

CRESCIMENTO E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM PINHÃO MANSO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO¹

FABIANO BARBOSA DE SOUZA PRATES^{2*}, REGYNALDO ARRUDA SAMPAIO³, WILIAN JUNIO DA SILVA⁴, LUIZ ARNALDO FERNANDES³, GERALDO RIBEIRO ZUBA JUNIO⁵, HELOÍSA MATTANA SATURNINO⁶

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, desenvolvimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Os tratamentos, em esquema fatorial 5 x 2, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, corresponderam a cinco doses de lodo de esgoto (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha⁻¹, base seca) e duas doses de silicato de cálcio e magnésio (0 e 1 t ha⁻¹). Foram coletadas amostras de solo a 0-20 e 20-40 cm de profundidade e das folhas mais velha não senescente e mais nova totalmente expandida para análise de macronutrientes. Foram determinados no 18º mês de plantio o diâmetro do caule (DC), da copa (DCO) e a altura da planta (ALT). A aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo aumentou o pH, os teores de fósforo, cálcio e magnésio disponíveis no solo e o teor de magnésio na planta, porém não influenciou o crescimento e o desenvolvimento do pinhão manso. O lodo de esgoto, por outro lado, promoveu aumento dos teores de matéria orgânica e fósforo no solo, e de fósforo, cálcio e magnésio na planta. Não foram constatadas interações relevantes entre o lodo de esgoto e o silicato, e nem efeito desse último sobre o crescimento e o desenvolvimento da planta, recomendando-se somente a aplicação de lodo de esgoto no cultivo do pinhão manso.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L. Oleaginosa. Biossólido.

GROWTH AND MACRONUTRIENTS CONCENTRATIONS IN PHYSIC NUT FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE AND CALCIUM AND MAGNESIUM SILICATE

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the growth, development and macronutrients concentrations in physic nut fertilized with sewage sludge and calcium and magnesium silicate. The treatments, in a factorial scheme 5 x 2, distributed in design in randomized block with three replications, corresponded to five doses of dehydrated sewage sludge (0; 4.8; 9.6; 14.4 and 19.2 t ha⁻¹, dry basis) and two doses of calcium and magnesium silicate (0 and 1 t ha⁻¹). Were collected soil samples at 0-20 and 20-40 cm deep, and of the older leaf not senescent and of the youngest leaf fully expanded for analysis of macronutrients. Were determined in the 18º month of planting the stem diameter (DC), the crown diameter (DCO) and the stem height (ALT). The application of silicate of calcium and magnesium in soil increased the pH, the concentrations of phosphorus, calcium and magnesium available in the soil and magnesium concentration in the plant, however, did not influenced the growth and development of physic nut. Sewage sludge, on the other hand, promoted increased of the concentrations of organic matter and phosphorus in the soil, and of phosphorus, calcium and magnesium in the plant. There were no relevant interactions between the sewage sludge and silicate, and nor the affect of this last about the growth and development of the plant, recommending only the application of sewage sludge in the cultivation of physic nut.

Keywords: *Jatropha curcas* L. Oleaginous. Biossolid.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação 22/08/2010; aceito em 02/12/2010.

²Doutorando em Ciência do Solo – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, BR 465, Km 7, 23890-000, Seropédica - RJ; Bolsista CAPES; fbprates@gmail.com

³Professor do Instituto de Ciências Agrárias – ICA, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, 39404-006, Montes Claros - MG; rsampaio@ufmg.br; larnaldo@ufmg.br

⁴Acadêmico do Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias – ICA, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, 39404-006, Montes Claros - MG; Bolsista FAPEMIG; wilianjuniorsilva@yahoo.com.br

⁵Mestrando em Ciências Agrárias, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, 39404-006, Montes Claros - MG; juniozuba@yahoo.com.br

⁶Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, Rodovia MGT 122, km 155, Caixa Postal 12, Zona Rural, 39527-000, Nova Porteirinha – MG; heloisams@epamig.br

INTRODUÇÃO

Diante da preocupação atual com o efeito estufa, o aquecimento global e a escassez das reservas mundiais de combustível fóssil, o pinhão manso tem despertado interesse dos produtores, do governo e das instituições de pesquisa, por ser uma cultura rústica, adaptada as mais diversas condições edafoclimáticas, e com boa sobrevivência em condições de solos marginais de baixa fertilidade natural (ARRUDA et al., 2004; DIAS et al., 2007; SATURNINO et al., 2005). Dessa forma, com a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso para a produção de biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o aumento das áreas de plantio com essa cultura em todo o país, principalmente nas regiões mais carentes, como o semi-árido brasileiro (ARRUDA et al., 2004).

Contudo os resultados de pesquisas com a cultura do pinhão manso são ainda incipientes e preliminares e, para se obter alta produtividade de frutos, há necessidade de cultivo em solos férteis e com boas condições físicas. Logo, a correção da acidez e da fertilidade do solo é decisiva para se obter sucesso e lucratividade nessa cultura (LAVIOLA; DIAS, 2008). Silva et al. (2009) relatam que a omissão de macro e micronutrientes em plantas de pinhão manso provocam sintomas visuais de deficiência nutricional comuns a outras espécies e essas deficiências limitam a produção de matéria seca. Além disso, Oliveira et al. (2010) destacam que o pinhão manso é fortemente influenciado na sua fase inicial pelo estresse salino, afetando o seu desenvolvimento.

A viabilidade do uso agrícola de materiais orgânicos, como o lodo de esgoto, está relacionada à origem dos materiais e aos tratamentos aos quais foram submetidos (GUIMARÃES, 2008). Por ser constituído de material rico em matéria orgânica e nutrientes, esse resíduo se torna um componente viável na utilização para condicionamento físico e fertilização do solo para uso agrícola, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento (TSUTIYA et al., 2002; VIEIRA; CARDOSO, 2003). No Brasil, o lodo de esgoto já é utilizado predominantemente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (CHIBA et al., 2008a), bem como nas culturas do eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000) e mamona (BACKES et al., 2009). O uso de lodo de esgoto em oleaginosas ainda é pouco estudado, sendo o girassol e a mamona as mais pesquisadas (FIGUEIREDO; GRASSI FILHO, 2007; OLIVEIRA et al., 2009). Esses estudos sobre o uso do lodo de esgoto são importantes para a avaliação do valor agrônomico desse resíduo.

