamento dos elementos-traço no sistema solo-planta, com aplicações sucessivas deste material.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização das condições edafoclimáticas da região do estudo

O experimento foi conduzido em campo experimental do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina-PI, cujas coordenadas geográficas correspondem à (05°02' latitude S e 42°47' de longitude W) e altitude de 52 m, no período de novembro de 2011 a fevereiro de 2012. O clima da região, conforme o método de Thornthwaite e Mather (1955), é C1sA', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, apresentando excedente hídrico moderado no verão. As médias anuais de umidade relativa e precipitação são de 72,6% e 1.336 mm, respectivamente, sendo que a maioria das precipitações ocorrem nos meses de janeiro a abril (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2008).

3.2 Características do composto de lodo de curtume

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

O processo de compostagem foi conduzido durante 85 dias, utilizando-se o método de pilhas revolvidas (USDA, 1980). Ao final do processo foram retiradas amostras em três pontos da pilha para avaliação de pH, umidade, matéria orgânica e elementos químicos (Tabela 1). As características do LCC foram determinadas pelo método USEPA (United State of Environmental Protection Agency) 3051 (USEPA, 1986) e realizadas no Departamento de Tecnologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, SP.

Tabela 1. Características químicas do composto lodo de curtume (LCC) utilizado nos três anos de experimento e valores da concentração máxima permitida (CMP) pela legislação para uso agrícola.

Parâmetro	LCC			CMP ⁽³⁾
	2009 ⁽¹⁾	2010 ⁽²⁾	2011	
pH	7,8	7,2	7,5	-
Umidade (%)	42,7	49,0	45,8	-
Corg (g kg ⁻¹)	187,5	195,3	201,2	-
N (g kg ⁻¹)	1,28	1,39	1,51	-
P (g kg ⁻¹)	4,02	3,83	4,91	-
K(g kg ⁻¹)	3,25	3,51	2,90	-
Ca (g kg ⁻¹)	95,33	84,28	121,18	-
Mg(g kg ⁻¹)	6,80	5,71	7,21	-
S (g kg ⁻¹)	9,39	8,43	10,20	-
Cu (mg kg ⁻¹)	17,80	19,51	16,38	1.500
Fe (mg kg ⁻¹)	5.171	4.932	4.972	-
Mn(mg kg ⁻¹)	1.848	1.958	1.738	-
Zn (mg kg ⁻¹)	141,67	128,31	127,81	2.800
Mo(mg kg ⁻¹)	9,28	14,87	8,71	-
Ni(mg kg ⁻¹)	21,92	28,61	23,26	420
Cd(mg kg ⁻¹)	2,87	3,93	1,93	39
Cr (mg kg ⁻¹)	2.255	2.581	1.943	1.000
Pb(mg kg ⁻¹)	42,67	38,54	40,31	300

⁽¹⁾e ⁽²⁾ GONÇALVES, (2011). ⁽³⁾ Conselho Nacional do meio Ambiente (CONAMA, 2006).

3.3 Caracterização do solo

O solo da área onde foi realizado o estudo é classificado como Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006) com textura franco arenoso. As Características químicas do solo antes do

experimento (análise inicial) e após o terceiro ano de aplicação do LCC estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do solo antes do experimento (análise inicial) e no final do terceiro (2011) ano de cultivo.

Tratamento ⁽¹⁾ (Mg ha ⁻¹)	Parâmetros									
	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	Cr	Cd	Ni	Pb
	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			-----mg kg ⁻¹ -----		
	Análise inicial ⁽³⁾									
	6,6	12,2	8,04	23,5	1,76	0,37	3,15	0,04	1,28	1,40
	-----2011-----									
0	6,6	17,88	2,97	46,8	1,19	0,36	6,73	0,06	0,66	1,94
2,5	6,6	17,12	3,64	35,2	1,36	0,46	11,7	0,05	0,66	1,81
5	7,1	18,4	4,17	31,3	1,45	0,32	16,7	0,07	0,73	1,94
10	7,1	18,34	4,10	31,3	1,50	0,23	20,6	0,06	0,65	1,91
20	7,5	18,18	3,04	19,5	1,56	0,17	32,7	0,06	0,62	2,15
NPK	6,4	16,64	4,32	27,4	1,18	0,36	8,60	0,05	0,59	1,81

⁽¹⁾Doses acumuladas de LCC em três anos. ⁽²⁾ Adubação mineral. ⁽³⁾ e ⁽⁴⁾ GONÇALVES, (2011).

A análise do solo foi realizado conforme Embrapa (2005). O pH do solo foi determinado em água (relação solo:água de 1:2,5) por potenciômetro. O cálcio e o magnésio foram extraídos com cloreto de potássio e analisados por titrimetria com o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). O potássio trocável e o fósforo disponível 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 e calorimetria, respectivamente. Os conteúdos de Cr, Ni, Cd e Pb foram determinados pelo método utilizado pela USEPA (1998), método 3050, e extraível pelo método DTPA-TEA (LYNDSAY & NORWELL, 1978).

3.4 Tratamentos e condução experimental

Nos anos de 2009, 2010 e 2011, a área experimental foi cultivada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivar BR 17-Gurguéia. Nesta área o LCC foi aplicado, em 2009 e

2010, nas doses de 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹. Em 2011, o LCC foi aplicado nas doses de 0, 2,5, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹. As taxas acumuladas de LCC, após três anos de aplicação, foram de 0, 12,5, 25, 50 e 100 Mg ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidades do lodo de curtume compostado (LCC) aplicados em três anos de cultivo na área experimental.

Dose	LCC			Acumulado
	2009 ⁽¹⁾	2010 ⁽²⁾	2011	
	------(Mg ha ⁻¹)-----			
D ₀	0	0	0	0
D ₁	5	5	2,5	12,5
D ₂	10	10	5	25
D ₃	20	20	10	50
D ₄	40	40	20	100

D₀- dose controle; D₁,D₂,D₃e D₄- doses crescentes de LCC.^{(1) e (2)} GONÇALVES, (2011).

