

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e  
Ambientais**

**USO DE LODO DE CURTUME EM EUCALIPTO E SEU  
EFEITO NO CRESCIMENTO DE MUDAS E NOS  
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO**

**ERNANI LOPES POSSATO**

CUIABÁ - MT

2010

ERNANI LOPES POSSATO

USO DE LODO DE CURTUME EM EUCALIPTO E SEU  
EFEITO NO CRESCIMENTO DE MUDAS E NOS  
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO

Orientadora: Profa. Dra. Walcylene Lacerda Matos Pereira Scaramuzza  
Co-orientador: Prof. Dr. José Fernando Scaramuzza

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, para obtenção do título de mestre.

CUIABÁ-MT

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

P856u Possato, Ernani Lopes.  
Uso de lodo de curtume em eucalipto e seu efeito no crescimento de mudas e nos atributos químicos de um cambissolo / Ernani Lopes Possato, 2010.  
vii, 48f. il. ; 30 cm. -- (incluem gráficos e tabelas).

Orientadora: Walcylene Lacerda Matos Pereira Scaramuzza.  
Co-orientador: José Fernando Scaramuzza.  
Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso. Faculdade de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2010.

1. Resíduo industrial. 2. Fertilizante orgânico. 3. Cromo I. Título.

CDU 631.879.3

Permitida a reprodução parcial ou total desde que citada à fonte.

Catalogação na fonte: Maurício Silva de Oliveira – Bibliotecário – CRB/1 - 1860

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e  
Ambientais

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

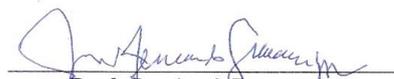
Título: Uso de lodo de curtume em eucalipto e seu efeito no crescimento de mudas e nos atributos químicos de um cambissolo.

Autor: Ernani Lopes Possato

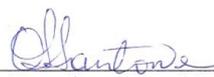
Orientadora: Profa. Dra. Walcylen Lacerda Matos Pereira Scaramuzza

Aprovada em 19 de maio de 2020.

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. José Fernando  
Scaramuzza  
Co-orientador – UFMT/FAMEV



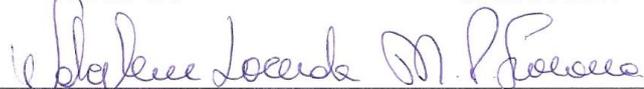
Profa. Dra. Oscarlina Lúcia dos  
Santos Weber  
UFMT/FAMEV



Prof. Dr. José Oscar Novelino  
UEGD/FCA



Profa. Dra. Sânia Lúcia Camargos  
UFMT/FAMEV



Profa. Dra. Walcylen Lacerda Matos Pereira Scaramuzza  
Orientadora – UFMT/FAMEV

## DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus avós Geraldo e Eni Possato e Agostinho Faria. Exemplos para toda vida...*

*...e à minha fortaleza, minha família: meus pais Gerado e Luiza, meus irmãos Giovanni, Viviane, Caroline, minha sobrinha Luana, minha esposa Rejane e minhas filhas Marcela e Luiza.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela vida e tudo que nela Ele nos proporciona.

Aos meus familiares, Lopes, Possato e “agregados”, pelo referencial de afeto e à família Nascentes pelo apoio constante.

Ao companheirismo, à amizade e à orientação da Professora Walcylene Scaramuzza.

Ao apoio e à amizade dos professores José Fernando Scaramuzza, Oscarlina Lúcia dos Santos Weber e Sânia Lúcia Camargos.

Ao Professor Aberto Durval e aos demais professores, e aos funcionários Gideon, Paula e Luzia que juntos viabilizam nosso aprendizado e o funcionamento do programa de pós-graduação.

À CAPES, pelo fundamental auxílio financeiro.

Aos estagiários do Laboratório de Solos da UFMT e aos funcionários do Laboratório Agroanálise, pelo auxílio nas análises químicas.

Aos amigos Leonardo Nascimento, Gian Carlos, Lorena Tavares, Fabiana Rocha, Jader Campos, Franciele Valadão, Berenice, Maria Minervina, Tânia Rosa, Valmi Simão, Ronnky Chaell e Francis Queiroz do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas que ajudaram a vencer os desafios das análises e na realização deste trabalho.

Aos amigos dos Programas de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais e Agricultura Tropical, pelos conhecimentos e experiências compartilhados.

À família Senra: Wilson, Rita, Ricardo, Rogério e Ronaldo, pelo apoio e acolhimento que tornaram mais fáceis a nossa adaptação em Cuiabá.

À amizade de André Bressiani, Marcio Roque e Thales Daniel, aqueles que com quem sempre pude contar, não só na execução deste trabalho, mas também na batalha do dia-a-dia.

Àqueles que, de alguma maneira, contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
2.1 Lodo da indústria de curtume e seu efeito no solo .....	10
2.2 Cromo no solo e na planta.....	13
2.3 Potencial do uso de resíduos em plantios de <i>Eucalyptus</i> spp.....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 Local do experimento.....	18
3.2 Caracterização química do solo e do lodo de curtume.....	18
3.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	19
3.4 Espécie florestal .....	20
3.5 Instalação do experimento.....	20
3.5.1 Incubação do solo com o lodo de curtume.....	20
3.5.2 Adubação e transplântio .....	20
3.6 Variáveis analisadas.....	21
3.7 Análise estatística.....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
4.1 Diâmetro, altura e produção de massa seca de <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	23
4.2 Atributos químicos do solo incubado com lodo de curtume.....	24
4.3 Teor de nutrientes em <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	30
4.4 Teor de cromo no solo e na planta.....	34
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>40</b>

## RESUMO

POSSATO, Ernani Lopes. **Uso de lodo de curtume em eucalipto e seu efeito no crescimento de mudas e nos atributos químicos de um Cambissolo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Walcylene Lacerda Matos Pereira Scaramuzza. Co-orientador: Prof. Dr. José Fernando Scaramuzza.

O processo de curtimento do couro gera resíduos com potencial de uso como corretivo e fertilizante, no entanto, alguns de seus constituintes são tóxicos quando presentes em elevado teor no solo, o que limita sua utilização nos sistemas de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na e Cr em clones de *Eucalyptus urophylla* e possíveis alterações nos atributos químicos de um Cambissolo Húmico após a adição de doses de lodo de curtume (LCT). O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período de março a julho de 2009. Os tratamentos consistiram da adição de doses de lodo de curtume (0; 3; 6; 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>) ao solo, o qual recebeu de forma complementar calcário e adubação NPK em dose única. O aumento da dose do LCT proporcionou o aumento na altura em até 11,5% em relação à testemunha. A produção de massa seca das raízes decresceu da testemunha para a maior dose 12 Mg ha<sup>-1</sup>, em média, 28,3%. A condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio e percentagem de sódio trocável, relacionados com a salinidade do solo, aumentou com o incremento das doses do lodo de curtume, porém, os valores obtidos ficaram abaixo dos níveis salinos. Verificou-se que as doses de LCT não influenciaram o teor de P no solo, enquanto os teores de Ca, Mg, K e Na no solo aumentaram. Os teores de N, K e Na, na parte aérea e nas raízes, e de Ca nas raízes, aumentaram, e o teor de Mg na parte aérea diminuiu com as doses de LCT. O teor de Cr solúvel, extraído pela água, decresceu linearmente com o aumento nas doses de LCT, correlacionando-se com o pH e CTC efetiva do solo. As plantas de eucalipto, em todos os tratamentos, continham o Cr somente no sistema radicular, sendo que, quanto maior a dose, maior o teor do metal nas raízes.

**Palavras-Chave:** Resíduo industrial; fertilizante orgânico; cromo.

## ABSTRACT

POSSATO, Ernani Lopes. **Use of tannery sludge on eucalyptus and its effect on seedling growth and chemical attributes of a Cambisol.** 2010. Dissertation (MSc. in Forestry and Environmental Sciences) - University of Mato Grosso, Cuiabá – MT. Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Walcylene Lacerda Matos Pereira Scaramuzza. Co-adviser: Prof. Dr. José Fernando Scaramuzza.

The leather tanning process generates waste with potential for use as lime and fertilizer, however, some of its constituents are toxic when present in high concentration in the soil, what limits their use in production systems. The objective was to evaluate the growth and concentration of N, P, K, Ca, Mg, Na and Cr in clones of *Eucalyptus urophylla* and possible changes in chemical properties of a humic Cambisol after the addition of tannery sludge (TS) doses. The experiment was conducted in a greenhouse in the period from March to July 2009. The treatments consisted of the addition of tannery sludge doses (0, 3, 6, 9 and 12 Mg ha<sup>-1</sup>) to the ground, which received complementarily lime and NPK fertilizer in a single dose. Increasing the dose of TS provided the increase in height by 11.5% compared to control. The production of soybean roots decreased witness the highest rate 12 Mg ha<sup>-1</sup>, on average, 28.3%. The electrical conductivity, sodium adsorption ratio and exchangeable sodium percentage, related to soil salinity increased with increasing doses of residue, however, the values were below the saline levels. It was found that the doses of TS did not affect the P content in soil, while Ca, Mg, K and Na in the soil increased. The contents of N, K and Na in shoots and roots, and Ca in roots increased, and Mg content in shoots decreased with the doses of TS. The content of soluble Cr extracted by water, decreased linearly with increasing doses of TS, correlating with the pH and effective CEC of the soil. Eucalypts plants in all treatments contained Cr only in the root, being that the higher the dose, the greater the level of metal in the roots.

**Key words:** Industrial waste; organic fertilizer; chrome.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de curtume brasileira é destaque no cenário internacional, participando com cerca de 18% da produção de couro mundial (COURO, 2010). O inconveniente dessa atividade está na elevada geração de resíduos, normalmente em forma de lodo, produzidos durante as etapas do processamento da pele.

São característicos do lodo de curtume, os elevados teores de matéria orgânica, de origem animal, e de sais inorgânicos, componentes com potencial fertilizante e corretivo de acidez do solo, sendo sua utilização em sistemas de produção agrícola pesquisada atualmente. No entanto, possíveis impactos negativos no ambiente e, conseqüentemente, na produção vegetal, podem ocorrer se a utilização desse resíduo acontecer de maneira indiscriminada, principalmente em decorrência da adição excessiva de sais e metais ao solo, os quais podem influenciar no crescimento e absorção dos nutrientes pelas culturas que crescem em sua presença. Por isso, para atingir os efeitos benéficos de sua aplicação, sem causar danos ao ambiente e às plantas, a aplicação dos resíduos da indústria curtumeira deve atender à demanda nutricional das culturas, sem prejudicar a sustentabilidade do uso da área.