Os silicatos de cálcio e magnésio são também resíduos que requerem adequada disposição final. À exemplo do lodo de esgoto, uma boa destinação pode ser o uso na agricultura, uma vez que possuem composição similar e agem de forma semelhante aos calcários, podendo substituí-los com eficiência no

aumento do pH do solo e como fonte de nutrientes e, também, influenciar a disponibilidade de nitrogênio no solo (CLAUSSEN; LENS, 1995; KORNDÖRFER et al., 2002).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, desenvolvimento e teores de macronutrientes no solo e em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril de 2008 a novembro de 2009, em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em Cambissolo Háplico, cultivando-se o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).

Os tratamentos, no esquema fatorial 5 x 2, foram distribuídos em blocos casualizados e corresponderam a cinco doses de lodo de esgoto em base seca (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha⁻¹) e duas doses de silicato de cálcio e magnésio, 0 e 1 t ha⁻¹, com três repetições.

O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da COPASA-MG, no município de Juramento – MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa, com desidratação do lodo de esgoto em leito de secagem.

O silicato de cálcio e magnésio utilizado foi um produto comercial contendo 36% de CaO, 9% de MgO e 23% de SiO₂, PRNT de 85% e teores de Fe (27,20 mg kg⁻¹), Zn (19,00 mg kg⁻¹), Mn (43,00 mg kg⁻¹), e Cu (19,00 mg kg⁻¹).

As análises químicas do solo e do lodo foram realizadas de acordo com metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995) e Embrapa (1997), conforme apresentadas na Tabela 1.

As covas foram feitas com o auxílio do trator, usando perfuratriz e com acabamento manual, obtendo dimensões de 40 x 40 x 40 cm. A adubação foi realizada de uma única vez nas covas de plantio, utilizando-se somente o silicato de cálcio e magnésio e o lodo de esgoto, conforme os tratamentos. O espaçamento entre plantas e fileiras foi de 2,5 x 2,5 metros, respectivamente. Cada unidade experimental foi composta por 16 plantas, sendo a parcela útil formada por 4 plantas centrais.

As mudas do pinhão manso foram feitas em sacos de polietileno com volume de 4 litros. O substrato utilizado foi composto por 1 parte de areia + 1 parte de terra de subsolo + 1 parte de esterco curtido. As sementes antes do semeio ficaram submersas em água, em temperatura ambiente, por 24 horas e depois semeadas. Dois meses após a germinação, no início de junho de 2008, as mudas foram transplantadas para as covas.

Foram determinados, no décimo oitavo mês

após o transplante, o diâmetro do caule a 10 cm do solo, com o auxílio de um paquímetro; a altura da planta, que foi medida do solo até a gema apical; e o diâmetro da copa, considerando-se sempre a posição de maior diâmetro para medida. Tanto a altura da planta quanto o diâmetro da copa foram determinados com o auxílio de uma trena. Também foram determinados o número de dias do surgimento da primeira inflorescência e a porcentagem de plantas floridas até o décimo oitavo mês após o transplante.

Após um ano do transplante, foram coletadas a 10 cm de distância do caule, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, quatro subamostras por parcela, para formarem uma amostra composta para análises de matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al, conforme metodologias preconizadas pela Embrapa (1999) e Tedesco et al. (1995). Para análise de P, K, Ca e Mg na planta, conforme metodologias precon-

zadas por Tedesco et al. (1995), foram coletadas, no início da primeira floração, amostras compostas da folha mais velha não senescente e da folha mais nova totalmente expandida; separado limbo foliar do seu pecíolo.

Os dados obtidos em esquema fatorial 5 x 2, no delineamento em blocos casualizados, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas às doses de silicatos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e as referentes às doses de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada até 10% de probabilidade, pelo teste t. As variáveis diâmetro do caule a 10 cm do solo, altura da planta e diâmetro da copa foram correlacionadas entre si pelo teste de Pearson a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo e do lodo de esgoto* utilizados no experimento.

| Prof. do solo cm | pH H ₂ O | P-reman. mg L ⁻¹ | P-melich - mg dm ⁻³ | K - | Ca | Mg | Al | H+Al mmol dm ⁻³ | SB | t | T | m | V | M.O. | Areia grossa | Areia fina | Silte | Argila |
|------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------------------------|------|------|-------|------|-----|------|--------------|------------|-------|--------|
| 0-20 | 6,0 | 40,6 | 1,5 | 90 | 59 | 16 | 0,0 | 24 | 77,3 | 77,3 | 101,3 | 0 | 76 | 46 | 120 | 200 | 380 | 300 |
| 20-40 | 5,4 | 42,3 | 0,6 | 30 | 33 | 10 | 7,0 | 39,5 | 43,8 | 50,8 | 83,3 | 14 | 53 | 22,4 | 50 | 470 | 200 | 280 |
| Lodo de esgoto | pH H ₂ O | C.O. | N | P | K | Ca | Mg | S | Zn | Fe | Mn | Cu | Cd | Pb | Cr | Ni | - | - |
| | 4,4 | 62,4 | 15,4 | 2,8 | 5,6 | 5,5 | 1,9 | 10,6 | 22,0 | 31,0 | 144,0 | 58,0 | 0,0 | 4,6 | 0,0 | 9,8 | - | - |

*Umidade do lodo a 65 °C: 6%; Densidade do lodo: 0,90 g cm⁻³.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis de crescimento e desenvolvimento da planta de pinhão manso, não foram constatadas interações significativas entre as doses de silicato de cálcio e magnésio e as de lodo de esgoto aplicadas.

O silicato de cálcio e magnésio não influenciou em nenhuma das variáveis estudadas, conforme ilustra a Tabela 2. Na literatura não foram encontrados registros do uso de silicatos de cálcio e magnésio em pinhão manso, porém, em outras espécies, é comum o uso desse resíduo. A exemplo do que ocorreu neste experimento, Caldeira Júnior et al. (2009) ressaltam que o silicato de cálcio e magnésio não interferiu no crescimento e no desenvolvimento do *Gonçalo-Alves* (*Astronium fraxinifolium* Schott) na presença de lodo de esgoto. Por outro lado, Prado e Natale (2004) encontraram aumento na altura, no diâmetro do caule e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro com o incremento das doses de silicato de cálcio e magnésio. Fernandez et al. (2009) também admitem que o crescimento do feijoeiro foi favorecido pelo silicato de cálcio e magnésio misturado com resíduo cultural de braquiária.