A aplicação do LCC na área, em 2009, 2010 e 2011, foi realizada a lanço de maneira uniforme nas parcelas com dimensões de 2,60 x 5 m e em seguida incorporado ao solo com enxada a uma profundidade média de 0,20 m. No presente trabalho avaliou-se o efeito residual do LCC sobre a cultura do milho. As parcelas experimentais foram semeadas com milho (híbrido duplo AG 10 51 de ciclo semi precoce), em que utilizou-se duas sementes por cova. O desbaste foi feito dez dias após o plantio, deixando-se uma planta por cova, o espaçamento utilizado foi 0,65 x 0,33 m, formando um *stand* de 60 plantas por parcela, sendo considerada como parcela útil as duas fileiras centrais da parcela, destacando-se as plantas contidas no espaço de 0,5 m no início e no fim das linhas úteis.

Quando necessário, utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão convencional com turno de rega diário, aplicando-se uma lâmina d'água crescente de acordo com a exigência hídrica da cultura nos diferentes estágios fisiológicos, atingindo uma lâmina de 8 mm na fase de maior exigência da cultura.

Como referencia utilizou-se um tratamento adicional com adubação mineral completa. Para isso foi realizada aplicação 150 kg de N ha⁻¹, na forma de uréia; 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples e 120 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. Na semeadura aplicou-se 20 kg ha⁻¹ de N, 120 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 Kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação

de cobertura com N foi parcelada em duas doses iguais de 65 kg ha^{-1} , aplicando-se a primeira dose quando as plantas estavam com 4 folhas definitivas e a segunda, quando as mesmas estavam com 8 folhas definitivas. A adubação potássica de cobertura foi realizada em uma única vez, na dose de 60 Kg ha^{-1} de K_2O , por meio do cloreto de potássio, juntamente com a uréia, na primeira adubação de cobertura.

Durante o desenvolvimento do milho foram realizadas sempre que necessário, capinas manuais, deixando as parcelas livres de plantas invasoras bem como aplicações de produtos fitossanitários, visando o controle de insetos.

3.5. Variáveis avaliadas

3.5.1 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta

3.5.1.1 Altura de plantas:

A altura das plantas foi avaliada aos 52 dias após a emergência (DAE), onde utilizou-se uma régua graduada em centímetros, as medidas foram realizadas em 5 plantas da parcela útil tomadas ao acaso, tomando-se por base a distância da superfície do solo até a extremidade do pendão.

3.5.1.2 Diâmetro do colmo:

O diâmetro de colmo foi avaliado aos 52 DAE, onde utilizou-se um paquímetro graduado em milímetros, as medidas foram realizadas em 5 plantas da parcela útil tomadas ao acaso, sendo o caule (colmo) medido a 0,20 m de altura do solo, (ROCHA, 2008).

3.5.1.3 Teor de clorofila nas folhas:

O teor de clorofila foi determinado aos 52 DAE, com a utilização de um clorofilômetro portátil (ClorofiLOG); As leituras foram realizadas na nona folha totalmente expandida (SILVA et al., 2003), sendo os pontos de leitura situados na base, na metade, a dois terços do comprimento da folha amostrada e a 2 cm de uma das margens da folha.



Figura 1. Avaliação das características vegetativas do experimento, Teresina – 2012.

3.5.1.4 Avaliação da concentração de elementos-traço nas folhas:

A avaliação da concentração dos elementos-traços Cr, Cd, Ni e Pb nas folhas foi realizada aos 52 (DAE), período correspondente ao estágio fenológico início do florescimento (V T) (FORNASIERI FILHO, 2007). Para a determinação do teor de elementos-traço nas folhas, foram escolhidas 5 (cinco) plantas aleatoriamente dentro de cada parcela útil, utilizando-se um estilete cortou-se a nona folha de cada uma das plantas. Posteriormente as folhas foram colocadas em saco de papel e submetidas à secagem em estufa com temperatura controlada (60 °C) até completa desidratação. As amostras foram enviadas para o laboratório da FCAV da UNESP em Jaboticabal-SP, onde foram realizadas as análises conforme procedimento descrito em USEPA-3050 (1986).

3.5.2 Características relacionadas ao desempenho produtivo

3.5.2.1 Comprimento de espigas comerciais empalhadas e despalhadas:

As medições foram realizadas logo após a colheita aos 79 DAE, tomando-se 5 espigas ao acaso dentro da parcela útil, utilizando-se uma régua graduada em centímetros.

3.5.2.2 Diâmetro de espigas comerciais empalhadas e despalhadas:

Determinado na porção média de 5 (cinco) espigas colhidas aleatoriamente na parcela útil, mediante ao uso de um paquímetro graduado em milímetros.

3.5.2.3 Número de fileiras de grãos nas espigas:

Determinado em 5 (cinco) espigas verdes despalhadas manualmente tomadas ao acaso na parcela útil.

3.5.2.4 Massa de espigas empalhadas:

Determinado através de 5 (cinco) espigas empalhadas colhidas aleatoriamente na parcela útil, para realização das medidas utilizou-se uma balança de precisão (g por espiga).

3.5.2.5 Massa de espigas despalhadas:

Determinado através de 5 (cinco) espigas despalhadas manualmente, escolhidas aleatoriamente na parcela útil, para realização das medidas utilizou-se uma balança de precisão (g por espiga).

3.5.2.6 Produtividade de espigas verdes comerciais empalhadas e despalhadas:

Determinado através de todas as espigas comerciais empalhadas e despalhadas da parcela útil (número de espigas comerciais por ha⁻¹).



Figura 2. Avaliação das características relacionadas ao desempenho produtivo do experimento, Teresina-PI, 2012.

3.6 Avaliação do teor elementos-traço nos grãos:

Na área útil de cada parcela foram marcadas 5 (cinco) plantas ao acaso, que aos 79 DAE (espigas verdes) foram colhidas e após as análises referentes a produtividade, debulhou-se os grãos de cada espiga manualmente, em seguida acondicionou-se em sacos de papel e esses foram submetidos à secagem em estufa com temperatura controlada (60 °C). Após a desidratação dos grãos, foram retiradas de cada amostra 100 gramas de grãos para análise dos elementos-traço Cr, Cd, Ni e Pb, realizadas no laboratório da FCAV da UNESP em Jaboticabal-SP, através da metodologia proposta por USEPA (1986).