A adição de fertilizantes e de outros insumos em plantios florestais tem sido indicada para o incremento na produção, visto que os solos das áreas destinadas ao reflorestamento são, normalmente, de baixa fertilidade (ROCHA et al., 2008). Nesse contexto, a utilização de resíduos industriais ou domésticos no setor florestal passa a representar um potencial de uso proporcionando a ciclagem dos nutrientes presentes nos resíduos e a fertilização dos plantios (POGGIANI et al., 2000) que, de acordo com os dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2009), cresce em área plantada no Brasil, principalmente com as espécies do gênero *Eucalyptus*.

A utilização do lodo de curtume na produção agrícola e/ou florestal é vislumbrada como alternativa de seu destino final, contudo, essa prática ainda requer investigação das conseqüências do seu uso no

solo, água e planta. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar características de crescimento e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na e Cr em clones de *Eucalyptus urophylla*, bem como os atributos químicos de um Cambissolo Húmico após a adição de doses de lodo de curtume.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Lodo da indústria de curtume e seu efeito no solo

O processamento de peles, realizado na indústria de curtume, emprega reagentes químicos, por exemplo, o cloreto de sódio (NaCl) utilizado para preservar a pele animal, ainda no início do processo, e o sulfato básico de cromo ( $\text{Cr}_2(\text{OH})_2(\text{SO}_4)_2$ ), usado na etapa do curtimento do couro (CLASS e MAIA, 1994). A consequência dessa atividade industrial é a geração, em diferentes etapas do processo, de efluentes que necessitam ser destinados ao tratamento com o propósito de reduzir sua carga poluente.

No tratamento, inicialmente, é extraída a fase sólida em suspensão no efluente, sendo assim gerados os resíduos semi-sólidos e sólidos, denominados de lodo, que são constituídos essencialmente de lama precipitada rica em matéria orgânica de origem animal, sais de sódio, cálcio, enxofre e cromo (AQUINO NETO, 1998). Assim, o lodo da indústria de curtume, apesar da presença de metais, possui potencial de utilização como fonte de nutrientes e vem sendo investigado para tal (ABREU JUNIOR et al., 2005).

Entre os possíveis efeitos da adição do lodo de curtume no solo está o de corretivo da acidez, que tem relação com a presença de carbonatos e hidróxidos, matéria orgânica e cátions na composição do resíduo, sendo que sua eficácia na modificação do pH depende do poder tampão do solo, da composição e da dose do lodo utilizado (ABREU JUNIOR et al., 2000; OLIVEIRA, 2000). Quando presente no solo, esses constituintes do resíduo liberam, no meio, hidroxilas e cátions que neutralizam os íons de caráter ácido, principalmente  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , aumentando o pH (SOUZA et al., 2007).

O efeito no pH do solo vai depender do tipo de lodo de curtume utilizado devido à composição diferenciada entre eles, principalmente, no teor de carbonatos, como verificado por Konrad e Castilhos (2002) que, aplicando lodos provenientes de etapas distintas do processo industrial,

com e sem cromo, observaram que o resíduo contendo o metal possui baixo poder de neutralização e seu efeito no pH só ocorre quando sua aplicação foi associada ao uso de calcário. Costa et al. (2001) também observaram que o efeito na reação do solo quando se utiliza o lodo de curtume, contendo Cr, é pequeno, sendo mais eficaz quando associado à calagem.

O tipo de solo também influencia na alteração do pH após adição de lodo de curtume, como observado por Martines (2005). O autor verificou que a aplicação de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de curtume em solo arenoso foi suficiente para elevar o pH de 4,5 para 7,0, porém, para alcançar o mesmo valor desse atributo em solo com textura argilosa foram necessários 36 Mg ha<sup>-1</sup> do resíduo.

A adição do lodo de curtume, com presença ou não de Cr, promove alterações na biologia do solo em nível de populações e, também, da atividade dos microrganismos do solo, que se torna mais intensa com a adição do resíduo (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2000; KONRAD e CASTILHOS (2001); FERREIRA et al., 2003; MARTINES et al., 2006). A ação da microbiota na mineralização dos componentes orgânicos do lodo é fundamental para viabilizar a liberação dos nutrientes contidos no resíduo.

O aumento dos 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 é comumente observado devido ao uso do lodo de curtume. Borges et al. (2007) concluíram que o lodo de curtume consiste em boa fonte de nutrientes para o crescimento das plantas de milho.

Alguns nutrientes como 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. A exemplo dos trabalhos de Costa et al. (2001) e de Ferreira et al. (2003), nos quais foram observados que os rendimentos na produção de massa seca e de grãos em soja e milho, obtidos com adição de lodo de curtume associado à adubação potássica e fosfatada, foram semelhantes aos tratamentos

que receberam adubação mineral de NPK e calagem. Konrad e Castilhos (2002) também verificaram que a aplicação de lodo de curtume, contendo cromo, associada à calagem e a adubação de P e K, resultou em rendimento de milho semelhante ao tratamento NPK+calcário.

É característico do lodo de curtume possuir elevado teor de Na, sendo o principal limitante de sua utilização em sistemas de produção (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000). Devido sua interação com os colóides, o Na causa dispersão das partículas do solo e, conseqüentemente, sua movimentação no perfil, reduzindo a condutividade hidráulica (IRVINE e REID, 2001). Além do Na, o teor elevado de outros sais no lodo, quando dissolvidos na solução do solo, pode elevar a pressão osmótica do meio, dificultando a absorção de água e nutrientes pela planta (RAIJ, 1991).

Os solos afetados pelo elevado teor de sais e sódio são classificados, segundo Richards (1954), como salino, sódico ou salino/sódico, de acordo com os valores da condutividade elétrica (CE), da relação de adsorção de sódio (RAS), da percentagem de sódio trocável (PST) e do pH.

O uso do lodo de curtume tem constantemente alterado, em maior ou menor intensidade, os valores desses atributos do solo e o crescimento das plantas. Teixeira et al. (2006) estudando a nodulação de feijão caupi cultivado em solos submetido à aplicação de 0 a 46,5 Mg ha<sup>-1</sup> do lodo de curtume observaram redução na nodulação em plantas submetidas à maior dose, atribuindo o incremento na CE e no teor de Na trocável no solo como a causa dessa redução.

Aquino Neto e Camargo (2000) obtiveram valores de CE de 1,71 e 1,52 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, em solos de textura média e argilosa, aos 86 dias de incubação com o lodo de curtume (19 Mg ha<sup>-1</sup>) e o cultivo de alface. Nesse mesmo trabalho, a CE na dose máxima do lodo (54 Mg ha<sup>-1</sup>) foi de 4,14 dS m<sup>-1</sup> no solo de textura média e de 5,07 dS m<sup>-1</sup> no solo argiloso, reduzindo a produção de massa seca de alface em ambos os solos. Martines (2005) também observou que a CE aumentou com o incremento das doses do lodo de curtume em três solos com texturas diferentes e cultivados com soja.

Para Chinnusamy et al. (2005), a maioria das culturas agrícolas é altamente susceptível à salinidade, mesmo em solo com condutividade elétrica menor a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ . Há consenso de que a salinidade afeta o crescimento devido ao estresse osmótico, a toxicidade por excesso de íons, principalmente de Na e Cl, e ao desequilíbrio nutricional (MARSCHNER, 1995; SAUR et al., 1995; RAMOLIYA e PANDEY, 2002; FERNANDES et al., 2003).

## 2.2 Cromo no solo e na planta

Além da origem litogênica, quando proveniente do intemperismo de rochas, o cromo tem sido encontrado no solo em consequência do descarte de rejeitos provenientes da utilização do metal em diferentes atividades antrópicas, por exemplo, na produção de aço inox, cerâmica, borracha, pigmentos e de couro, que é o principal responsável pela adição do metal na biosfera, aproximadamente 40% do total (BARNHART, 1997; ALCÂNTARA e CAMARGO, 2001; ALLEONI et al., 2005).

Independente da origem, o Cr é encontrado no solo como cátions em dois estados de oxidação: reduzido ou cromo trivalente (III) e oxidado ou hexavalente (VI). Além do estado de oxidação, fatores como o teor de argila, de óxidos e hidróxidos, de matéria orgânica, o pH, o potencial redox e o teor do próprio metal influenciam na sua dinâmica de adsorção/dessorção e precipitação/dissolução no solo (ALLEONI et al., 2005).

O cromo no estado reduzido é mais estável e, por isso, mais abundante em relação ao oxidado e, quando presente na solução do solo, está sujeito à adsorção e à lixiviação, mas dificilmente é encontrado dessa forma, pois tende a precipitar-se na forma de  $\text{Cr(OH)}_3 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$  ou de  $(\text{Cr}_x\text{Fe}_{1-x})(\text{OH})_3$  e desses ligados às macromoléculas por meio da hidroxila, principalmente em condições de pH maior que 5,0 (RAI et al., 1989; FENDORF et al., 1992; ALCANTARA et al., 2000).

A adsorção do Cr (III) livre também acontece, predominando em solos com pH abaixo de 4,0, e pode envolver ligações puramente

eletrostáticas ou covalentes entre o Cr e os colóides do solo, o que mantém o metal fortemente adsorvido (GRIFFIN et al., 1977; FENDORF et al., 1994; DUBBIN e GOH, 1995).

A presença do Cr (III) em solução é atribuída à formação de complexos solúveis entre o metal e os compostos carbônicos de baixo peso molecular, por exemplo, ácidos fúlvicos, que evitam a adsorção e/ou precipitação do metal, em ampla faixa de pH (JAMES e BARTLETT, 1983). Bartlett e Kimble (1976) detectaram que 86% do Cr adicionado ao solo estavam em solução após a adição de citrato. Alcântara e Camargo (2001) avaliando o transporte de Cr em diferentes solos verificaram que o metal foi detectado previamente no lixiviado proveniente do solo com a maior presença de ácidos fúlvicos, atribuindo a essa molécula orgânica a causa da permanência do metal em solução e sua conseqüente lixiviação. Aquino Neto e Camargo (2000) também atribuíram a presença do Cr em solução de um Latossolo com pH 6,5 à presença de carbono orgânico dissolvido.

No estado oxidado, o Cr é menos estável no solo, sendo mais biodisponível que o Cr (III) e, por ser um forte agente oxidante, possui ação tóxica quando presente nas células, animal e vegetal (BARTLETT, 1991). De forma semelhante aos sulfatos e fosfatos, devido suas formas aniônicas ( $\text{HCrO}_4^-$  e  $\text{CrO}_4^{2-}$ ), a imobilização do Cr (VI) acontece pela adsorção, por meio da formação de ligações covalentes com as cargas positivas do solo, presentes nas extremidades dos óxidos de Fe e de Al e que são dependentes do pH da solução (BARTLETT, 1991; ALCÂNTARA et al., 2000). De acordo com Bartlett e James (1988), a ligação entre  $\text{HCrO}_4^-$  e os colóides do solo também pode ser fraca como as que retêm os ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ .

No solo pode ocorrer tanto a redução do Cr (VI), como a oxidação do Cr (III), sendo que, a primeira, acontece na presença de doadores de elétrons como a matéria orgânica, o Mn e o Fe (II) em solução, além de minerais de ferro (BARTLETT, 1991; AQUINO NETO, 1998; CASTILHOS et al., 1999). Para que aconteça a oxidação do Cr (III) é necessária a presença de óxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ ) facilmente redutível, que atua como receptor dos elétrons do metal (BARTLETT e

JAMES, 1979). Porém, esta reação necessita que o Cr (III) esteja livre em solução, o que normalmente não ocorre (BARTLETT e JAMES, 1988; BARTLETT, 1991; TREBIEN, 1994).

Em trabalho realizado em dois tipos de solo, com e sem Mn facilmente redutível, e três fontes de Cr (III), duas de resíduo de curtume e outra inorgânica ( $\text{CrCl}_3$ ), Aquino Neto e Camargo (2000) não observaram a formação de Cr (VI) em solos com adição dos resíduos de curtume, enquanto que, na forma inorgânica, verificaram a ocorrência da oxidação do metal no solo com presença de Mn facilmente redutível, cuja reação ocorreu de forma rápida, onde, em aproximadamente 30 dias após a adição, não verificaram mais a formação de Cr (VI). Os autores atribuíram ao fato de, por ser adicionado em forma solúvel, o metal estaria, inicialmente, livre em solução e susceptível à oxidação, o que não aconteceria quando adicionado na forma de resíduo.

O cromo no solo, em qualquer dos seus estados de oxidação, pode ser absorvido pela planta em quantidade elevada como observado no estudo de Gupta e Sinha (2007). Cultivando diferentes espécies vegetais em solos que continham elevado teor de Cr total, aproximadamente  $7.500 \text{ mg kg}^{-1}$ , eles constataram que, dentre os 11 metais analisados, o Cr foi o quarto mais absorvido e seu teor nas folhas foi maior que nas raízes em três das quatro espécies analisadas.

Skeffington et al. (1976) identificaram que o Cr é absorvido tanto na forma reduzida (Cr III), quanto oxidada (Cr VI), porém, por meio de diferentes mecanismos. O Cr (VI) é absorvido de forma ativa, envolvendo gasto de energia, enquanto o Cr (III) passa de forma livre através da membrana celular. A entrada do Cr (VI) nas células acontece por meio dos mesmos mecanismos responsáveis pela absorção de elementos essenciais à planta, como P e S, que atravessam a membrana celular na forma de ânions (CERVANTES et al., 2001).

O Cr pode influenciar o crescimento vegetal, possivelmente devido ao contato das raízes com o alto teor do metal em solução no solo, o que poderia ocasionar na incapacidade das raízes em absorver água do meio ou quando presente no interior das células vegetais, inibindo sua

divisão e alongamento celular (BARCELO et al., 1985; SHANKER et al., 2005a).

Em ambos estados de oxidação, esse metal foi responsável pela diminuição da produção de massa seca de raízes de jenipapo (*Genipa americana*) crescendo em solução nutritiva com crescentes teores de cromo (SANTANA, 2007). A autora acrescenta ainda que o Cr (VI) foi mais tóxico às plantas por causar alterações nas trocas gasosas foliares, na produção de biomassa, na composição química e na morfologia interna.

Shanker et al. (2005a) relataram que a presença de Cr pode reduzir a altura das plantas devido à ação inibitória do crescimento radicular e conseqüente redução na absorção e na translocação de água e nutrientes ou devido ao impacto no metabolismo nas células da parte aérea da planta. No entanto, Santana (2007) não verificou diferença no crescimento em diâmetro do coleto e a altura entre as plantas de jenipapo que continham Cr na parte aérea e às que não possuíam o metal nessa parte da planta. Freier et al. (2006), aplicando doses crescentes de lodo de esgoto, contendo Cr e outros metais, também não observaram diferença entre o crescimento em altura e o diâmetro de *Eucalyptus citriodora* avaliados aos 100 e 203 dias de idade.

### **2.3 Potencial do uso de resíduos em plantios de *Eucalyptus* spp.**

Segundo Abraf (2009), no Brasil, os plantios de eucalipto ocupam aproximadamente 4,3 milhões de hectares, constituindo a essência florestal mais plantada no país que, somente em 2008, cresceu 7,3% em relação ao ano anterior. No estado de Mato Grosso, verifica-se a mesma tendência nacional no crescimento do plantio de eucalipto, aumentando aproximadamente 14,7 mil hectares entre 2004 e 2008 (ABRAF, 2009). Nesse Estado, a intensificação da fiscalização contra o desmatamento ilegal e o incentivo por parte do governo para impulsionar os plantios florestais são as principais causas desse aumento na área plantada.

Em todo o país, os povoamentos florestais geralmente são implantados em solos de baixa fertilidade, seja exaurida pela continuada exploração agrícola ou por ocuparem áreas marginais das propriedades, consideradas impróprias para o cultivo das culturas agrônômicas (STAPE e ZANI FILHO, 1990). Apesar da tolerância à acidez do solo e à pequena demanda por alguns nutrientes, o eucalipto tem apresentado respostas positivas à associação das práticas de calagem e adubação mineral, principalmente em relação a P, K e, também, B e Zn (BARROS e COMERFORD, 2002).

Geralmente, os ganhos em resposta a adubação são observados na fase inicial de crescimento, em viveiro e no campo, em que o ciclo bioquímico, responsável pela ciclagem interna de nutrientes, ainda não suprem a necessidade nutricional das plantas. No entanto, em estudo envolvendo plantas de *Eucalyptus urophylla* estabelecidas em solo de textura arenosa de baixa fertilidade Valeri et al. (2001) constataram ganho de produtividade com a adição de N, K e Ca quando a idade das árvores estava próxima a 4 anos.

Uma prática que vem sendo utilizada como fonte de nutrientes na produção em plantios florestais visando atender, se não toda, mas pelo menos parte da necessidade nutricional é a adição de resíduos urbanos e industriais ao solo. Alguns dos resíduos da indústria de celulose, por exemplo, são utilizados em plantios florestais, o que tem proporcionado ganhos expressivos na produção de madeira devido aos benefícios de natureza física, química e biológica proporcionados pela presença do resíduo no solo (BELLOTE et al., 1998).

Segundo Poggiani et al. (2000), em alguns países o uso de biossólido (lodo de esgoto) foi favorável para a produção em plantios florestais, sendo destacado por esses autores a possibilidade de melhora das condições dos solos em regiões tropicais, naturalmente pobres em nutrientes, decorrente da utilização desse resíduo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMEV) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), em Cuiabá-MT, entre os meses de março e julho de 2009. Durante o período experimental, foram registradas a média das temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar na casa de vegetação (Figura 1).

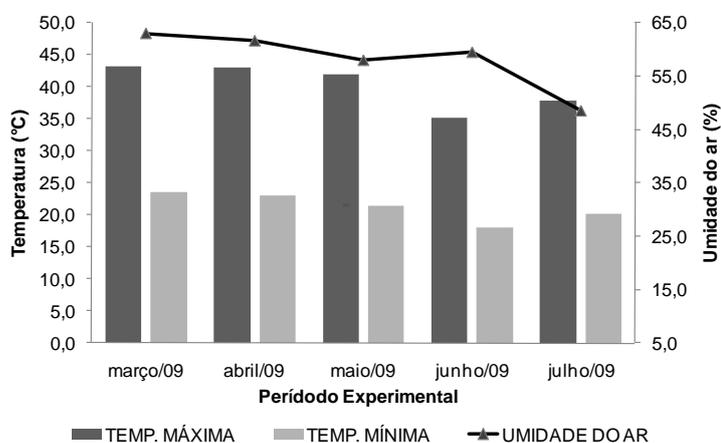


FIGURA 1 - MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMA E MÍNIMA E DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO LOCAL DO EXPERIMENTO.

#### 3.2 Caracterização química do solo e do lodo de curtume

O solo utilizado foi proveniente da camada superficial (0 a 20 cm) de um Cambissolo Húmico sob Cerrado, localizada no município de Santo Antônio do Leverger - MT. Após seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm, foram retiradas amostras para caracterização química e granulométrica do solo (Tabela 1), seguindo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997), exceto para o metal cromo, o qual foi determinado o teor total conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

TABELA 1- CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E GRANULOMÉTRICOS DO SOLO.

pH	P	K	Ca	Mg	SB	Al	Al + H	CTC (T)	MO	
CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					g dm <sup>-3</sup>		
4,4	2,1	30	0,9	0,4	1,6	0,4	5,3	6,9	25,5	
V	m	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Cr	Areia	Silte	Argila
%		mg dm <sup>-3</sup>					g kg <sup>-1</sup>			
23	21	57	24	0,3	0,9	0,7	315	616	67	317

O lodo foi proveniente do tratamento primário das águas residuais do curtimento ao cromo (LCT) da indústria de curtume Durli LTDA, localizada no Distrito Industrial de Cuiabá-MT. O LCT foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm, sendo caracterizado quimicamente (Tabela 2) de acordo com a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO LODO DE CURTUME.

pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	MO	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>
CaCl <sub>2</sub>	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>							
8,6	1,8	2,9	1,8	26	68	4,8	527	18	1,5
Fe		Mn		B		Cu		Zn	
mg kg <sup>-1</sup>									
1.382		52		269		9,0		100	

### 3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos e cinco repetições, perfazendo um total de 25 unidades experimentais. O solo e o LCT foram misturados de forma a obter os seguintes tratamentos: solo (testemunha); solo + 3 Mg ha<sup>-1</sup> de LCT (LCT 3); solo + 6 Mg ha<sup>-1</sup> (LCT 6); solo + 9 Mg ha<sup>-1</sup> (LCT 9); solo + 12 Mg ha<sup>-1</sup> (LCT 12) (as doses foram calculadas na base seca). Todos os tratamentos receberam calcário e adubação NPK em doses descrita no item 3.5.2.

### **3.4 Espécie florestal**

Foram utilizadas mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* enraizadas em substrato comercial contendo 1,3 g de NK (10-0-10) em tubetes de 53 cm<sup>3</sup> de capacidade. Após 30 dias na fase de enraizamento, as mudas foram transferidas para a casa de vegetação da UFMT, onde permaneceram nos tubetes por mais 15 dias para a adaptação das mudas às condições e, assim, aumentar os índices de sobrevivência no transplântio.

### **3.5 Instalação do experimento**

#### **3.5.1 Incubação do solo com o lodo de curtume**

Em todos os tratamentos, no momento da mistura do solo com o lodo de curtume, foi adicionado calcário em quantidade suficiente para elevar a saturação por bases (V) a 50%, conforme recomendação de Silva et al. (2007), sendo a dose calculada considerando a saturação inicial do Cambissolo Húmico, segundo Rajj (1981).

Em sacolas de plástico de 5 dm<sup>3</sup> de capacidade, foram adicionados 4 kg de solo e as respectivas doses de lodo e de calcário, com irrigação periódica durante 30 dias para iniciar a mineralização do lodo.