Em relação à aplicação do lodo de esgoto,

observa-se que o diâmetro de copa aos dezoito meses apresentou ajuste de curva de regressão [$Y = (7353,94 + 326,741 \text{***}X - 14,841 \text{***}X^2)^{0,5}$, com significância dos coeficientes a 0,1% de probabilidade pelo teste t, com $R^2 = 0,8286$]. Constata-se, com base na equação, que o diâmetro da copa aumentou com o incremento das doses de lodo de esgoto, atingindo o valor máximo de 95,67 cm, com a aplicação de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, tendo redução desse crescimento de 90,31 cm, com aumento dessa aplicação para 19,2 t ha⁻¹. Corroborando esses resultados, Caldeira Júnior et al. (2009) encontraram resposta similar, tendo aumento de copa de 40,78 cm em *Gonçalo-Alves*, com a aplicação de 11,4 t ha⁻¹ e redução da mesma, com o aumento das doses de lodo aplicadas. Santos et al. (2010) afirmam que o diâmetro da copa do pinhão manso sofre intensa redução durante a estação de inverno, com a queda das folhas, mas que essas ressurgem vigorosamente após o início das chuvas.

Por não ter ocorrido ajuste de modelo significativo de regressão em relação ao diâmetro do caule do pinhão manso com as doses de lodo de esgoto aplicadas, a média encontrada para essa variável foi de 5,84 cm. Por outro lado, o efeito do lodo de esgoto sobre o aumento do diâmetro do caule de plantas foi observado por Campos e Alves (2008). Esses

autores atribuíram os resultados ao fato do lodo de esgoto atuar como condicionador de solos e ser provedor de nutrientes para as plantas.

A variável altura da planta do pinhão manso aos dezoito meses também não se ajustou à curva de regressão, com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas, tendo uma média encontrada de 128,44 cm. Já Caldeira Júnior et al. (2009), com a aplicação de 12,73 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, obtiveram altura de 54,22 cm em Gonçalo-Alves, em área degradada. O efeito positivo do lodo em relação ao crescimento em altura de plantas fica evidente também em Backes et al. (2009), que encontraram resposta linear da altura de mamoneira, aos cinquenta dias de avaliação, com aplicação de 32 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, sendo que apenas o lodo de esgoto influenciou nessa variável no experimento realizado.

Embora as variáveis diâmetro do caule e altura da planta não tenham ajustado curva de regressão com as doses de lodo de esgoto, essas ao serem correlacionadas entre si, apresentaram altos valores de correlação, sendo a correlação entre diâmetro da copa e o diâmetro do caule com $r = 0,91$, a correlação entre diâmetro da copa e altura da planta com $r = 0,79$. Diante do exposto, considerou-se a dose de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto como a mais adequada para a fertilização do pinhão manso.

A percentagem média de florescimento da planta até os 288 dias após transplante das mudas para o campo foi de 39,90%. Observou-se que as inflorescências ocorreram sempre no período chuvoso, mesmo o experimento sendo irrigado. Esses resultados corroboram com Santos et al. (2010), que ao avaliarem a fenologia e capacidade fotossintética do pinhão manso em diferentes épocas do ano, observaram que no período chuvoso, houve maior intensidade de inflorescência quando comparado aos períodos de seca.

Em relação ao pH do solo adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio, apenas o pH do solo na profundidade de 0 a 20 cm apresentou interação entre as doses aplicadas de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio na cultura do pinhão

manso (Tabela 3). Observa-se que, em todas as doses de lodo aplicadas, o pH do solo nessa profundidade foi mais elevado quando houve incorporação de silicato de cálcio e magnésio; fato também observado para a profundidade de 20 a 40 cm. O aumento do pH do solo com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio também foi relatado por Carvalho-Pupatto et al. (2004), os quais constataram que a aplicação de 1 t ha⁻¹ elevou o pH do solo para 6,2.

Já em relação aos nutrientes e à matéria orgânica no solo, não foram constatadas interações significativas entre as doses de silicato de cálcio e magnésio e as de lodo de esgoto aplicadas. Dessa forma, na Tabela 3 são mostradas as comparações entre as médias de tratamentos dessas variáveis referentes às doses de silício aplicadas. Verifica-se que para, a matéria orgânica e o potássio disponível, não houve nenhuma influência da aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo. Entretanto, para o fósforo, o cálcio e o magnésio, houve aumento da disponibilidade desses nutrientes com a adição deste corretivo.

O aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo, com a aplicação de silicato (Tabela 3), resulta da sua riqueza nesses elementos, entretanto, no caso do fósforo, o aumento pode ser atribuído ao aumento da CTC do solo e, principalmente, ao fato do silicato (SiO₄⁻) bloquear os sítios de adsorção de fósforo dos óxidos de ferro e alumínio e deslocar o fosfato fixado para a solução do solo, devido à sua preferência em relação ao fosfato pelos sítios de adsorção (CARVALHO et al., 2001).

Em relação à soma de bases, H+Al, CTC efetiva, CTC a pH 7,0 e saturação por bases (V) (Tabela 4), somente o H+Al e a V na profundidade de 0-20 cm apresentaram interação entre as doses de silicato e de lodo de esgoto aplicadas. Observa-se que a soma bases aumentou com a aplicação de silicato, em razão da sua riqueza em cálcio e magnésio. Para o H+Al na profundidade de 0-20 cm, os menores valores foram obtidos com a aplicação de silicato, o que demonstra o poder neutralizante da acidez por esse resíduo.