3.7. Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e, quando o efeito das doses de lodo de curtume foi significativo, aplicou-se a análise de regressão. Os cálculos foram efetuados através do aplicativo estatístico SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou significância entre os tratamentos sobre as variáveis Altura de Plantas (AP) e Diâmetro de Colmo (DC) relacionadas ao desenvolvimento do milho, ambas podendo ser explicadas por uma equação polinomial quadrática, sendo significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente (Tabela 4). Com relação ao teor de clorofila, este não apresentou efeito significativo para a aplicação das doses de LCC, no entanto estes teores aumentaram à medida que se aumentou as doses acumuladas do composto. Ao analisar-se o efeito das doses de LCC sobre os aspectos produtivos da cultura, observou-se que as variáveis Diâmetro de Espigas Empalhadas (DEE), Diâmetro de Espigas Despalhadas (DED), Massa de Espigas Empalhadas (MEE), Massa de Espigas Despalhadas (MED), Número de Fileiras (NF), e Numero de Espigas Comerciais (NEC) responderam significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F, apresentando resposta quadrática (Tabela 4). As variáveis Comprimento de Espigas Empalhadas (CEE) e Comprimento de Espigas Despalhadas (CED) responderam significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F, com comportamento linear. Isto indica que houve efeito residual significativo das doses de LCC aplicadas sobre o crescimento e a produtividade da cultura (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo do quadro de análise de variância sobre os aspectos vegetativos e produtivos do milho verde em função das doses do LCC.

F.V	QUADRADO MÉDIO										
	AP	DC	CLO	CEE	CED	DEE	DED	MEE	MED	NEC	NF
Trat.	9254,60**	31,84**	27,94 ^{ns}	30,34**	21,02*	4,86**	4,37**	20333,80**	12076,478**	419942533.42**	2,32*
Bloco	243,18 ^{ns}	1,70 ^{ns}	22,86 ^{ns}	2,19 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,029 ^{ns}	0,018 ^{ns}	6,46 ^{ns}	40,90 ^{ns}	5949165.00*	0,02 ^{ns}
Resíduo	7453,45	3,11	40,65	5,26	3,93	0,17	0,08	325,16	218,25	1458417.95	0,52
R²linear	0,68**	0,74*	0,84 ^{ns}	0,59**	0,59**	0,54**	0,51**	0,78**	0,81**	0,86**	0,77**
R²quad.	0,84**	0,92*	0,91 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,84**	0,85**	0,82**	0,84*	0,93**	0,91**
C.V	20,71	11,37	16,89	10,85	14,80	10,71	8,40	13,76	16,00	13,06	5,44

* significativo a 5%; **significativo a 1% ; ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

4.1 Desenvolvimento vegetativo da planta de milho

Os valores encontrados para altura da planta (Figura 3A) e diâmetro do colmo (Figura 3B) apresentaram comportamento quadrático devido a adição de doses crescentes de LCC. Estes resultados indicam que houve efeito residual do LCC sobre o crescimento do milho verde, promovendo plantas maiores e mais vigorosas. Neste caso, os valores máximos estimados para a altura da planta e diâmetro do colmo foram de 174,28 cm e 18,95 mm, obtidos pela aplicação de 80,84 e 82,06 Mg ha⁻¹ LCC, respectivamente. O teor de clorofila, apesar de não ter respondido significativamente à aplicação das doses de LCC, elevou-se com o aumento das doses do composto, tendo por valor médio 38,69.

Os resultados indicam que o LCC, por apresentar em sua composição macro e micronutrientes (Tabela 1), favoreceu a disponibilização destes elementos no solo (Tabela 2) e conseqüentemente proporcionou maior desenvolvimento das plantas. Além disso, o conteúdo de N contido no LCC e os teores de matéria orgânica do solo, após aplicação do resíduo, também contribuíram para o crescimento da cultura.

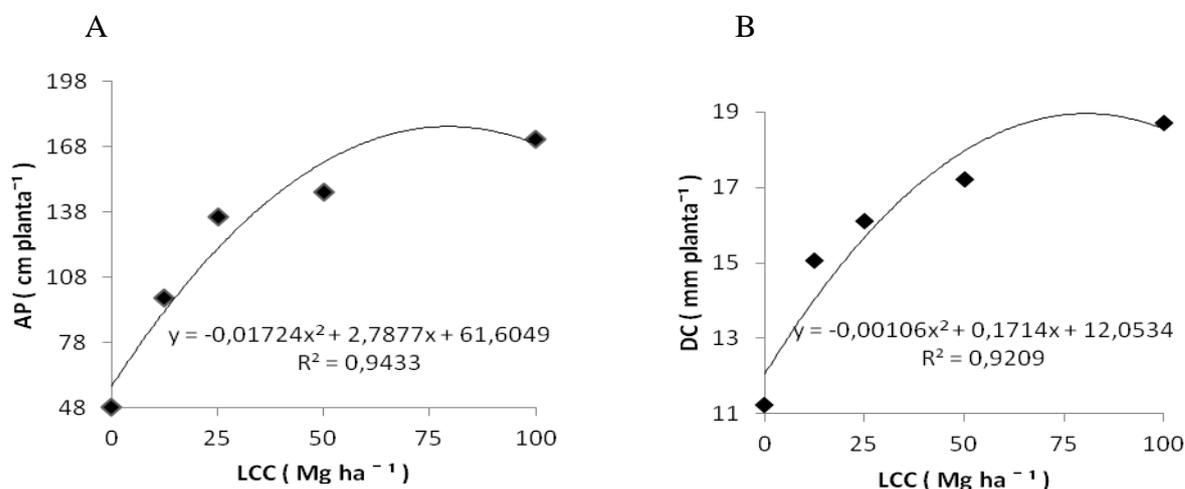


Figura 3. (A) Altura de plantas (AP), (B) Diâmetro de Colmo (DC) aos 52 DAE de plantas de milho após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

De acordo com AMADO et al. (2002) o N é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura de milho durante a fase vegetativa e interfere diretamente no tamanho e vigor da planta. Borges (2003) aplicou lodo de curtume por três anos consecutivos e após este período realizou plantio de milho encontrando um aumento de até 71% no aporte de N

nas folhas das plantas nas parcelas que receberam a maior dose do lodo de curtume em relação à testemunha. Embora não tenha sido analisado, neste trabalho, a concentração de N foliar, outros estudos recentes mostraram que a aplicação de lodo de curtume é suficiente para elevar os teores do elemento no milho (KONRAD e CASTILHOS, 2002; BORGES, 2003; KRAY et al. 2008; ARAÚJO, 2008), podendo em alguns casos suprir totalmente as necessidades exigidas pela cultura. Os resultados observados neste trabalho concordam com Macedo (2009) que avaliou o crescimento do milho após onze anos de aplicação de lodo de esgoto e encontrou maior desenvolvimento da cultura através da adição da maior dose acumulada de 110 t ha^{-1} .