#### **3.5.2 Adubação e transplântio**

Todos os tratamentos receberam adubação NPK, em dose única, cinco dias antes do transplântio. Os nutrientes foram aplicados em cada unidade experimental, nas seguintes quantidades: 100 mg dm<sup>-3</sup> de N; 237 mg dm<sup>-3</sup> de P e 40 mg dm<sup>-3</sup> de K tendo como fonte a solução P.A. (puro para análise) de NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> na proporção 36,8:6,7:1 (peso:peso). A quantidade de P e K foi estabelecida de forma que esses nutrientes atingissem o nível médio estabelecido na tabela de interpretação de análise de solo, conforme Alvarez V. et al. (1999).

No transplântio colocou-se uma muda por sacola, sendo retirado das raízes o substrato comercial por meio da lavagem com água deionizada. Durante o experimento, as mudas foram irrigadas diariamente até a umidade próxima a 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo, obtida por meio de pesagem.

### **3.6 Variáveis analisadas**

Transcorridos os 120 dias do transplântio, as plantas foram mensuradas em altura e no diâmetro do coleto. Em seguida, separou-se a parte aérea (caule e folhas) das raízes, as quais foram lavadas com água deionizada e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem peso constante e, posteriormente, foram pesadas para a determinação da massa seca. O material seco foi moído e, em seguida, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na e Cr, conforme Silva (1999).

Após o cultivo, amostras de solo foram retiradas de cada unidade experimental para a determinação de P, K, Ca, Mg, Na e dos atributos: pH, saturação por bases (V), CTC efetiva e matéria orgânica do solo conforme Embrapa (1997). A condutividade elétrica (CE), a percentagem de sódio trocável (PST) e a relação de adsorção de sódio (RAS) foram determinadas conforme Freire e Freire (2007).

Para a determinação do cromo solúvel no solo foi feita uma suspensão de solo em água deionizada na relação de 1:2 (sólido:líquido). As amostras foram agitadas por 16 horas em agitador horizontal, a 100 rpm e, em seguida, centrifugadas a 4.000 rpm durante 10 minutos, a 11°C. A suspensão obtida, após a centrifugação, foi filtrada em papel de filtragem rápida e recolhida em frasco plástico para posterior determinação do teor do Cr em espectrofotômetro de absorção atômica.

### **3.7 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade ( $p > 0,10$ ) e à análise de variância e, nos casos de significância pelo Teste

F ( $p < 0,05$ ), procedeu-se a análise de regressão com o uso do programa SISVAR.

Em alguns casos, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson, que corresponde à associação linear de duas variáveis, utilizando o aplicativo computacional MINITAB.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Diâmetro, altura e produção de massa seca de *Eucalyptus urophylla*

A adição de LCT proporcionou aumento linear em altura de até 11,5% em relação à testemunha, enquanto a produção de MSR decresceu, também linearmente, em média 28,3% (Figura 2). Já o diâmetro, produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e total (MST) não foram influenciados pelas doses de LCT, sendo esses, em média, iguais a 10,9 mm, 58,0 g planta<sup>-1</sup> e 82,2 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

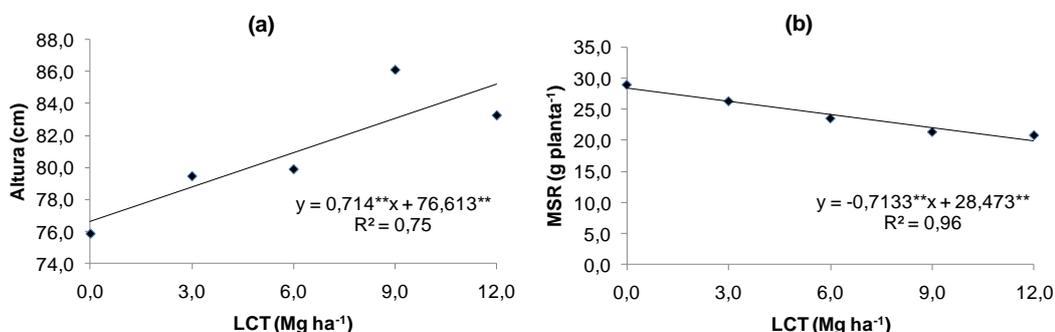


FIGURA 2 - ALTURA (a) E MASSA SECA DAS RAÍZES (b) EM MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* APÓS 120 DIAS DO TRANSPLANTIO (\*\*p<0,01).

Diversos fatores do solo, que influenciam no crescimento radicular e também na parte aérea da planta podem ter relação com os resultados obtidos. Segundo Zonta et al. (2006), os fatores abióticos que influenciam no crescimento radicular são de natureza química, física e físico-hídricas. Considerando que, neste trabalho, a água não foi limitante e, ainda que visualmente, não foram observadas diferenças de ordem física no solo entre os tratamentos, os fatores de natureza química provavelmente foram os responsáveis pela tendência diferenciada da altura e da produção de raízes na presença do resíduo.

A adição de nutrientes pelo lodo, em especial N e Ca, pode favorecer a fertilidade do solo, aumentando a oferta desses nutrientes o que pode reduzir a necessidade de síntese de raízes. Gonçalves (1995)

verificou que em árvores de *Eucalyptus grandis* com maiores taxas de crescimento possuíam menor densidade de raízes finas, o que foi atribuído à maior fertilidade do solo.

A manutenção da produção da MSPA e o crescimento em altura reforçam a ideia de que a redução da MSR não ocorreu em função de toxidez, mas pela maior oferta de nutrientes no solo proporcionada pela adução do LCT. Ressalta-se que, durante o experimento, não foi observado sintomas visuais de deficiências nutricionais ou de toxidez nas mudas de *Eucalyptus urophylla*.

Além do aspecto nutricional, o maior crescimento em altura pode ser consequência justamente da menor produção de MSR nessas plantas, por ser um dreno, a raiz consumiu menor quantidade de carboidratos, os quais, possivelmente, seriam direcionados aos meristemas apicais com consequente aumento na altura. Dessa forma, considerando que a altura da parte aérea é importante para estimar o crescimento das mudas no campo (REIS et al., 1991), a adição de lodo de curtume no solo pode melhorar a produção de eucalipto.

#### **4.2 Atributos químicos do solo incubado com lodo de curtume**

O teor de matéria orgânica (MO) do solo não diferiu entre os tratamentos e foi, em média, igual a 2,3%, sendo possível inferir que a maior parte da MO presente no LCT foi mineralizada durante o experimento. A baixa relação C/N do resíduo e as práticas da adubação e correção da acidez realizadas, associadas à elevada temperatura na casa de vegetação (Figura 1), podem ter favorecido a ação dos microrganismos decompositores. Alguns autores, estudando a atividade da microbiota do solo incubado com lodo de curtume, observaram aumento da atividade de microrganismos com a adição do resíduo (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2000; PASSIANOTO et al., 2001; FERREIRA et al., 2003; MARTINES, 2005).

Verificou-se, também, que os valores de condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS), percentagem de sódio trocável (PST) e pH aumentaram linearmente com as doses de LCT (Figura 3).

Esses atributos são utilizados no diagnóstico da salinidade do solo e o aumento em seus valores é esperado quando se adiciona o lodo de curtume, devido à sua composição rica em sais (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; COSTA et al., 2001; KONRAD e CASTILHOS, 2002; MARTINES, 2005; TEIXEIRA et al., 2006). Ressalta-se que os valores obtidos em todos os tratamentos foram menores aos limites estabelecidos na classificação do solo como salino e/ou sódico (Quadro 1).

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS.

Classificação	CE (dS m <sup>-1</sup> )	PST (%)	RAS	pH
Salino	≥ 4,0	< 15	< 13	< 8,5
Sódico	< 4,0	≥ 15	≥ 13	≥ 8,5
Salino-sódico	≥ 4,0	≥ 15	≥ 13	≥ 8,5

Fonte: Richards (1954).

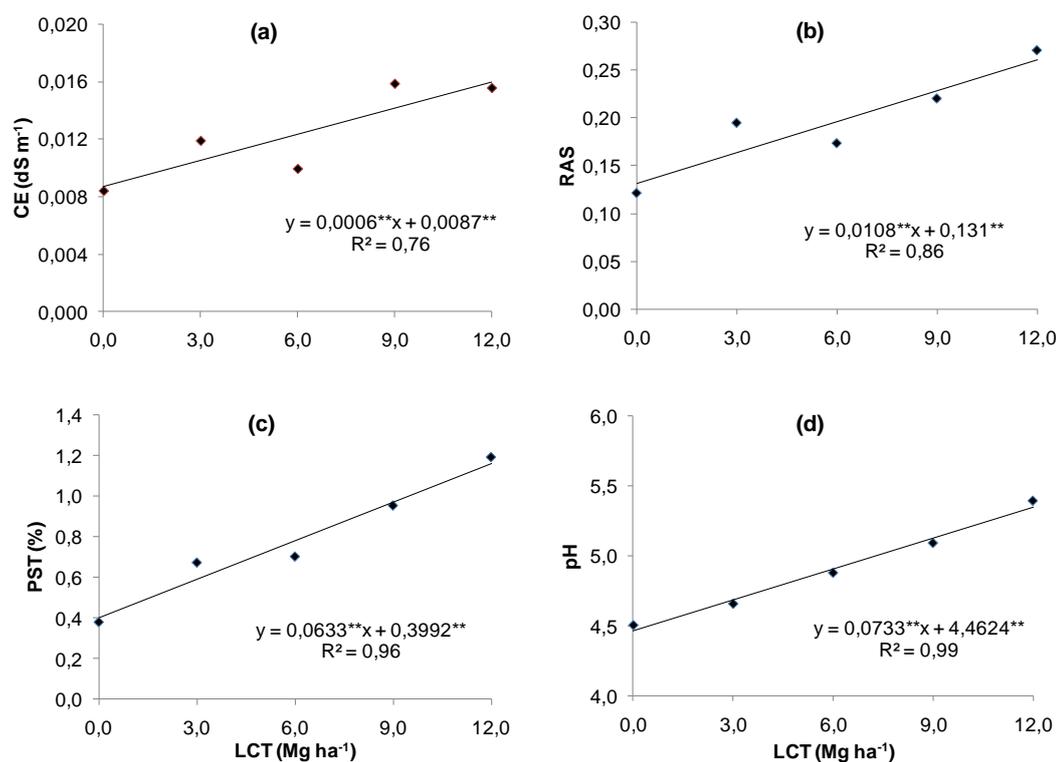


FIGURA 3 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (a), RELAÇÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO (b), PORCENTAGEM DE SÓDIO TROCÁVEL (c) E pH (d) DO SOLO APÓS ADIÇÃO DO LODO DE CURTUME E CULTIVO DE *Eucalyptus urophylla* (\*\*p<0,01).