Tabela 2. Diâmetro de caule (DC), altura da planta (ALT) e diâmetro da copa (DCO) de plantas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) 18 meses após o plantio, em função da adubação com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

| Variável | Dose silício (t ha ⁻¹) | Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹) | | | | | Média |
|------------|------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|----------|
| | | 0 | 4,8 | 9,6 | 14,4 | 19,2 | |
| DC18 (cm) | 0 | 5,11 | 6,10 | 6,36 | 5,45 | 5,90 | 5,75 a |
| | 1 | 5,83 | 6,07 | 5,99 | 5,63 | 5,98 | 5,90 a |
| | Média | 5,47 | 6,08 | 6,18 | 5,54 | 5,94 | - |
| ALT18 (cm) | 0 | 120,42 | 127,50 | 132,58 | 116,33 | 120,33 | 123,43 a |
| | 1 | 141,83 | 136,67 | 135,00 | 121,33 | 132,42 | 133,45 a |
| | Média | 131,13 | 132,08 | 133,79 | 118,83 | 126,38 | - |
| DCO18 (cm) | 0 | 70,83 | 92,00 | 89,17 | 92,25 | 84,58 | 85,77 a |
| | 1 | 99,33 | 94,67 | 105,00 | 91,58 | 98,42 | 97,80 a |
| | Média | 85,08 | 93,33 | 97,08 | 91,92 | 91,50 | - |

Para cada variável, médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3. pH e teores de matéria orgânica (MO), fósforo, potássio e magnésio em solo cultivado com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

| Variável | Dose de silicato (t ha ⁻¹) | Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹) | | | | | Média |
|---|--|--|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | 0 | 4,8 | 9,6 | 14,4 | 19,2 | |
| pH (0-20 cm) | 0 | 6,87 b | 5,97 b | 5,60 b | 5,90 b | 5,77 b | - |
| | 1 | 7,33 a | 7,03 a | 6,77 a | 6,53 a | 6,33 a | - |
| pH (20-40 cm) | 0 | 6,73 | 5,80 | 5,57 | 5,67 | 5,63 | 5,88 b |
| | 1 | 7,23 | 6,40 | 6,63 | 6,27 | 5,63 | 6,43 a |
| | Média | 6,98 | 6,10 | 6,10 | 5,97 | 5,63 | - |
| MO (dag kg ⁻¹) 0-20 cm | 0 | 2,57 | 2,77 | 3,23 | 3,23 | 4,50 | 3,26 a |
| | 1 | 2,50 | 2,50 | 3,70 | 3,80 | 3,73 | 3,25 a |
| | Média | 2,54 | 2,64 | 3,47 | 3,52 | 4,12 | - |
| MO (dag kg ⁻¹) 20-40 cm | 0 | 2,57 | 2,20 | 2,63 | 3,10 | 3,07 | 2,71 a |
| | 1 | 2,23 | 2,07 | 3,30 | 2,97 | 2,83 | 2,68 a |
| | Média | 2,40 | 2,14 | 2,97 | 3,04 | 2,95 | - |
| P (mg dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 2,87 | 11,77 | 12,3 | 19,57 | 26,97 | 14,70 b |
| | 1 | 3,50 | 13,27 | 26,10 | 33,70 | 34,53 | 22,22 a |
| | Média | 3,19 | 12,52 | 19,20 | 26,64 | 30,75 | - |
| P (mg dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 2,13 | 4,67 | 9 | 9,07 | 19,83 | 8,94 b |
| | 1 | 2,47 | 3,23 | 21,27 | 23,07 | 28,97 | 15,80 a |
| | Média | 2,30 | 3,95 | 15,14 | 16,07 | 24,40 | - |
| K (mg dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 142,33 | 71,33 | 104,33 | 84,33 | 93,00 | 99,06 a |
| | 1 | 84,67 | 77,33 | 91,00 | 90,00 | 69,00 | 82,40 a |
| | Média | 113,50 | 74,33 | 97,67 | 87,17 | 81,00 | - |
| K (mg dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 105,00 | 52,00 | 44,33 | 55,00 | 58,00 | 62,87 a |
| | 1 | 67,00 | 55,00 | 69,33 | 67,33 | 53,00 | 62,33 a |
| | Média | 86,00 | 53,50 | 56,83 | 61,17 | 55,50 | - |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 5,20 | 3,97 | 4,17 | 4,77 | 4,67 | 4,56 b |
| | 1 | 6,43 | 6,83 | 7,87 | 7,10 | 6,87 | 7,02 a |
| | Média | 5,82 | 5,40 | 6,02 | 5,94 | 5,77 | - |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 5,00 | 3,10 | 3,6 | 3,87 | 3,70 | 3,85 b |
| | 1 | 5,77 | 4,70 | 6,33 | 5,80 | 5,03 | 5,53 a |
| | Média | 5,39 | 3,90 | 4,97 | 4,84 | 4,37 | - |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 1,27 | 0,97 | 0,87 | 0,97 | 0,93 | 1,00 b |
| | 1 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,37 | 1,58 a |
| | Média | 1,45 | 1,30 | 1,25 | 1,30 | 1,15 | - |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 1,17 | 0,77 | 0,77 | 0,87 | 0,77 | 0,87 b |
| | 1 | 1,80 | 1,37 | 1,50 | 1,50 | 1,17 | 1,47 a |
| | Média | 1,49 | 1,07 | 1,14 | 1,19 | 0,97 | - |

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na ausência de silicato, ficou evidente a maior acidez potencial provocada pelo lodo, possivelmente associada ao seu valor de origem (Tabela 1), à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (SIMONETE et al., 2003; CALDEIRA JÚNIOR et al., 2009). De modo geral, a CTC total, a CTC efetiva e a saturação por bases foram maiores com a incorporação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, em razão das adições de cálcio e magnésio contidas neste resíduo. Estes resultados estão de acordo com as observações de Korndörfer et al. (2002), o qual recomenda o uso de silicatos para aumentar a saturação de bases do solo.

Os teores de alumínio trocável e a saturação por alumínio foram baixos e pouco consistentes, obtendo-se, respectivamente, para as profundidades de

0-20 e 20-40 cm, valor médio para o alumínio da ordem de 0,13 e 0,33 cmol_c dm⁻³ e, para a saturação por alumínio, 2,34 e 6,07%.

Em relação aos teores dos nutrientes no tecido foliar do pinhão manso, não houve interação entre as doses de silicato e de lodo de esgoto aplicadas (Tabela 5).

Apesar do aumento da disponibilidade de fósforo e cálcio no solo, com a adição de silicato (Tabela 3), não houve nenhum efeito desse resíduo em relação à absorção desses nutrientes pela planta (Tabela 5). Isso significa que os incrementos ocorridos nos teores de fósforo e cálcio disponíveis no solo com a adição de silicato não foram suficientes para promover diferenças nas concentrações destes elementos na planta. No caso do magnésio, houve efeito apenas no pecíolo da folha nova, sendo a mai-

or concentração observada no tratamento com aplicação de silicato. Apesar de não avaliarem o pecíolo das folhas do pinhão manso, Laviola e Dias (2008) ao analisarem teores e acúmulo de nutrientes nessa planta, encontraram nos limbos foliares de pinhão manso teores de magnésio de 0,48 dag kg⁻¹, valores próximos ao encontrado nesse trabalho (Tabela 5), esses autores concluíram que o magnésio é um dos macronutrientes que mais acumulam nas folhas de pinhão manso.