4.2 Desempenho Produtivo do milho verde

O comportamento produtivo do milho verde seguiu uma tendência crescente. Os valores obtidos para as variáveis CEE (Figura 4A) e CED (Figura 4B) apresentaram resposta linear positiva pela aplicação de LCC. A aplicação da maior dose acumulada de 100 Mg ha^{-1} resultou na obtenção de um CED de $15,53 \text{ cm espiga}^{-1}$. Esses resultados são equivalentes aos encontrados por Lima (2010) ao obter o CED de $15,9 \text{ cm}$ na dose de 158 kg ha^{-1} de N, via aplicação de uréia.

Os valores encontrados para o DEE (Figura 4C) e DED (Figura 4D) apresentaram comportamento quadrático pela aplicação de LCC. Os valores máximos estimados para estas variáveis foram de $5,19$ e $4,63 \text{ cm}$, obtidos pela aplicação de $70,37$ e $68,69 \text{ Mg ha}^{-1}$ LCC, respectivamente.

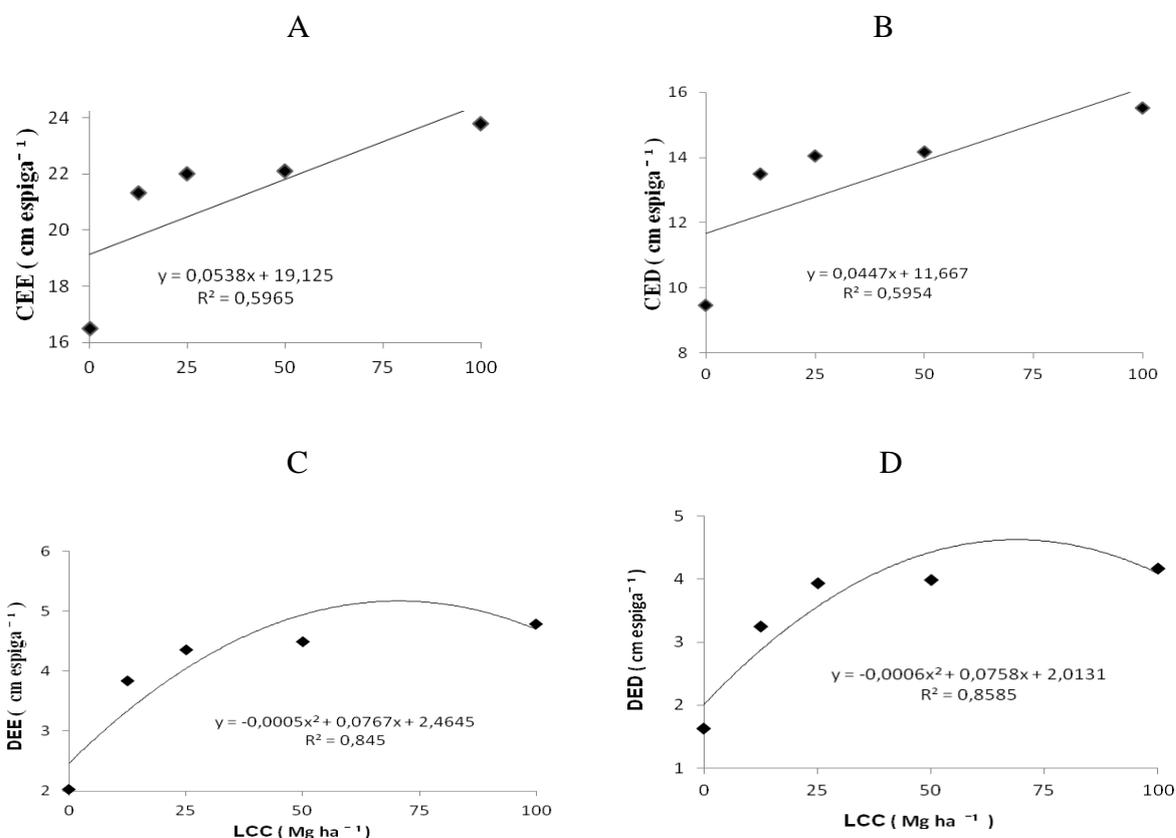


Figura 4. (A) Comprimento de espigas empalhadas (CEE), (B) comprimento de espigas despalhadas (CED), (C) Diâmetro de espigas empalhadas (DEE), (D) Diâmetro de espigas despalhadas (DED) de milho verde aos 79 DAE após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Os valores observados para a MEE (Figura 5A) e MED (Figura 5B) mostraram respostas quadráticas pela adição de LCC. Nestes casos, os valores máximos estimados para estas variáveis foram de 222,93 e 168,62 g planta⁻¹, obtidos pela aplicação de 133,56 e 124,51Mg ha⁻¹ LCC, respectivamente. Esses valores foram superiores aos encontrados por Lima (2010) que ao aplicar a dose estimada de 204 Kg ha⁻¹ de N, via ureia, obteve massa de espiga de aproximadamente 150 g planta⁻¹.

Os valores obtidos para o número de fileiras nas espigas de milho (NF) apresentou comportamento quadrático pela adição de LCC (Figura 5C). O valor máximo estimado para o número de fileiras por espiga foi de 14 obtido pela aplicação de 64,97 Mg ha⁻¹ LCC. Este valor encontra-se de acordo com Rocha (2008) que encontrou valor semelhante, ao avaliar híbridos de milho para produção de espigas verdes comerciais com adubação química

convencional, onde utilizou-se 400 kg ha⁻¹ de NPK na semeadura, 120 Kg ha⁻¹ de N, via ureia e 60 kg ha⁻¹ de K, via cloreto de potássio em cobertura.

O rendimento de espigas de milho verde apresentou valores com comportamento quadrático pela adição de LCC (Figura 5D). O valor máximo estimado de espigas verdes comerciais despalhadas por hectare foi de 22.247 espigas, obtido com a dose estimada de 103,10 Mg ha⁻¹ de LCC. Este valor é 100 % maior do que o encontrado na testemunha sem LCC, que por sua vez não houve espigas comerciais. Entretanto, o valor máximo de rendimento encontrado foi inferior ao obtido com a adubação química completa, que obteve aproximadamente 39.270 espigas comerciais por ha⁻¹, neste trabalho. Apesar disso, o rendimento obtido após a adição do LCC é superior à média do estado do Piauí que é de 20 mil espigas por ha (ROCHA, 2008).