A CE correlaciona-se com os teores de sais dissolvidos em solução que são compostos, em grande parte, pelos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (MARSCHNER, 1995). Portanto, os mecanismos que proporcionam a retirada desses elementos da solução contribuem para a redução da CE. Dessa forma, os baixos valores de CE observados, apesar da aplicação de LCT, podem ser atribuídos, em parte, ao aumento da CTC efetiva (t) do solo e à absorção desses cátions pelas plantas (Figuras 3 e 5). Abreu Junior et al. (2000), ao adicionarem composto de lixo em diferentes solos, perceberam que os menores aumentos na CE ocorreram quando a CTC inicial do solo era maior que  $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Quanto ao crescimento de plantas de eucalipto sob estresse salino, Mendonça et al. (2007) observaram diferenças na tolerância quanto aos níveis de CE entre algumas espécies de eucalipto, sendo o crescimento das mudas de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. robusta* reduzido pelo aumento da salinidade, enquanto o de *E. tereticornis* não alterou em CE de até  $8,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Considerando o baixo valor observado da CE com a adição de LCT e, ainda, a tolerância à salinidade da espécie *E. urophylla* (MITLÖHNER, 1997) é possível inferir que não ocorreu influência no crescimento das plantas neste trabalho pelos sais adicionados pelo LCT.

A RAS e a PST são importantes para verificar a existência do predomínio dos teores de Na em relação aos de Ca e Mg e, também, da ocupação das cargas da CTC do solo por esse elemento, sendo diretamente associada às propriedades físicas do solo, devido à tendência dispersiva dos colóides em presença do sódio (FREIRE e FREIRE, 2007). Dessa forma, a aplicação de calcário pode ter colaborado para os baixos valores observados de RAS e PST, pois, a adição de Ca e Mg, por meio da calagem, possivelmente contribuiu para manter o equilíbrio dos íons no solo, evitando o predomínio de Na que está presente em elevado teor no LCT.

Quanto ao pH, foram encontrados valores entre 4,5 na testemunha e 5,4 na dose LCT 12. O baixo pH no tratamento sem adição de lodo, mesmo com a aplicação de calcário, provavelmente foi causado pelo uso dos fertilizantes de reação ácida (SOUZA et al., 2007).

Com a adição de LCT houve aumento de pH, o que pode ser atribuído à dissolução dos carbonatos e hidróxidos presentes no resíduo. Nessa reação é liberada no solo a hidroxila e, também, de cátions que promovem a troca com os íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , resultando na diminuição das formas trocáveis desses últimos e, assim, favorecendo a manutenção do pH mais elevado (SOUZA et al., 2007). Vários trabalhos têm salientado o aumento no pH proporcionado pela adição de lodo de curtume, associado ou não ao uso de calcário, o que depende da composição do lodo e da dose utilizada (COSTA et al., 2001; KONRAD e CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003; MARTINES, 2005; TEIXEIRA et al., 2006).

Os níveis de pH do solo normalmente não prejudicam a produção de eucalipto, pois essa espécie é considerada tolerante à presença do alumínio nos solos ácidos. Porém, o aumento do pH até os níveis obtidos neste trabalho certamente beneficiou o crescimento das plantas, seja pela maior disponibilidade de nutrientes ou, ao mesmo tempo, pela redução na disponibilidade de metais, amenizando os efeitos tóxicos (RAIJ, 1991; VALERI et al., 1993; ROCHA et al., 2008). Accioly et al. (2004) observaram que o aumento do pH, devido a aplicação de calcário, em solos contaminados por Zn e Cd atenuou a toxidez desses metais em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Os baixos valores encontrados em relação à salinidade, apesar das condições de ambiente protegido e do volume reduzido de solo deste trabalho, permitem deduzir que o uso desse resíduo, nas doses aplicadas, em condições de campo, não deve limitar o crescimento das plantas de eucalipto por salinização, visto que, quando bem drenados, no período chuvoso, certamente haverá lixiviação dos sais adicionados, evitando o acúmulo destes no solo.

Em relação aos nutrientes no solo, verificou-se que a aplicação de LCT não influenciou o teor de P, sendo, em média, igual a  $23,6 \text{ mg dm}^{-3}$ . No entanto, ocorreu aumento nos teores disponíveis das bases, sendo de forma linear para K, Ca, e Na e quadrática para Mg (Figura 4). A liberação dos cátions pelos carbonatos e hidróxidos e a mineralização dos componentes orgânicos do lodo, provavelmente, foram as causas do aumento desses elementos no solo.

O aumento no teor de Ca indica que o LCT é uma fonte potencial desse nutriente para as plantas, especialmente para *Eucalyptus* spp., uma vez que esta espécie absorve grande quantidade desse nutriente (BARROS e NOVAIS, 1990). Outros autores também obtiveram um aumento de Ca trocável em solo com adição do lodo de curtume (COSTA et al., 2001; CASTILHOS et al., 2002; KONRAD e CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003; TEIXEIRA et al., 2006; ARAÚJO et al., 2008).

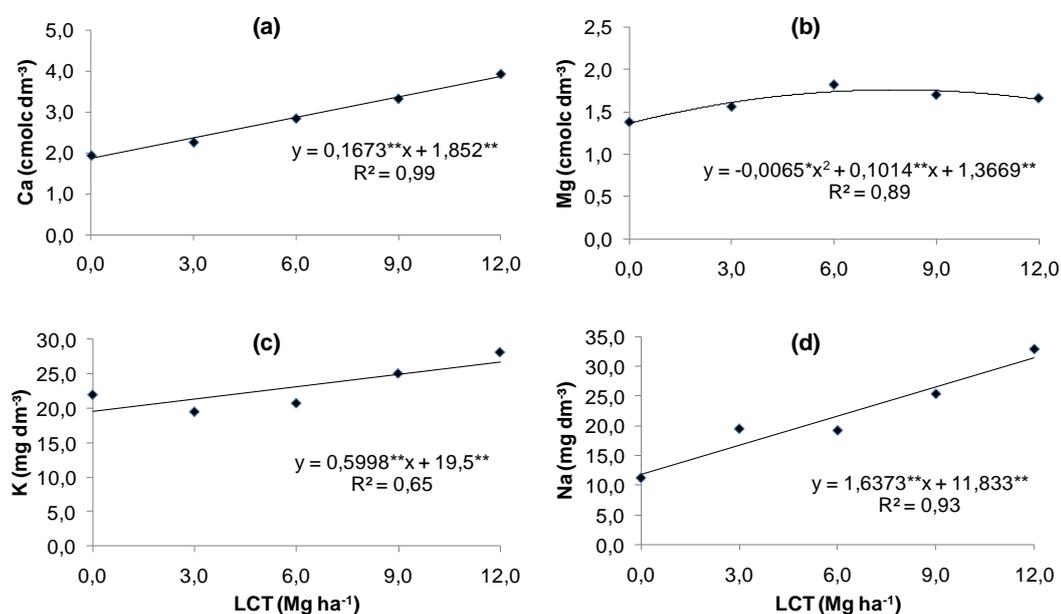


FIGURA 4 - TEORES DE CÁLCIO (a), MAGNÉSIO (b), POTÁSSIO (c) E SÓDIO (d) NO SOLO APÓS ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME E CULTIVO DE *Eucalyptus urophylla* (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ).

O teor máximo de Mg disponível no solo foi estimado na dose 7,8 Mg ha<sup>-1</sup> de LCT, acima disso houve redução do seu teor, possivelmente devido ao aumento da ocupação dos sítios de troca do solo pelo Ca e K, e em menor intensidade pelo Na, o que dificultaria a adsorção do Mg e, conseqüentemente, a sua susceptibilidade às perdas. Quando comparado ao Ca, o Mg está em baixo teor no LCT e, devido a isso, a utilização desse resíduo promove o aumento da relação Ca/Mg que, neste trabalho, pode ter sido atenuada pela aplicação de calcário, que também é fonte de Mg.

Conforme Barros e Novais (1990), o crescimento adequado de mudas de eucalipto acontece em ampla faixa da relação entre Ca e Mg, contudo, seu aumento pode alterar o equilíbrio iônico no solo, primordial para proporcionar a absorção dos nutrientes pelas plantas (MALAVOLTA, 2006).

Embora o incremento nas doses do resíduo tenha promovido o aumento do teor de potássio disponível no solo de 22,0 mg dm<sup>-3</sup> (LCT 0) para 28,1 mg dm<sup>-3</sup> (LCT 12), os valores observados foram próximos ao teor desse nutriente no Cambissolo antes da incubação, apesar da adição de 40 mg dm<sup>-3</sup> de K dias antes do transplante, o que pode estar relacionado com a absorção pelas plantas de eucalipto.

O nível crítico de K no solo pode variar entre as espécies de eucalipto e, também, quanto aos teores de Ca e Mg que, quando elevados, aumentam a possibilidade de resposta à adição do nutriente (NOVAIS et al., 1979, 1980). Barros et al. (1981) constataram que o nível crítico de K no solo para produção de mudas de eucalipto aumentou quando os teores de Ca + Mg cresceram para 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

O teor de Na disponível no solo aumentou, aproximando-se ao de K nas doses LCT 9 e LCT 12. O Na e o Ca são os elementos mais abundantes no lodo utilizado e, com isso, o aumento de seus teores no solo aconteceu de forma considerável com o uso desse resíduo, como pode ser verificado pela maior inclinação das retas das equações desses elementos em relação aos demais (Figura 4).

O aumento nos teores das bases do solo refletiu no aumento linear da saturação por bases (V) e da CTC efetiva (t), com o incremento das doses de LCT, enquanto a saturação por alumínio (m) diminuiu, sendo esses efeitos esperados devido ao aumento do pH do solo (Figura 5).

O valor de V observado na dose LCT 12 estava próximo ao recomendado por Silva et al. (2007) quando verificaram que a calagem, visando elevar a saturação por bases a 50%, proporcionou maior produção de massa seca da parte aérea em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, quando a dose de fósforo foi maior ou igual a 150 mg dm<sup>-3</sup>. Rocha et al. (2008) verificaram que, quando a

saturação por bases em Latossolo Húmico foi maior que 64%, houve redução do crescimento em plantas de eucalipto.