Em relação aos teores de cálcio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, potássio na profundidade de 0 a 20 cm, magnésio na profundidade de 20 a 40 cm e potássio no limbo e pecíolo das folhas novas e velhas não houve efeito das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Em relação ao pH do solo, com a aplicação de lodo de esgoto, observa-se que tanto na presença quando na ausência de silicato de cálcio e magnésio, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o valor dimi-

nuiu com o incremento das doses de lodo (Tabela 6).

Na profundidade de 0-20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha⁻¹, junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu redução do pH de 7,29 para 6,70, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 6,88 para a 5,80. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor do pH foi de 6,86 para 5,9, com a aplicação de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Em todas as situações, portanto, o pH do solo ficou na faixa considerada adequada para a maioria das plantas. O efeito do lodo de esgoto não caeleado na redução do pH do solo pode ser atribuído à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos, conforme destacado por Simonete et al. (2003) e Caldeira Júnior et al. (2009). Vale ressaltar que o lodo utilizado neste experimento possuía pH na faixa de 4,4 (Tabela 1), o que também contribuiu para a redução do pH no solo.

Tabela 4. Soma de bases (SB), H+Al, CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) do solo cultivado com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

| Variável | Dose de silicato (t ha ⁻¹) | Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹) | | | | | Média |
|--|--|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 4,8 | 9,6 | 14,4 | 19,2 | |
| SB (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 6,83 | 5,10 | 5,30 | 5,95 | 5,84 | 5,80 b |
| | 1 | 8,28 | 8,67 | 9,73 | 8,96 | 8,41 | 8,81 a |
| | Média | 7,56 | 6,89 | 7,52 | 7,46 | 7,13 | |
| SB (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 6,44 | 4,00 | 4,48 | 4,88 | 4,62 | 4,88 b |
| | 1 | 7,74 | 6,21 | 8,01 | 7,47 | 6,34 | 7,15 a |
| | Média | 7,09 | 5,11 | 6,25 | 6,18 | 5,48 | |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 1,38 a | 3,85 a | 4,68 a | 4,13 a | 4,57 a | - |
| | 1 | 0,82 a | 0,88 b | 1,27 b | 1,76 b | 2,69 b | - |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 1,82 | 4,07 | 4,90 | 4,35 | 4,73 | 3,97 a |
| | 1 | 1,10 | 2,20 | 1,59 | 2,15 | 3,58 | 2,12 a |
| | Média | 1,46 | 3,14 | 3,25 | 3,25 | 4,16 | |
| t (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 6,83 | 5,41 | 6,00 | 6,22 | 5,87 | 6,07 b |
| | 1 | 8,28 | 8,67 | 9,73 | 8,96 | 8,41 | 8,81 a |
| | Média | 7,56 | 7,04 | 7,87 | 7,59 | 7,14 | |
| t (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 6,44 | 4,96 | 5,78 | 5,41 | 4,85 | 5,49 b |
| | 1 | 7,74 | 6,21 | 8,01 | 7,47 | 6,54 | 7,19 a |
| | Média | 7,09 | 5,59 | 6,90 | 6,44 | 5,70 | |
| T (cmol _c dm ⁻³) 0-20 cm | 0 | 8,21 | 8,96 | 9,98 | 10,08 | 10,41 | 9,53 b |
| | 1 | 9,11 | 9,55 | 11,00 | 10,72 | 11,10 | 10,30 a |
| | Média | 8,66 | 9,26 | 10,49 | 10,40 | 10,76 | |
| T (cmol _c dm ⁻³) 20-40 cm | 0 | 8,25 | 8,07 | 9,38 | 9,22 | 9,34 | 8,85 a |
| | 1 | 8,84 | 8,41 | 9,60 | 9,62 | 9,91 | 9,28 a |
| | Média | 8,55 | 8,24 | 9,49 | 9,42 | 9,63 | |
| V (%) 0-20 cm | 0 | 83,33 a | 57,00 b | 53,00 b | 58,33 b | 56,33 b | - |
| | 1 | 90,67 a | 90,67 a | 88,67 a | 83,33 a | 76,00 a | - |
| V (%) 20-40 cm | 0 | 78,00 | 49,67 | 48,00 | 52,00 | 49,33 | 55,40 b |
| | 1 | 87,33 | 74,00 | 83,33 | 77,00 | 63,33 | 77,00 a |
| | Média | 82,67 | 61,84 | 65,67 | 64,50 | 56,33 | |

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), na profundidade de 0 a 20 cm, houve resposta linear positiva (Tabela 6). A aplicação de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto promoveu um aumento da

MOS de 2,44 para 3,37 dag kg⁻¹, o que é considerado um nível médio de fertilidade do solo, segundo Alvarez V. et al. (1999). O aumento dos teores de matéria orgânica no solo, com a aplicação de lodo de

Tabela 5. Teores de nitrogênio na folha nova (NFN), no pecíolo da folha nova (NPN), na folha velha (NFV) e no pecíolo da folha velha (NPV); fósforo na folha nova (PFN), no pecíolo da folha nova (PPN), na folha velha (PFV) e no pecíolo da folha velha (PPV); potássio na folha nova (KFN), no pecíolo da folha nova (KPN), na folha velha (KFV) e no pecíolo da folha velha (KPV); cálcio na folha nova (CaFN), no pecíolo da folha nova (CaPN), na folha velha (CaFV) e no pecíolo da folha velha (CaPV); magnésio na folha nova (MgFN), no pecíolo da folha nova (MgPN), na folha velha (MgFV) e no pecíolo da folha velha (MgPV) de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