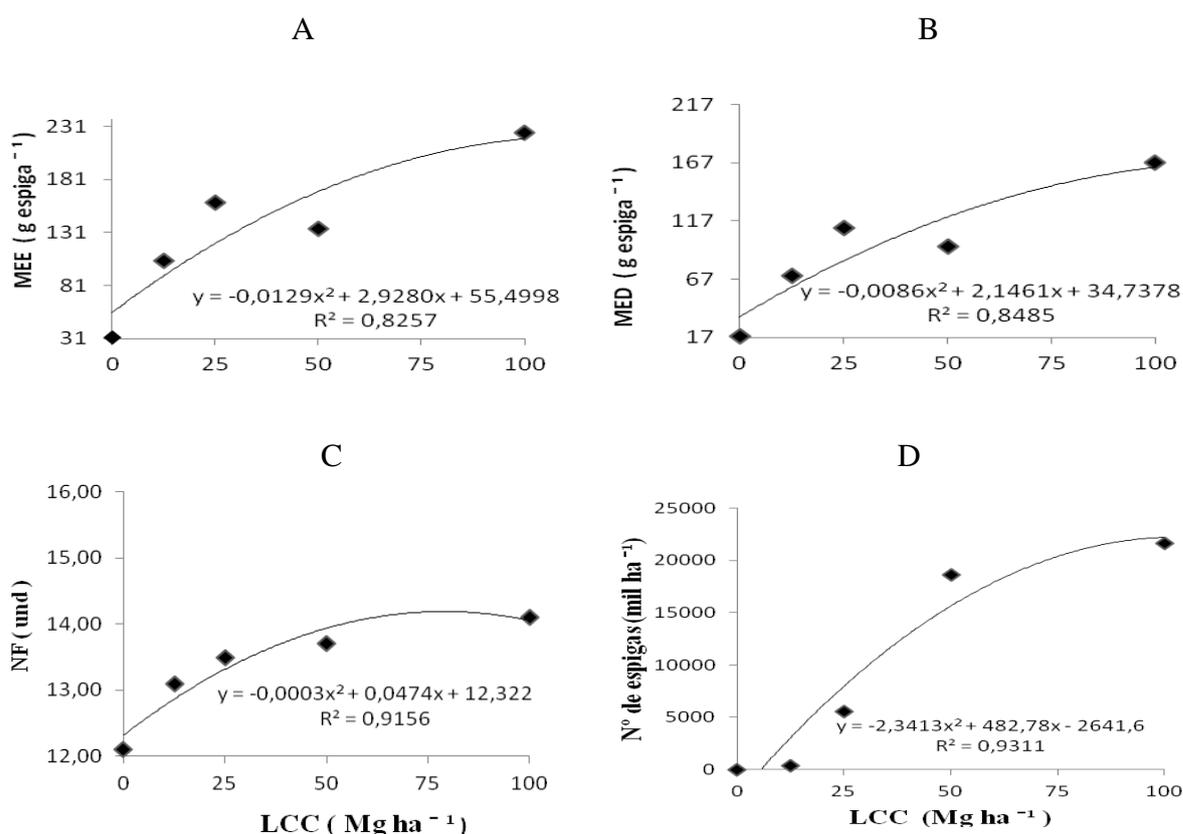


Figura 5. (A) massa de espiga empalhada (MEE), (B) Massa de espiga despalhada (MED), (C) número de fileiras, (D) número de espigas comerciais de milho verde por ha⁻¹ aos 79 DAE após três anos de aplicações de lodo de curtume compostado significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Isto indica que o LCC apresenta efeito residual que confere incremento no rendimento da cultura, podendo inclusive substituir parcialmente a adubação química. Os resultados concordam com Martines (2005), que aplicou, em casa de vegetação, lodo de curtume em três solos e observou que, em dose equivalente de 120 Kg de N, o resíduo promoveu aumento de 72% no rendimento do milho. Em outro trabalho, Ferreira et al. (2003), em campo, observou que a dose equivalente a 208 Kg ha⁻¹ de N, através da aplicação do lodo de curtume, incrementou em 34% a produtividade do milho sendo, inclusive superior ao tratamento com adubação mineral.

4.3 Acúmulo de elementos-traços

A análise de variância mostrou que o efeito das doses de LCC influenciou significativamente na concentração dos teores de Cd, Cr e Pb nas folhas, sendo que o Cd e o Cr apresentaram comportamento quadrático, enquanto o Pb apresentou comportamento linear. Os teores de Ni não foram influenciados significativamente pela aplicação das doses do LCC, tendo como valor médio 1,55 mg Kg⁻¹ (Tabela 5). Ao analisar-se os teores de elementos-traço nos grãos, observa-se que os valores de Cd, Ni e Pb foram influenciados significativamente pelas doses de LCC, sendo que o Cd apresentou comportamento linear, enquanto o Ni e o Pb apresentaram comportamento quadrático (Tabela 5). O teor de Cr nos grãos não foi influenciado significativamente pela aplicação do LCC, apresentando valor médio de 0,35 mg kg⁻¹.

Tabela 5. Resumo do quadro de análise de variância das concentrações de elementos-traço nas folhas e grãos de milho verde.

F.V	Quadrado médio							
	Folhas				Grãos			
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb
Trat.	3208,23**	43,15**	0,037 ^{ns}	0,45**	1281,07**	0,02 ^{ns}	0,029*	0,10**
Bloco	66,22 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,10 ^{ns}	15,32 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	95,87	0,28	0,02	0,07	8,65	0,01	0,004	0,01
Linear (R ²)	0,48**	0,94**	0,41 ^{ns}	0,79**	0,99**	0,17 ^{ns}	0,43**	0,62**
Quadrática(R ²)	0,72**	0,98**	0,80 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,65*	0,95**
C.V (%)	1,49	8,78	9,64	7,53	4,56	26,92	2,53	11,45

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F; folhas; grãos.

4.3.1 Acúmulo de elementos-traços nas folhas

Os teores de Cr (Figura 6A) e Cd (Figura 6B) nas folhas de milho verde apresentaram comportamento quadrático pela aplicação de LCC. Os maiores valores estimados para Cd e Cr foram de 0,69 e 10,90 mg kg⁻¹ obtidos com a aplicação das doses estimadas de 74,9 e 124 Mg ha⁻¹ de LCC respectivamente. Os teores de Cd nas folhas apresentaram aumento após a aplicação do LCC, apesar disto, os valores encontram-se abaixo do limite considerado normal para plantas, que está situado entre 0,1 a 2,4 mg kg⁻¹ (BOWEN, 1979).