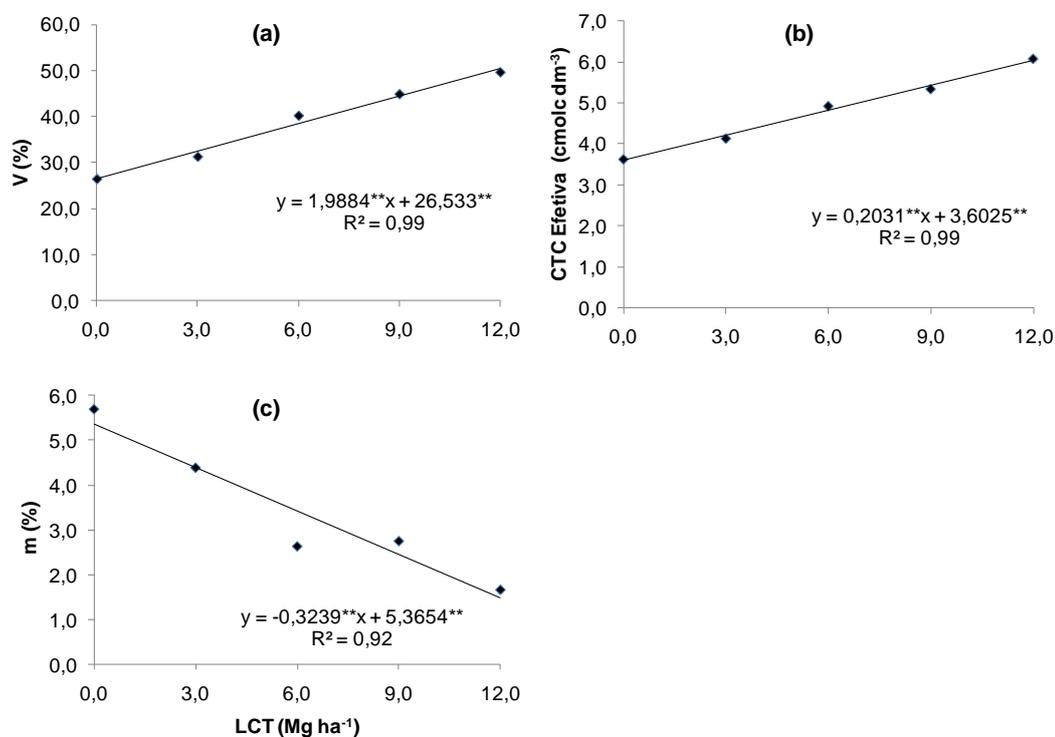


FIGURA 5 - SATURAÇÃO POR BASES (a), CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA EFETIVA (b) E SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (c) EM SOLO, APÓS INCUBAÇÃO COM LODO DE CURTUME E CULTIVO DE *Eucalyptus urophylla*.

O aumento da fertilidade dos solos com adição de LCT, tendo em vista a maior disponibilidade de Ca, Mg, K e, possivelmente, de N, além do maior pH, pode estar relacionado com a menor produção da biomassa radicular das plantas cultivadas na presença do resíduo. Gonçalves (1995), observando o crescimento radicular de *Eucalyptus grandis*, verificou que as maiores densidades de raízes foram encontradas em solos menos férteis, diminuindo com o aumento da disponibilidade de bases.

#### 4.3 Teor de nutrientes em *Eucalyptus urophylla*

Os teores de Ca na parte aérea, de Mg nas raízes e de P em ambas as partes não foram alterados pela adição do LCT. Em média, o

teor de P foi de 2,5 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 1,0 g kg<sup>-1</sup> nas raízes, enquanto o de Ca na parte aérea e de Mg, nas raízes, foram 3,8 e 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, os teores de N, K e Na em ambas as partes da planta, de Mg na parte aérea e de Ca nas raízes foram influenciados pelas doses de LCT. A relação entre as doses do lodo e o teor dos elementos nas raízes foi linear para N, quadrático para Ca, linear para Na e cúbico para K. Na parte aérea a relação foi linear para K e quadrático para Mg e Na (Figura 6).

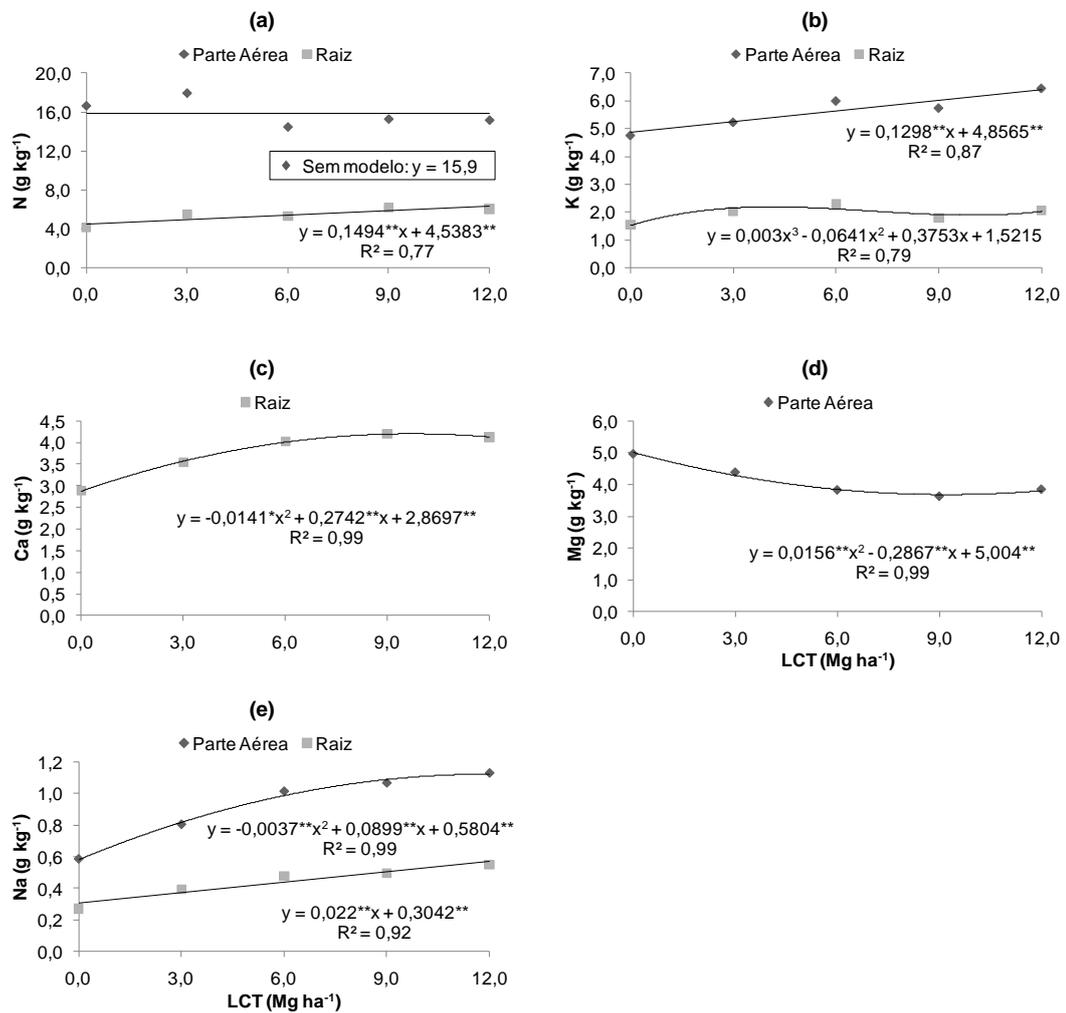


FIGURA 6 - TEORES DE NITROGÊNIO (a), POTÁSSIO (b), CÁLCIO (c), MAGNÉSIO (d) E SÓDIO (e) NA PARTE AÉREA E RAÍZES DE PLANTAS DE *Eucalyptus urophylla* CRESCENDO EM CAMBISSOLO SOB DOSES DE LCT (\*p<0,05; \*\*p<0,01).

O teor de N na parte aérea aumentou da testemunha (16,6 g kg<sup>-1</sup>) para a dose LCT 3 (17,9 g kg<sup>-1</sup>), diminuindo, em seguida,

com o aumento da dosagem de lodo, porém, a distribuição dos dados não seguiu um padrão definido, não sendo encontrado modelo adequado ao seu ajuste.

Nas raízes, o teor de N foi maior na presença do LCT, o que provavelmente aconteceu devido à maior oferta desse nutriente proporcionado pela mineralização da matéria orgânica do LCT e do solo, em consequência da adição do resíduo, considerando que a maior porção do N do solo encontra-se na forma orgânica (BARROS e NOVAIS, 1990; CANTARELLA, 2007).

Entre os nutrientes estudados, o nitrogênio foi o de maior teor, em ambas as partes da planta, em todos os tratamentos, o que é esperado devido à presença do mineral em diversos componentes celulares como proteínas, ácidos nucleicos, membrana e hormônios (SOUZA e FERNANDES, 2006).

O uso de lodo no solo também proporcionou o aumento dos teores de Ca, K e Na em relação à testemunha. A correlação positiva entre os teores de Ca e Na no solo e seus teores na planta (Tabela 3) reforça a ideia de que o aumento dos teores trocáveis desses elementos no solo contribuiu para a sua absorção, além disso, a correlação positiva entre eles indica que não ocorreu inibição ou antagonismo entre esses elementos.

Em relação ao K, observou-se que seu teor na parte aérea correlacionou-se com o teor no solo e, também, com os teores de Ca, Mg e Na, indicando que as relações entre esses elementos no solo não foram prejudiciais à sua absorção. Romero (2008) não observou efeito inibitório do sódio na absorção de K em plantas de *Eucalyptus grandis*.

Quanto ao maior crescimento em altura, observado nas plantas na presença do resíduo, é possível que possa ser consequência do maior teor do K, principalmente na parte aérea. Bellote e Ferreira (1993) observaram que, dentre os macronutrientes, o teor de K na planta foi o que mais correlacionou-se com a altura das árvores de *Eucalyptus grandis*. O efeito da adubação com K na altura dessa mesma espécie foi verificado por Romero (2008), na ausência de estresse hídrico. Como foi discutido anteriormente, o aumento da absorção de K pelas plantas de

*Eucalyptus* spp. normalmente está associado ao incremento nos teores de Ca e Mg no solo, o que foi verificado neste trabalho.

TABELA 3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA.

Teores no solo	Teores na planta					
	Parte Aérea			Raiz		
	Mg	K	Na	Ca	K	Na
Ca	- 0,75**	0,75**	0,89**	0,65**	0,31	0,80**
Mg	- 0,57**	0,43*	0,58**	0,59**	0,43*	0,60**
K	- 0,38	0,42*	0,44*	0,25	- 0,01	0,43*
Na	- 0,72**	0,69**	0,80**	0,65**	0,35	0,77**

\*p<0,05; \*\*p<0,01.

O teor de Mg na parte aérea correlacionou-se negativamente com os teores de Ca, Na e do próprio nutriente no solo que, apesar do aumento quadrático do seu teor trocável, em função das doses de LCT (Figura 4), não proporcionou aumento de seu teor na planta. Segundo Malavolta (2006), a absorção de Mg pelas plantas não depende apenas do seu teor trocável no solo, mas também dos teores de Ca, K e Al. Normalmente, o baixo teor de K na solução do solo aumenta a absorção de Mg pelas plantas, devido à uma inibição competitiva entre esses macronutrientes, os quais competem pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA et al., 1997).