| Variável | Dose de silicato (t ha ⁻¹) | Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹) | | | | | Média |
|---------------------------------|--|--|------|------|------|------|--------|
| | | 0 | 4,8 | 9,6 | 14,4 | 19,2 | |
| PFN (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,19 | 0,26 | 0,21 | 0,23 | 0,19 | 0,22 a |
| | 1 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,21 | 0,21 | 0,19 a |
| | Média | 0,19 | 0,22 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | |
| PPN (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,19 | 0,13 | 0,21 | 0,24 | 0,17 | 0,19 a |
| | 1 | 0,17 | 0,20 | 0,23 | 0,22 | 0,24 | 0,21 a |
| | Média | 0,18 | 0,17 | 0,22 | 0,23 | 0,21 | |
| PFV (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,15 a |
| | 1 | 0,13 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,15 a |
| | Média | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | |
| PPV (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,14 | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,12 a |
| | 1 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,12 a |
| | Média | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | |
| KFN (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,36 | 1,71 | 1,19 | 1,36 | 1,37 | 1,40 a |
| | 1 | 1,31 | 1,03 | 1,36 | 1,40 | 1,11 | 1,24 a |
| | Média | 1,34 | 1,37 | 1,28 | 1,38 | 1,24 | |
| KPN (dag kg ⁻¹) | 0 | 2,33 | 1,41 | 1,68 | 2,05 | 1,52 | 1,80 a |
| | 1 | 1,76 | 1,51 | 1,96 | 1,69 | 1,59 | 1,70 a |
| | Média | 2,05 | 1,46 | 1,82 | 1,87 | 1,56 | |
| KFV (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,45 | 0,99 | 1,00 | 1,13 | 0,97 | 1,11 a |
| | 1 | 1,07 | 0,89 | 1,15 | 0,99 | 0,91 | 1,00 a |
| | Média | 1,26 | 0,94 | 1,08 | 1,06 | 0,94 | |
| KPV (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,79 | 1,28 | 1,4 | 1,32 | 1,43 | 1,44 a |
| | 1 | 1,23 | 1,01 | 1,49 | 1,09 | 1,00 | 1,16 a |
| | Média | 1,51 | 1,15 | 1,45 | 1,21 | 1,22 | |
| CaFN (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,99 | 1,12 | 0,98 | 1,15 | 1,39 | 1,13 a |
| | 1 | 1,05 | 1,10 | 1,08 | 1,12 | 1,11 | 1,09 a |
| | Média | 1,02 | 1,11 | 1,03 | 1,14 | 1,25 | |
| CaPN (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,07 | 0,76 | 1,10 | 1,10 | 1,18 | 1,04 a |
| | 1 | 1,02 | 1,34 | 1,10 | 1,14 | 1,32 | 1,18 a |
| | Média | 1,05 | 1,05 | 1,10 | 1,12 | 1,25 | |
| CaFV (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,46 | 1,49 | 1,29 | 2,14 | 2,10 | 1,70 a |
| | 1 | 1,77 | 1,32 | 1,67 | 2,17 | 1,86 | 1,76 a |
| | Média | 1,62 | 1,41 | 1,48 | 2,16 | 1,98 | |
| CaPV (dag kg ⁻¹) | 0 | 1,15 | 0,97 | 1,07 | 1,35 | 1,38 | 1,18 a |
| | 1 | 1,18 | 1,11 | 1,17 | 1,18 | 1,28 | 1,18 a |
| | Média | 1,17 | 1,04 | 1,12 | 1,27 | 1,33 | |
| MgFN (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,52 | 0,65 | 0,53 | 0,56 | 0,55 | 0,56 a |
| | 1 | 0,56 | 0,57 | 0,55 | 0,55 | 0,57 | 0,56 a |
| | Média | 0,54 | 0,61 | 0,54 | 0,5 | 0,56 | |
| MgPN (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,12 | 0,17 | 0,15 a |
| | 1 | 0,16 | 0,20 | 0,19 | 0,24 | 0,22 | 0,20 b |
| | Média | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | |
| MgFV (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,51 | 0,60 | 0,47 | 0,63 | 0,69 | 0,58 a |
| | 1 | 0,65 | 0,58 | 0,60 | 0,78 | 0,73 | 0,67 a |
| | Média | 0,58 | 0,59 | 0,54 | 0,71 | 0,71 | |
| MgPV (dag kg ⁻¹) | 0 | 0,19 | 0,15 | 0,14 | 0,23 | 0,27 | 0,20 a |
| | 1 | 0,21 | 0,18 | 0,21 | 0,28 | 0,28 | 0,23 a |
| | Média | 0,20 | 0,17 | 0,18 | 0,26 | 0,28 | |

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

esgoto foi destacado por Tsutiya et al. (2002).

O teor de magnésio no solo, na profundidade de 0 a 20 cm, diminuiu com o aumento da aplicação do lodo de esgoto. Com a aplicação de 11 t ha⁻¹, hou-

ve uma redução de 1,44 cmol_c.dm⁻³ para 1,25 cmol_c.dm⁻³ (Tabela 6). Esse valor, mesmo sendo reduzido com a aplicação de maiores doses de lodo de esgoto, ainda se encontra como nível bom para

fertilidade do solo, segundo Alvarez V. et al. (1999). O lodo de esgoto não se constitui em importante fonte de magnésio, sendo que a sua adição normalmente não contribui para aumentos expressivos deste elemento no solo (CHIBA et al., 2008b).

Os teores de fósforo disponível no solo, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 6), aumentaram com o incremento das doses de lodo de esgoto, atingindo valores de 4,61 para 20,48 mg dm⁻³ e de 1,11 para 14,01 mg dm⁻³, respectivamente, com a dose de 11 t ha⁻¹. Esses níveis de fósforo no solo são classificados por Alvarez V. et al. (1999) como médio e baixo, respectivamente. Mas, com a aplicação da dose máxima, 19,2 t ha⁻¹, esses valores aumentaram para 32,31 e 23,63 mg dm⁻³, respectivamente nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Esses níveis de fósforo no solo são classificados por Alvarez V. et al. (1999) como muito bom e bom, respectivamente. Resultados semelhantes em relação ao efeito do lodo de esgoto foram confirmados em diversos trabalhos científicos, sendo constatado aumento da disponibilidade de fósforo no solo com a sua aplicação (CHIARADIA et al., 2009; MAGUIRE et al., 2000).

O potássio disponível, na profundidade de 20-40 cm, diminuiu com o aumento da dose aplicada do lodo de esgoto (Tabela 6), reduzindo seu valor de 79,66 mg dm⁻³ para 58,65 mg dm⁻³, com a aplicação

de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Apesar da redução nos teores de potássio com o incremento das doses de lodo de esgoto, esse nível é considerado ainda bom em relação à fertilidade do solo, conforme Alvarez V. et al. (1999). O potássio tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais quando da utilização do lodo para adubação, pois esse elemento tem baixa concentração nesse insumo. Tal fato ocorre em razão do potássio encontrar-se predominantemente sob forma iônica nas águas residuárias e, durante o tratamento nas estações de tratamento de esgoto, tende a ficar em solução, o que explica as baixas concentrações do elemento em lodos de esgoto (TSUTIYA et al., 2002).