Os teores de Cr encontrados nesta pesquisa estão acima dos limites considerados (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984). Isto ocorreu devido a alta concentração de Cr no LCC e conseqüentemente acumulado no solo. Desta forma, há uma tendência de acúmulo de Cr nas folhas de milho após aplicações de lodo de curtume, concordando com outros estudos (SOUZA et al., 2005, GONÇALVES et al., 2011). Entretanto, alguns estudos não encontraram aumento nos teores de Cr em folha de milho após a aplicação de lodo de esgoto (ANJOS E MATTIAZZO, 2000; MERLINO, 2010). Nestes casos, o lodo de esgoto não apresenta consideráveis concentrações de Cr, o que explicaria este comportamento.

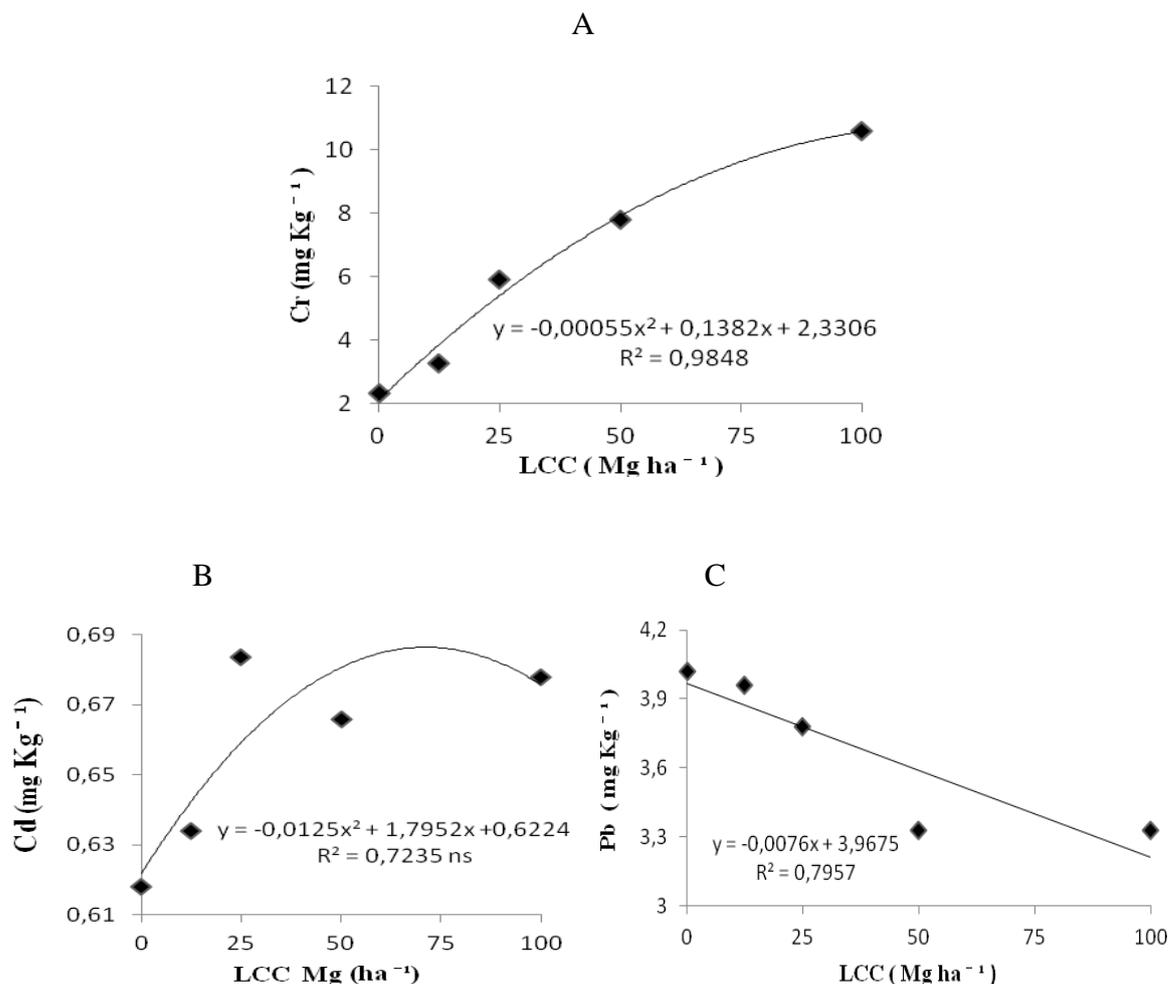


Figura 6. Quantidade acumulada de Cr (A), Cd (B) e Pb (C) em folhas de milho após três anos de aplicações de Composto de lodo de curtume compostado. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Pb (Figura 6C) nas folhas decresceram à medida que as doses de LCC aumentaram, sendo os valores encontrados menores que o da testemunha. Esses resultados são concordantes com os encontrados por Rangel et al. (2006), que observaram redução na concentração de Pb com a elevação das doses de lodo de esgoto após três anos de aplicações consecutivas. Isto indica ainda que não houve aumento na absorção de Pb nas folhas devido à baixa concentração de Pb no LCC e no solo após a aplicação do resíduo (Tabela 1 e 2). Os valores encontrados estão abaixo do limite proposto por Kabata-Pendias & Pendias (1984) que é de 30 - 300 mg kg⁻¹ de Pb.

Os teores de Ni não apresentaram respostas significativas pela aplicação de LCC. Neste caso o valor médio encontrado foi de 1,55 mg kg⁻¹ e encontra-se abaixo do limite máximo sugerido por Adriano, (1986), que é de 5 mg kg⁻¹.

4.3.2 Concentração de elementos-traços nos grãos de milho verde

Ao analisar-se o efeito das doses de LCC sobre os grãos, verificou-se que houve efeito linear sobre os teores de Cd (Figura 7A) nos grãos, enquanto que para Ni e Pb o comportamento foi quadrático, (Figuras 7B e 7C) respectivamente. Houve aumento nos teores de Cd à medida que as doses de LCC foram adicionadas. Os valores máximos estimados para os teores de Ni e Pb foram de 0,46 e 1,12 mg Kg⁻¹, obtidos pela aplicação de 72,04 e 70,77 Mg ha⁻¹ de LCC, respectivamente.