As doses de lodo em que o teor de Ca na planta foi máxima (9,7 Mg ha<sup>-1</sup>) e a de Mg foi mínima (9,2 Mg ha<sup>-1</sup>) são próximas, o que reforça a hipótese de que o aumento verificado no teor de Ca, provavelmente, foi a causa da redução do Mg na planta.

O aumento do teor no solo de Na, associado ao fato de esse elemento ser menos atraído pela superfície dos colóides do solo, pode ter favorecido a permanência do íon em solução e, conseqüentemente, sua absorção. Conforme Raij (1981), a atração entre um íon e a superfície de troca do solo é influenciada por sua valência e seu tamanho hidratado, por isso, o Na é menos adsorvido em relação à maior parte das bases do solo. Na planta, o sódio pode substituir o K em algumas funções

(KORNDÖRFER, 2006), porém sua eficiência na nutrição de eucalipto vem sendo contestada (ALMEIDA et al., 2007; ROMERO, 2008).

Apesar do aumento dos teores do Na nas plantas, os níveis alcançados neste trabalho leva a crer que esse elemento não influenciou a redução da produção de MSR. Em alguns estudos envolvendo o comportamento de espécies de *Eucalyptus* spp. cultivadas em substratos ricos em Na foram constatados efeitos negativos no crescimento das plantas, porém, os teores foliares desse elemento em que ocorreu essa redução foram maiores que as observadas neste trabalho, considerando a parte aérea da planta (MYERS et al., 1998; SHIRAZI et al., 2006; EL-JUHANY et al., 2008).

Outra característica do estresse salino, que também não foi observada neste trabalho, é a redução nos teores dos nutrientes nas plantas. Ferreira et al. (2001), avaliando o crescimento de goiabeira, espécie pertencente à mesma família botânica do eucalipto, crescendo sob estresse salino, verificaram reduções nos teores de K, Ca e Mg nas plantas.

É importante ressaltar que o comportamento da produção de MSR da plantas pode influenciar no teor dos nutrientes, uma vez que em raízes de maior massa, os nutrientes encontram-se menos concentrados devido à maior área, por isso, podem ocorrer menores teores de nutrientes em raízes maiores (BARRETTI et al., 2008).

#### **4.4 Teor de cromo no solo e na planta**

O teor de cromo solúvel, extraído com água, decresceu linearmente com o aumento das doses de LCT (Figura 7), correlacionando-se com o pH (-0,81;  $p < 0,01$ ) e a CTC efetiva do solo (-0,77;  $p < 0,01$ ). Segundo Kotas e Stasicka (2000), no intervalo de pH entre 4,0 e 5,5 o cromo é encontrado predominantemente como  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ , sendo facilmente adsorvido pelos colóides do solo e, afirmam que, além de promover a precipitação dos metais, o incremento no pH também contribui para acréscimo das cargas negativas do solo, aumentando a adsorção do metal, evitando a sua presença em solução.

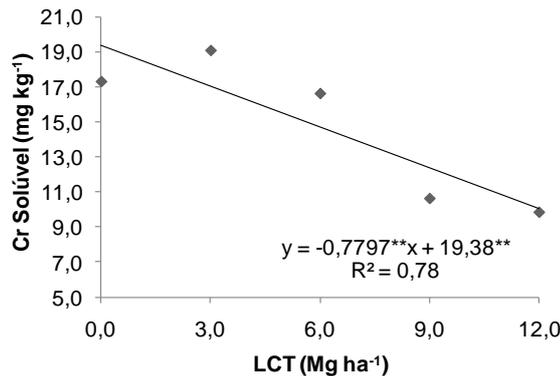


FIGURA 7 - TEOR DE CROMO SOLÚVEL NO SOLO INCUBADO COM LODO DE CURTUME (\*\* $p < 0,01$ ).

Gomes et al. (2001), estudando adsorção de cromo e outros metais em sete tipos de solos do Brasil, verificaram que, frequentemente, o cromo foi o mais retido e sua adsorção correlacionou-se positivamente com o pH e com a CTC do solo. Nesse sentido, o aumento do pH do solo devido à adição do lodo de curtume influenciou na disponibilidade do cromo, seja pelo incremento na adsorção ou na precipitação, reduzindo sua presença em solução.

O cromo solúvel presente no solo sem adição de lodo, provavelmente, tem origem nos minerais primários os quais, por meio dos processos intempéricos, disponibilizam o metal no solo que, em consequência do baixo valor de pH observado nesse tratamento, passou a ser encontrado na forma solúvel. No entanto, quando comparado ao teor de cromo total do Cambissolo, a quantidade de cromo solúvel é pequena, o que deve ter relação com a predominância do metal como componente dos minerais do solo.

Em trabalhos como os de Köleli (2004), Barra (2005), Barajas-Aceves et al. (2007) e Gupta e Sinha (2007) sobre o fracionamento do cromo em solos, com e sem adição de resíduos contendo o metal, confirmam que o teor solúvel ou disponível é pequeno em relação ao total de Cr, devido à tendência do metal em formar precipitados e ser adsorvido covalentemente pelos colóides.

Quanto ao cromo adicionado ao solo por meio do lodo, acredita-se que o metal possa estar associado às moléculas orgânicas de

difícil degradação. Conforme relatado por Aquino Neto e Camargo (2000), o cromo presente no lodo encontra-se insolúvel ou complexado com as proteínas do tecido animal.

Oliveira (2008) também constatou um pequeno percentual (<0,01%) de cromo presente no resíduo sólido da indústria de curtume solúvel em água e, segundo o autor, a hidrofobicidade das longas cadeias orgânicas que compõe o lodo diminui a superfície de contato, tornando o metal pouco solúvel em água. Porém, no solo, com a ação decompositora dos microrganismos, algumas dessas cadeias orgânicas podem ser fragmentadas e mineralizadas, o que disponibilizaria o cromo para a solução do solo e, dessa forma, o metal estaria sujeito a ser adsorvido ou precipitado, o que ocorre com maior intensidade em maiores valores de pH, os quais foram obtidos com o aumento da dose de LCT, justificando a menor presença do metal solúvel nos tratamentos com a adição do resíduo.

Nas plantas de *Eucalyptus urophylla*, em todos os tratamentos, observou-se presença de cromo, que foi restrita ao sistema radicular e, seu teor relacionou-se de forma linear e positiva com o incremento do LCT (Figura 8). Os teores nas plantas crescendo nos tratamentos que receberam a maior dose de LCT observadas neste trabalho estão de acordo com as verificadas por Shanker et al. (2005b) em raízes de quatro espécies arbóreas que foram da ordem de 425 a 600 mg kg<sup>-1</sup>.

O aumento no teor do metal nas plantas com o incremento da dose de LCT ocorreu mesmo com a redução no teor de cromo solúvel no solo. A adição do resíduo certamente aumentou o teor de cromo no solo que, mesmo não estando solúvel, pode ser encontrado em formas disponível no solo e com a acidificação da rizosfera, resultado da extrusão de prótons (H<sup>+</sup>) pelas raízes, possivelmente aumentou a disponibilidade do metal e sua absorção pela planta (ZONTA et al., 2006).

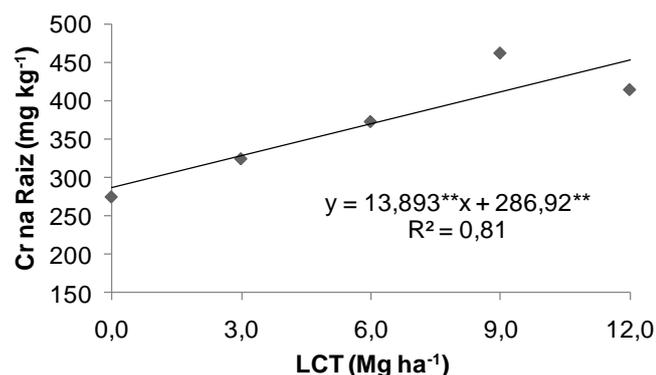


FIGURA 8 - TEOR DE CROMO NAS RAÍZES DE *Eucalyptus urophylla*, SOB DOSES DE LCT (\*\*p<0,01).

A ausência do cromo (limite de detecção 0,01 mg kg<sup>-1</sup>) na parte aérea da planta possivelmente se deve ao teor do metal acumulado não ser suficiente para ultrapassar o potencial de acúmulo nas células das raízes. Conforme Adrian (1991)\*, citado por Bertelli (2007), a elevação dos teores de cromo no solo pode afetar os mecanismos que regulam sua entrada na planta e, dessa forma, permitir sua translocação para as demais partes do vegetal. Gupta e Sinha (2006), cultivando gergilim (*Sesamum indicum*) em substrato contendo proporções de 0, 10, 25, 35, 50 e 100% de lodo de curtume, observaram que houve incremento do teor do cromo nas raízes, no entanto, somente a partir da dose 35% o metal foi detectado na parte aérea.

Apesar do relato do efeito prejudicial do cromo no crescimento de diferentes espécies vegetais, neste trabalho, pelos motivos anteriormente discutidos, acredita-se que a presença do metal no eucalipto não tem relação com o comportamento no crescimento das plantas.

As concentrações de cromo verificadas neste trabalho foram menores que as observadas por Santana (2007) em raiz de jenipapo cultivada em solução nutritiva, sendo iguais a 1.713 e 1.867 mg kg<sup>-1</sup> quando se adicionou 30 mg L<sup>-1</sup> de Cr (III) e Cr (VI), respectivamente, o que possivelmente ocorreu devido à pronta disponibilidade do metal

\* ADRIAN, J. Incidence de l'épandage des boues urbaines sur l'apport de chrome alimentaire. Discussion. **Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine**, v.175, n. 6, p.849-859, 1991.

fornecido na solução. Nesse mesmo trabalho, o teor de cromo de, aproximadamente,  $1.400 \text{ mg kg}^{-1}$  na raiz de jenipapo crescendo em solução com concentração de  $15 \text{ mg L}^{-1}$  de Cr (III) não afetou o crescimento das plantas em relação à testemunha.

## 5 CONCLUSÕES

1. A aplicação do lodo aumentou a altura e o teor de N, Ca, K, Na e Cr nas plantas.
2. A adição de lodo ao solo proporcionou o aumento dos teores trocáveis de Ca, Mg, K e Na e, também, da condutividade elétrica, da relação de adsorção de sódio, da percentagem de sódio trocável e do pH do solo, sem provocar, no entanto, a salinidade.
3. O aumento do pH diminuiu o teor de Cr solúvel no solo.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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 JUNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2005. v. 4, p. 391-470.

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 775-783, 2004.

ALCÂNTARA, M. A. K.; AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Comportamento do crômio no ambiente. **Revista de Ciências Médicas**, v. 2, n. 1, p. 83-125, 2000.

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Transporte de crômio trivalente influenciado pelo pH, horizonte do solo e fontes do crômio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 497-501, 2001.

ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: VITAL-TORRADO, P. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2005. v. 4, p. 1-42.

ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J-P.; GONÇALVES, J. L. M.; MOREIRA, R. M.; ROJAS, J. S. D. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 1., 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté. 2007. p. 1-7.

ALVAREZ V. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

AQUINO NETO, V. **Avaliação do aproveitamento agrícola de lodos de curtume**. 1998. 111 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – USP/ESALQ, Piracicaba-SP.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Crescimento e acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com CrCl<sub>3</sub> e resíduo de curtume. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, p. 225-235, 2000.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2008**. Brasília: ABRAF, 2009. 120 p.

BARAJAS-ACEVES, M.; CORONA-HERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ-VEZQUEZ, R. Chromium fractionation in semi-arid soils amended with chromium and tannery sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, p. 91-97, 2007.

BARCELO, J.; PASCHENRIEDER, C. H.; GUNSE, B. Effect of Cr (VI) on mineral element composition of bush beans. **J. Plant Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 211-217, 1985.

BARNHART, J. Occurrences, uses, and properties of chromium. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 26, p. S3–S7, 1997.

BARRA, C. S. **Extração sequencial de fósforo e metais pesados em Latossolo Vermelho Amarelo a partir da aplicação de lodo de esgoto**. 2005. 190 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BARRETTI, P. B.; SOUZA, R. M.; POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, J. T. Aumento da eficiência nutricional de tomateiros inoculados com bactérias endofíticas promotoras de crescimento. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1541-1548, 2008.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H. et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2002. v. 2, p. 487-592.

BARROS, N. F.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Níveis críticos de Ca e K no solo para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 18., 1981, Salvador. **Programas e Resumos...**: SBCS, p. 92.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

BARTLETT, R. J. Chromium Cycling in soils and water: links, gaps, and methods. **Environmental Health Perspectives**, v. 92, p. 17-24, 1991.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Mobility and bioavailability of chromium in soils. In: NRIAGU, J. O.; NIEBOER, E. (Eds.) **Chromium in the Natural and Human Environments**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1988. p. 267-304.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Oxidation of chromium in soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 8, p. 31-35. 1979.

BARTLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. Behavior of chromium in soils: I. Trivalent forms. **Journal of Environmental Quality**, v. 5, n. 4, p. 379-382, 1976.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 26/27, p. 01-65, 1993.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 37, p. 99-106, 1998.

BERTELLI, C. **Efeitos da disposição de lodos de curtume no solo e na planta**. 2007. 67 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro-SP.

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

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Orgs.). **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1, p. 375-470.

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 Ciências do Solo**, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; CASTILHOS, R. M. V. Atividade microbiana em solo suprido com lodo de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 1, p. 71-76, 2000.

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**, v. 5, n. 3, p. 228-232, 1999.

CERVANTES, J. C.; CAMPOS-GARCÍA, J.; DEVARAS, S.; GUTIÉRRES-CORONA, F.; LOZA-TAVERA, H.; TORRES-GUSMÁN, J. C.; MORENO-SÁNCHEZ, R. Interaction of chromium with microorganisms and plant. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 25, n. 7, p. 335-347, 2001.

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

CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J-K. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, v. 45, p. 437-448, 2005.

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.

COURO, Calçados e Artefatos. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: Departamento das Indústrias Intensivas em Mão-de-Obra e Recursos Naturais. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=213>>. Acesso em: 26/02/2010.

DUBBIN, W. E.; GOH, T. B. Sorptive capacity of montmorillonite for hidroxy-Cr polymers and the mode of Cr complexation. **Clay Minerals**, v. 30, p. 175-185, 1995.

EL-JUHANY, L. I.; AREF, I. M.; AHMED, A. I. M. Response of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus microtheca* and *Eucalyptus intertexta* seedlings to irrigation with saline water. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, p. 825-834, 2008

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FENDORF, S. E.; FENDORF, M.; SPARKS, D. L.; GRONSKY, R. Inhibition mechanisms of Cr(III) oxidation by manganese oxides. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 153, p. 37-54, 1992.

FENDORF, S. E.; LAMBLE, G. M.; STAPLETON, M. G.; KELLEY, M. J.; SPARKS, D. L. Mechanisms of chromium (III) sorption on silica. 1. Cr (III) surface structure derived by extended X-ray absorption fine structure spectroscopy. **Environmental Science and Technology**, v. 28, p. 284-289, 1994.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; GUIMARAES, P. T. G.; PINTO, J. E. B. P. Crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H. B. K) sob diferentes níveis de salinidade. **Ciência Agrotécnica**, v. 27, n. 2, p. 278-284, 2003.

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.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

FREIER, M.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p. 102-107, 2006.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F., et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 929-954.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; SILVA, A. G.; MENDONÇA, E. S.; NETTO, A. R. Sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1115–1121, 2001.

GONÇALVES, J. L. M. Sistema radicular de adsorção de *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. **Silvicultura**, v. 17, n. 61, p. 8-10, 1995.

GRIFFIN, R. A.; AU, A. K.; FROST, R. R. Effect of pH on adsorption of chromium from landfill leachate by clay minerals. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 12, n. 8, p. 431-449, 1977.

GUPTA, A. K.; SINHA, S. Chemical fractionation and heavy metal accumulation in the plant of *Sesamum indicum* (L.) var. T55 grown on soil amended with tannery sludge: Selection of single extractants. **Chemosphere**, v. 64, p. 161-173, 2006.

GUPTA, A. K.; SINHA, S. Phytoextraction capacity of the plants growing on tannery sludge dumping sites. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1788-1794, 2007.

IRVINE, S. A.; REID, D. J. Field prediction of sodicity in dryland agriculture in Central Queensland, Australia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, p. 1349-1357, 2001.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Behavior of chromium in soils: V. Fate of organically complexed Cr (III) added to soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 12, n. 2, p. 169-172, 1983.

KÖLELI, N. Speciation of chromium in 12 agricultural soils from Turkey. **Chemosphere**, v. 57, p. 1473-1478, 2004.

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, p. 257-265, 2002.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Atividade Microbiana em um Planossolo após a adição de resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 131-135, 2001.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KOTAS, J.; STASICKA, Z. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. **Environmental Pollution**, v. 107, p. 263-283, 2000.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. 2005. 74 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – USP-ESALQ. Piracicaba.

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.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; SANTIAGO, A. R.; RODRIGUES, L. A.; FREITAS, T. A. S. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus* sp sob estresse salino. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 365-372, 2007.

MITLÖHNER, R. Which *Eucalyptus* species could grow on different sites in the Paraguayan Chaco considering water stress? In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador, **Proceedings...**, Colombo: Embrapa-CNPQ, 1997, v. 1, p. 433-439

MYERS, B. J.; BENYON, R. G.; THEIVEYANATHAN, S.; CRIDDLE, R. S.; SMITH, C.J.; FALKNER, R. A. Response of effluent-irrigated *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* to salinity and vapor pressure deficits. **Tree Physiology**, v. 18, p. 565-573, 1998.

NOVAIS, R. F.; GOMES, J. M.; ROCHA, D.; BORGES, E. E. L. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). I - Efeito da calagem e dos nutrientes N, P e K. **Revista Árvore**, v. 3, p. 121-134, 1979.

NOVAIS, R. F.; GOMES, J. M.; ROCHA, D.; BORGES, E. E. L. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). II- Efeito da calagem, do N e do superfosfato simples. **Revista Árvore**, v. 4, p. 1-13, 1980.

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

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

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R.; Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n.2, p. 125-130, 2001.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

RAI, D.; EARY, L. E.; ZACHARA, J. M. Environmental chemistry of chromium. **The Science of the Total Environment**, v. 86, p. 15-23, 1989.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981. 142 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAMOLIYA, P. J.; PANDEY, A. N. Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). **J. Arid Environ.**, v. 51, p. 121-132, 2002.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; REGAZZI, A. J.; LELES, P. S. S. Crescimento e forma de fuste de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. Allem.) sob diferentes níveis de sombreamento e tempo de cobertura. **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 23-34, 1991.

RICHARDS, L. A. (Ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Agriculture Handbook**. Washington: United States Salinity Laboratory, v. 60, p. 160, 1954.

ROCHA J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; SILVA, C. A.; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo Húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 255-263, 2008.

ROMERO, R. R. **Respostas fisiológicas de plantas de *Eucalyptus grandis* à adubação com potássio ou sódio**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - USP-ESALQ. Piracicaba-SP.

SANTANA, K. B. **Respostas morfo-fisiológicas de *Genipa americana* L. ao cromo tri e hexavalente**: avaliação de seu potencial fitorremediador. 2007. 48 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA.

SAUR, E.; LAMBROT, C.; LOUSTAU, D.; ROTIVAL, N.; TRICHET, P. Growth and uptake of mineral elements in response to sodium chloride of three provenances of maritime pine. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 2, p. 243-256, 1995.

SHANKER A. K.; CERVANTES, C.; LOZA-TAVERA, H.; AVUDAINAYAGAM, S. Chromium toxicity in plants. **Environment international**, v. 31, p. 740-753, 2005a.

SHANKER, A. K.; RAVICHANDRAN, V.; PATHMANABHAN, G. Phytoaccumulation of chromium by some multipurpose-tree seedlings. **Agroforestry Systems**, v. 64, p. 83-87, 2005b.

SHIRAZI, M. U.; KHAN, M. A.; ALI, M.; MUJTABA, S. M.; MUMTAZ, S.; ALI, M.; KHANZADA, B.; HALO, M. A.; RAFIQUE, M.; SHAH, J. A.; JAFRI, K. A.; DEPAR, N. Growth performance and nutrient contents of some salt tolerant multipurpose tree species growing under saline environment. **Pak. J. Bot.**, v. 38, p. 1381-1388, 2006.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; BELIZÁRIO, M. H. Interação calagem-adubação fosfatada e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 73, p. 63-72, 2007.

SILVA, F. C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SKEFFINGTON, R. A.; SHEWRY, P. R.; PETERSON, P. J. Chromium uptake and transport in barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.). **Planta**, v. 132, p. 209-214, 1976.

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, 2007. p. 205-274.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

STAPE, J. L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *Eucalyptus grandis* em areias quartzosas através da fertilização de manutenção. **Silvicultura**, v. 42, n. 3, p. 386- 390, 1990.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed., Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995. 215 p.

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.

TREBIEN, D. O. P. **Influência dos teores de matéria orgânica, óxidos de manganês facilmente reduzíveis e umidade na oxidação de crômio no solo**. 1994. 81 p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

VALERI, S. V.; AGUIAR, I. B.; CORRADINI, L. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivado em areia quartzosa, em resposta à aplicação de fósforo e calcário dolomítico. **IPEF**, n. 46, p. 63-75, 1993.

VALERI, S. V.; FERREIRA, M. E.; MARTINS, M. I. E. G.; BANZATTO, D. A.; ALVARENGA, S. F.; CORRADINI, L.; VALLE, C. F. Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 53-71, 2001.

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, 2006. p. 355-374.