Tanto para o potássio quanto para o magnésio, a redução de seus teores com o incremento das doses de lodo de esgoto parece estar relacionada a maiores perdas por lixiviação, possivelmente associada ao aumento da concentração de íons hidrogênio em solução, provocando o deslocamento desses cátions do complexo coloidal e a sua retirada do sistema. Werle et al. (2008) relatam a facilidade de lixiviação de K em solos tropicais, tanto em solos arenosos quanto argilosos, sendo que esses últimos, em razão da maior CTC, têm a capacidade de reter maiores quantidades desse elemento.

Tabela 6. Características químicas do solo em função da aplicação de doses de lodo de esgoto.

| Variável | DS (t ha ⁻¹) | Equação de Regressão | R ² |
|---|-----------------------------|---|----------------|
| pH-H ₂ O (0-20 cm) | 0 | Y = 6,88+0,091827**X-0,644106***X ^{0,5} | 0,9450 |
| | 1 | Y = 7,298-0,052083***X | 0,9945 |
| pH-H ₂ O (20-40 cm) | - | Y = 6,86106-0,11646***X+0,002992*X ² | 0,8696 |
| MO (dag kg ⁻¹) (0-20 cm) | - | Y = 2,443+0,08442***X | 0,9304 |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) (0-20 cm) | - | Y = 1,4455-0,05774*X ^{0,5} | 0,8323 |
| P (mg dm ⁻³) (0-20 cm) | - | Y = 4,6066+1,44271***X | 0,9845 |
| P (mg dm ⁻³) (20-40 cm) | - | Y = 1,1066+1,173271***X | 0,9374 |
| K (mg dm ⁻³) (20-40 cm) | - | Y = 79,6648-6,33636*X ^{0,5} | 0,6579 |
| V(%) (0-20 cm) | 0 | Y = 83,1866+2,7558*X-17,8493***X ^{0,5} | 0,9760 |
| | 1 | Y = 91,548-0,04109*X ² | 0,9883 |
| V(%) (20-40 cm) | - | Y = 80,17876-5,1907**X ^{0,5} | 0,8090 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) (0-20 cm) | - | Y = 8,5567+0,503149***X ^{0,5} | 0,9038 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) (20-40 cm) | - | Y = 8,3954+0,06975**X | 0,7103 |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) (0-20 cm) | 0 | Y = 1,612857+0,46256***X-0,016865**X ² | 0,8966 |
| | 1 | Y = 0,7833+0,00507**X ² | 0,9962 |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) (20-40 cm) | - | Y = 1,5786+0,545602***X ^{0,5} | 0,9108 |

DS = dose de silício aplicada ao solo.

°, *, **, *** significativos a 10; 5; 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

A saturação por bases foi reduzida com o aumento das doses de lodo de esgoto (Tabela 6). Na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha⁻¹, junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu redução de 91,55% para 86,48%, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 83,17% para 54,30%. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor da saturação por bases reduziu de 80,18% para 62,96%, com a aplicação da maior dose de lodo de esgoto. Esses valores corroboram com os encontrados de Caldeira Júnior et al. (2009), que evidenciaram redução da saturação por bases com o aumento das doses de lodo de esgoto, sendo que, quando aplicado juntamente com o silicato de cálcio e magnésio, a redução é menor, em razão do aumento das concentrações de cálcio e magnésio. Pode-se atribuir essa redução na saturação por bases ao aumento da CTC total do solo, com a aplicação do lodo de esgoto. Esses resultados divergem dos encontrados por Simonete et al. (2003), que não verificaram alteração da saturação por bases, com o aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Para a capacidade de troca catiônica (CTC), apenas para a CTC potencial (T) ajustou curva de regressão com a aplicação do lodo de esgoto que promoveu aumento nas duas profundidades avaliadas, 0 a 20 e 20 a 40 cm. A dose de 11 t ha⁻¹ promoveu um aumento da CTC (T) de 8,56 cmol_c.dm⁻³ para 10,23 cmol_c.dm⁻³ e de 8,39 cmol_c.dm⁻³, para 9,16 cmol_c.dm⁻³, nas respectivas profundidades avaliadas (Tabela 6). Esses valores são considerados bons para fertilidade do solo, segundo classificação

preconizada por Alvarez V. et al. (1999). Comportamentos semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2002), que relatam que a CTC aumentou de acordo com as maiores doses de lodo de esgoto aplicadas.

A acidez potencial aumentou nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, com as maiores doses de lodo aplicadas (Tabela 6). Na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha⁻¹, junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu aumento de 0,78 cmol_c.dm⁻³ para 1,34 cmol_c.dm⁻³, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 1,61 cmol_c.dm⁻³ para 4,66 cmol_c.dm⁻³. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor da acidez potencial aumentou de 1,58 cmol_c.dm⁻³ para 3,39 cmol_c.dm⁻³, com a aplicação de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Para essa variável, esses valores são considerados muito baixo, médio e baixo, respectivamente, para a fertilidade do solo (ALVAREZ V. et al., 1999). No Tabela 6 ficou evidente o efeito neutralizante do silicato em relação à acidez potencial do solo, causada pelo lodo. Conforme já comentado, a maior acidez potencial provocada pelo lodo pode estar relacionada com a sua origem (Tabela 1), à oxidação de sulfetos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (CALDEIRA JÚNIOR et al., 2009; SIMONETE et al., 2003).