Apesar do aumento das concentrações de Cd em consequência da aplicação de LCC, os valores encontrados nos grãos estão abaixo dos limites estabelecidos pela ANVISA (1965), que é de 1 mg kg⁻¹. Da mesma forma, os teores de Ni e Pb também encontram-se abaixo do limite proposto que são de 5 e 2 mg kg⁻¹ respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados em outras culturas após a aplicação de resíduos industriais no solo (ANJOS e MATTIAZZO, 2000; RANGEL et al., 2006; GONÇALVES, 2011; SILVA, 2012).

Comportamento semelhante ao desta pesquisa foi encontrado em trabalhos realizados por Silva et al. (2006) analisando o teor de Pb em grãos de milho após três cultivos sucessivos em solo fertilizado com lodo de esgoto. Utilizando a mesma adubação, Rangel et al. (2006) detectaram pequenas concentrações do referido elemento em grãos de milho após o segundo e terceiro ano de experimento, onde não constatou-se diferença estatística entre a testemunha e os tratamentos que receberam o resíduo.

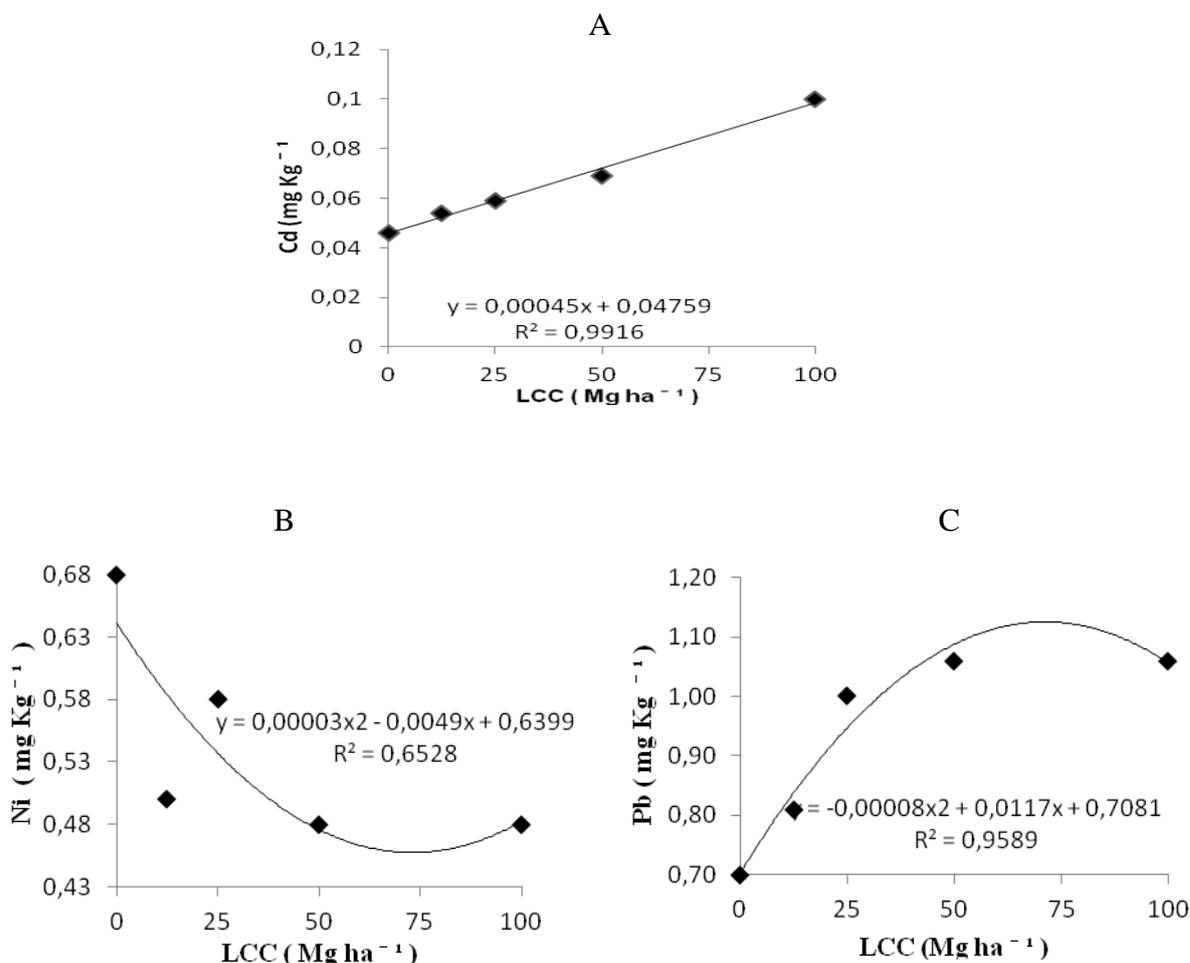


Figura 7. Quantidade acumulada de Cd (A), Ni (B) e Pb (C) em grãos de milho verde após três anos de aplicações de lodo de curtume compostado significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Embora tenha promovido incremento significativo nos teores foliares, o LCC não aumentou os teores de Cr nos grãos. Isto indica que o Cr acumulado nas folhas não foi exportado para os grãos. Esses resultados são concordantes com Merlino et al. (2010) que observou, após onze anos de aplicação de lodo industrial, que o Cr não foi translocado para os grãos do milho.

Entretanto, em todos os tratamentos, inclusive testemunha sem LCC, os teores de Cr nos grãos estão acima do limite tolerável pela ANVISA (1965), que é de $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$. Assim, nos tratamentos com LCC houve um efeito do resíduo nos teores de Cr nos grãos, enquanto que no tratamento sem LCC provavelmente a adição de fertilizantes nesta área experimental durante muito tempo pode ter contribuído para elevar os teores de Cr nos grãos

5. CONCLUSÕES

O lodo de curtume compostado apresentou efeito residual sobre o crescimento e o rendimento de espigas de milho verde.

A aplicação do lodo de curtume compostado, durante três anos, apresentou efeito residual sobre os teores de Cr nas folhas, mas não há exportação do elemento para os grãos. Em ambos os casos, os teores encontram-se acima dos limites permitidos pela legislação brasileira.

O lodo de curtume compostado apresenta efeito residual sobre os teores de Cd nas folhas e nos grãos. Enquanto que os teores de Pb aumentaram apenas nos grãos. Em todos os casos, os teores encontram-se abaixo dos limites permitidos pela legislação brasileira.

6. REFERÊNCIAS

- 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.
- ABREU Jr., C. H.; MURAOKA, T. & OLIVEIRA, F. C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 26:769-780, 2002.
- ADRIANO, D. C. **Trade elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986, 533 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Legislação em Vigilância Sanitária: Decreto Nº 55.871 de 26 de março de 1965**. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br>>. Acesso em 20 dez. 2011.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 288p, 1999.
- ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1999. 278p. (Tese de Doutorado)
- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**. v.57, p.769-776, 2000.
- 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, F. F.; Tiritan, C. S.; Pereira, H. M.; Júnior, O. C. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, n. 5, v. 12, p. 507-511, 2008.
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J.; SINGH, R. P. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: changes in soil microbial biomass. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 9, p. 41- 49, 2009a.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano de 2008 para o município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008, 37p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 181).
- BERTELLI, C. **Efeitos da disposição de lodos de curtume no solo e na planta**. 2007. 135 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

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 caleado na produção de milho. **Sanare**, v.5, p.86-89, 1996.

BORGES, J. D. **Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e do capim braquiarião [*Brachiaria brizanta* (Hochst ex A. Rick) Sapf.] cultivar marandu em latossolo vermelho-amarelo**. 2003. 244p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Goiânia, 2003.

BOWEN, H. J. M. **Environmental chemistry of elements**. London: Academic Press, 1979. 275p.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: Grãos, sétimo levantamento, Abril 2013. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/Uploads/Arquivos/13-04-09-10-27-26-boletim-grãos-Abril-2013.pdf>. [acesso em 20 de abril de 2013]

CICB- **Câmara da Indústria de Curtumes do Brasil, 2010**. Disponível em: <<HTTP://www.Brazilianleather.com.br/>> Acesso em 06 de agosto. 2011.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. Efeito 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**, 7: 189- 191, 2001.

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Porto Alegre: p. 22, 664. : SENAI Rio Grande do Sul, 1994.

DUARTE, J. de O. Introdução e importância econômica do milho. In: CRUZ, J. C.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. (Ed.). **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/importancia.htm>. Acesso em: 13 julho. 2012.

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

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

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos da cultura**. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, 1989. 245 p.

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; 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**. Campinas, v.27, n.4, p.755-763, 2003.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007, 576p.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. B. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.459-465, 2007.

GONÇALVES, I. C. R. **Atributos químicos e biológicos do solo e produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) após dois anos de aplicação de lodo de curtume compostado**. 2011. 45-66 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

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

KABATA-PENDIAS, A. E PENDIAS, H. **Elementos Traço em Solos e Plantas**. 2ª Edição. CRC Press. Inc. Boca Raton, FL. 365. 1992

KHALIL, A. I.; HASSOUNA, M. S.; EL-ASHQAR, H. M. A.; FAWZI, M. Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, p. 1-11, 2011.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, n.1, 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. ,n. , p. - , 2008.

LIMA, F. F; **Bacillus subtilis e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho**. 2010. P. 34. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

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

LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M. & MEDRADO, M.J.S. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção de bracinga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 25., Viçosa, MG, 1995. **Anais**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.2273- 2275.

MACEDO, F. G.; **Propriedades químicas de um latossolo tratado com lodo de esgoto e efeitos na cultura do milho**. 2009. P. 31. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: **Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo, Produquímica, p. 40-62, 1994.

MARQUES, M.O. Os Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M.T. et al. eds, **Biossólidos na agricultura**, São Paulo, SP: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. P. 365-402.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**/ Alexandre Martin Martines. Piracicaba, 2005. 62 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

MARTINES, A. M.; **Avaliação ambiental e agrônômica do uso de lodo de curtume no solo**. 2009. P. 13. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

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.

MERLINO, L. C. S.; MELO, W. J.; MACEDO, F. G.; GUEDES, A. C. T. P.; RIBEIRO, M. H.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 2031-2039, 2010.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. **The ecology of tropical food crops**. 2 ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1995. 430 p.

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

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R. & ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 26:505-519, 2002.

PAIVA JUNIOR, M. C.; PINHO, R. G. von; PINHO, E. V. R. von; RESENDE, S. G. Desempenho de cultivares para a produção de milho verde em diferentes épocas e densidades de semeadura em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p.1235-1247. 2001.

PEREIRA FILHO, I. A. **O cultivo do milho-verde**. Brasília, DF, Embrapa, 2003. 204 P.

PEREIRA JR, A. B.; VALIM, M. C. A.; SOUZA, J. L. e GONÇALVES, R. F. Utilização de lodo gerado em processo anaeróbio tipo tanque Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu, 1997. **Anais**. Foz do Iguaçu, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. 398p.

PEREIRA NETO, J. T., 1987: “**On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**”. University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; DYNIA, J. F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 583-594, 2006.

ROCHA, D. R.; **Desempenho de cultivares de milho-verde submetidas à diferentes populações de plantas em condições de irrigação**. 2008. P. 2, 17, 43. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

SILVA, M. D. M. **Atributos biológicos de Neossolo e produtividade do feijão-caupi após três anos de aplicações consecutivas de lodo de curtume compostado**. 2012. 3p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2012.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V .S.; SHARMA, R.D. Alternativa agrônômica para o biossólido 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, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.2 n.3 p.452-455, 2003.

SILVA, C. A.; RANGEL, O.J.P.; DYNIA, J.F.; BETTIOL, W. & MANZATTO, C.V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:353-364, 2006.

SMEAL, D. e ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** , 25:1495-1503, 1994.

SOUZA, E. R. B.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, I. P.; XIMENES, P. A.; CARNEIRO, M. F.; BARROS, R.. Teores de metais tóxicos nas folhas de plantas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n. 2, p.117-122, 2005.

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. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2007. p. 205-274.

STOKING, C.R. e ONGUN, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. **American Journal of Botany**, 49:284- 289, 1962.

TOLENAAR, M.; DWYER, L. M. Physiology of maize. In: SMITH, D. L.; HAMEL, C.(Ed.). **Crop yield, physiology and processes**. Berlim: Springer – Verlag, 1999. Cap 5. P 169 – 201.

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

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:261-269, 2005.

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

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