No tecido foliar de pinhão manso, somente os teores de fósforo, na folha velha, de cálcio, na folha nova, pecíolo novo e velho, e de magnésio, na folha velha e pecíolo novo, responderam aos incrementos de lodo de esgoto no solo (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de nutrientes em pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em resposta à aplicação de doses de lodo de esgoto.

| Nutriente (dag kg ⁻¹) | Equação de Regressão | R ² |
|-----------------------------------|---|----------------|
| P (folha velha) | Y = 0,1368+0,001396*X | 0,9221 |
| Ca (folha nova) | Y = (1,06231+0,00127**X ²) ^{0,5} | 0,7921 |
| Ca (pecíolo novo) | Y = (1,02421+0,02294**X) ^{0,5} | 0,8034 |
| Ca (pecíolo velho) | Y = 1,09259+0,00066*X ² | 0,7647 |
| Mg (folha velha) | Y = 0,563496+0,00043478*X ² | 0,6706 |
| Mg (pecíolo velho) | Y = 0,17633+0,0002754**X ² | 0,7831 |

°, *, **, *** significativos a 10; 5; 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

O teor de fósforo na folha velha, com a adição de lodo de esgoto ao solo (Tabela 7), aumentou de 0,14 dag kg⁻¹ para o valor máximo de 0,15 dag kg⁻¹, com a aplicação da dose de 11 t ha⁻¹. Para o pinhão manso, não há valores de referência para a faixa de concentração ótima de fósforo na planta, porém, comparando com a da mamona, cuja faixa varia de 0,30-0,40 dag.kg⁻¹, o valor citado pode ser considerado baixo (MARTINEZ et al., 1999). Depois do nitrogênio, o fósforo é o elemento mais abundante em lodo de esgoto (DESCHAMPS; FAVARETTO,

2001), entretanto Chiaradia et al. (2009), apesar de terem constatado aumento no teor disponível de fósforo no solo, com aplicações crescentes de lodo de esgoto, não detectaram aumento de sua concentração na cultura da mamona.

Em relação ao cálcio na planta, houve aumento de sua concentração com a aplicação de lodo de esgoto (Tabela 7), atingindo valores de 1,03 para 1,10; de 1,01 para 1,13 e de 1,09 para 1,17 dag kg⁻¹, no limbo foliar da folha nova e nos pecíolos das folhas nova e velha, respectivamente, com a aplicação

da dose de 11 t ha⁻¹. Esses resultados ficam um pouco abaixo da faixa de nível crítico de cálcio para a mamona (1,50-2,50 dag kg⁻¹), segundo Martínez et al. (1999). Também, teores mais elevados de cálcio em folhas de pinhão manso (1,9 dag kg⁻¹) foram encontrados por Laviola e Dias (2008). Em mamona, Chiaradia et al. (2009) não detectaram aumento dos teores de cálcio na planta, com a aplicação de lodo de esgoto.

O magnésio na planta aumentou com os incrementos de lodo de esgoto (Tabela 7), sendo encontrados valores de 0,56 dag kg⁻¹ para 0,61 dag kg⁻¹ e de 0,17 dag kg⁻¹ para 0,21 dag kg⁻¹, respectivamente, para o limbo da folha velha e pecíolo da folha nova, para a dose de lodo de esgoto aplicada de 11 t ha⁻¹. Esses resultados estão próximos da faixa de níveis críticos para a mamona, 0,25-0,35 dag kg⁻¹ (MARTÍNEZ et al., 1999). Laviola e Dias (2008) encontraram teores menores de magnésio nas folhas de pinhão manso, em trabalho sobre teor e acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos para essa cultura. Isso explica os menores teores disponíveis de magnésio no solo, com o incremento das doses de lodo de esgoto e demonstra que esse resíduo pode, satisfatoriamente, servir como fonte alternativa desse nutriente para a cultura do pinhão manso.

CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, como fertilizante, não influencia o crescimento do pinhão manso;

O pH, os teores de fósforo, cálcio e magnésio disponíveis, a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e a saturação por bases do solo aumentam com a adição de silicato de cálcio e magnésio, enquanto a acidez potencial diminui;

O teor de magnésio no pecíolo da folha mais nova de pinhão manso aumenta com a adição de silicato de cálcio e magnésio ao solo;

Na presença de silicato de cálcio e magnésio, a aplicação de lodo produz menores reduções de acidez ativa, acidez potencial e saturação por bases;

A aplicação de doses de lodo de esgoto aumenta os teores de matéria orgânica e fósforo no solo, além da capacidade de troca catiônica e da acidez potencial do solo, enquanto os teores de potássio, magnésio e saturação por bases diminuem;

Os teores de fósforo, cálcio e magnésio, no tecido foliar de pinhão manso, aumentam com a aplicação de doses de lodo de esgoto;

A aplicação de 11 t ha⁻¹ lodo de esgoto de esgoto promove maior diâmetro da copa de pinhão manso;

Recomenda-se a dose de 11 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, sem aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, com pH próximo à neutralidade, para o cultivo de pinhão manso.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

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

ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 59-72, 2000.

ARRUDA, F. P. de et al. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

BACKES, C. et al. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98, 2009.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F. et al. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

CARVALHO, R. et al. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa-de-vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 557-565, 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.

CHIARADIA, J. J. et al. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial

- tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 701-709, 2009.
- CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 643-652, 2008a.
- CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 653-662, 2008b.
- CLAUSSEN, W.; LENS, F. Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants (*Solanum melongena* L.). **Plant and Soil**, v. 171, n. 2, p. 267-274, 1995.
- DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto na produtividade e desenvolvimento das culturas. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, I. de; FERNANDES, F. (Org.) **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2. ed. Curitiba: Sanepar/Finep, 2001. p. 181-192.
- DIAS, L. A. S. et al. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: UFV, 2007. v. 1, 40 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. p. 212.
- FERNANDEZ, F. A. et al. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 935-945, 2009.
- FIGUEIREDO, T. L.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v. 7, n. 3, p. 16-25, 2007.
- GUIMARÃES, A. S. **Crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em função de fontes e quantidades de fertilizantes**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, ICAG, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 1).
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- MAGUIRE, R. O.; SIMS, J. T.; COALE, F. J. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. **Journal Environmental Quality**, v. 29, n. 4, p. 1225-1233, 2000.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.
- OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 505-519, 2002.
- OLIVEIRA, J. P. B. et al. Efeito do lodo de esgoto no desenvolvimento inicial de duas cultivares de mamona em dois tipos de solos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 174-180, 2009.
- OLIVEIRA, I. R. S. et al. Crescimento inicial do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da salinidade da água de irrigação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 40-45, 2010.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Aplicação do silicato de cálcio em Argissolo Vermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 387-393, 2004.
- SANTOS, C. M. et al. Fenologia e crescimento do pinhão-manso cultivado na zona da mata do estado de Alagoas, Brasil. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.3, p.201-209, 2010.
- SATURNINO, H. M. et al., Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-73, 2005.
- SILVA, E. B. et al. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.
- SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento

de Solos/UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2002. 468 p.

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 867-874, 2003.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.