

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E LODO DE ESGOTO COMPOSTADO NA
NUTRIÇÃO DA MAMONEIRA DE PORTE BAIXO, CULTIVADA SOB
CALAGEM E SILICATAGEM**

SILVIA CAPUANI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Julho – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E LODO DE ESGOTO COMPOSTADO NA
NUTRIÇÃO DA MAMONEIRA DE PORTE BAIXO, CULTIVADA SOB
CALAGEM E SILICATAGEM**

SILVIA CAPUANI

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Julho – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C255a Capuani, Silvia, 1986-
Adubação fosfatada e lodo de esgoto compostado na nutrição da mamoneira de porte baixo, cultivada sob calagem e silicatagem / Silvia Capuani. - Botucatu : [s.n.], 2013 v, 59 f. : tabs., grafs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
Orientador: Dirceu Maximino Fernandes
Inclui bibliografia

1. Mamona - Adubação. 2. Fertilizantes fosfatados. 3. Lodo de esgoto. 4. Compostos orgânicos. 5. Calagem dos solos. 6. Plantas - Efeito do fósforo. I. Fernandes, Dirceu Maximino. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “ADUBAÇÃO FOSFATADA E LODO DE ESGOTO COMPOSTADO NA
NUTRIÇÃO DA MAMONEIRA DE PORTE BAIXO, CULTIVADA SOB
CALAGEM E SILICATAGEM”

ALUNA: SILVIA CAPUANI

ORIENTADOR: PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES


APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. ROGERIO PERES SORATTO



PROF^a DR^a TAMMY APARECIDA MANABE KIIHL

Data da Realização: 25 de julho de 2013.

*Aos meus pais Darci e Zaira e minha irmã
Denise, pela força, apoio, compreensão,
orações, amor incondicional.*

DEDICO

*Ao meu namorado João Paulo, pela
amizade, apoio e carinho, sempre comigo!*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela família maravilhosa, pelas oportunidades, pelas amizades, pelas companhias, pela vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas Campus de Botucatu pela oportunidade da realização do Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão de bolsa de estudo e financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Professor e amigo Dr. Dirceu Maximino Fernandes, pela orientação e conselhos sábios e valiosos.

Aos funcionários do Departamento Solos e Recursos Ambientais pela colaboração na execução do trabalho.

Às estagiárias Lívia Cristina Ribeiro e Danila Morena, pela amizade, companhia e auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus familiares pelas orações nos momentos difíceis.

Aos amigos que fiz aqui, em especial: Mariângela, Gustavo, Tailene, Flávio, Suelen, Lucas, Rubiana, Adriana, Sylvia, Aline, Jayme, Lívia e tantas outras pessoas maravilhosas que conheci.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente me auxiliaram durante o período do Mestrado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Corretivos da acidez do solo.....	8
2.1.1 Calcário.....	8
2.1.2 Escória de aciaria.....	9
2.2 Lodo de esgoto.....	11
2.2.1 Efeito como condicionador de solo.....	13
2.2.2 Efeito no pH do solo.....	13
2.2.3 Efeito na CTC do solo.....	14
2.2.4 Efeito na matéria orgânica do solo.....	16
2.2.5 Fonte de P.....	17
2.3 Mamoneira de porte baixo.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização e caracterização do experimento.....	20
3.1.1 Temperatura máxima, mínima e média.....	20
3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	21
3.3 Descrição dos tratamentos.....	22
3.4 Instalação e condução do experimento.....	23
3.5 Avaliações nas plantas de mamona.....	25
3.6 Determinações químicas no solo.....	26
3.7 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Altura médias das plantas, diâmetro do caule e área foliar.....	27
4.2 Massa de matéria seca da parte aérea e raiz.....	32
4.3 Massa de semente e fruto e número de frutos por cacho.....	35
4.4 Rendimento e teor de óleo.....	36
4.5 Teores de nutrientes nas sementes.....	38
4.6 Teores de nutrientes no solo.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
6 CONCLUSÃO.....	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Análise do solo utilizado no experimento. Botucatu-SP, 2012.....	20
2 Resultado da análise da escória da aciaria. Botucatu-SP, 2012.....	23
3 Resultado da análise de material orgânico – lodo de esgoto compostado. Botucatu-SP, 2012.....	23
4 Resumo da análise da variância para a altura média das plantas (cm), diâmetro do caule (mm) e área foliar da mamoneira (cm ²), em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação.....	28
5 Resumo da análise da variância para os teores de macro e micronutrientes nas sementes de mamona em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto e, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.....	38
6 Valores das médias para os teores de macro e micronutrientes na semente de mamona em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.....	39
7 Valores das médias para os valores de ferro na semente de mamona em função da interação entre as combinações das doses de calcário e escória, lodo de esgoto compostado e fósforo. Botucatu-SP, 2012.....	41
8 Resumo da análise da variância para os teores de nutrientes no solo, pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), acidez potencial (H+Al) em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.....	42
9 Valores das médias para os teores de nutrientes no solo, pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), acidez potencial (H+Al) em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Temperaturas mínima, máxima e média referentes ao período de 28/08/2012 a 24/11/2012, em túnel plástico, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais (FCA-UNESP), em Botucatu-SP.....	21
2 Visão geral do experimento aos 30 dias após semeadura. Botucatu-SP, 2012.....	22
3 Análise para regressão da altura das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas.* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	29
4 Análise para regressão do diâmetro das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	30
5 Análise para regressão da área foliar das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	31
6 Massa de matéria seca das folhas, haste, caule e raiz das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	33
7 Massa de semente, fruto e número de frutos por cacho das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	35
8 Porcentagem de grãos nos frutos, teor de óleo (%) e produtividade de óleo (P. de óleo) nos frutos das plantas de mamona (<i>Ricinus cummunis</i> L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. As barras verticais correspondem ao DMS a 5% no teste t.....	36

RESUMO

A aplicação de resíduos urbanos e industriais na agricultura, como o lodo de esgoto e a escória podem diminuir o consumo de fertilizantes e corretivos da acidez do solo, promovendo adequada nutrição para a mamoneira, além de proporcionar adequada destinação deste resíduo no ambiente. Objetivou-se com o trabalho analisar a influência e as interações entre a aplicação de lodo de esgoto compostado e uma fonte de fósforo solúvel, em combinação com doses de calcário e escória de aciaria no crescimento e produtividade da mamoneira de porte baixo. O experimento foi realizado sob túnel plástico no Departamento de Solos e Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu-SP, utilizando vasos plásticos com capacidade de 40 litros. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições, constituídos pelas combinações das doses de calcário (C) com as doses de escória de aciaria (S), nas proporções de 100, 66, 33 e 0% e, pelas doses do adubo fosfatado (P) mais o lodo de esgoto compostado (L), nas mesmas proporções. O solo utilizado foi incubado com as combinações de calcário e escória de aciaria por 30 dias e após, foi realizada a semeadura da mamona, com quatro sementes de mamona de porte baixo, das quais, após desbaste, permaneceu uma planta por vaso. Os seguintes parâmetros foram avaliados: análise do solo, altura média das plantas, diâmetro do caule, área foliar, massa de matéria seca da parte aérea e raiz, massa de sementes e frutos, número de frutos, rendimento, teor de óleo e teor de nutriente nas sementes. A combinação do lodo de esgoto compostado com as doses de fósforo proporcionou diferenças no crescimento da planta, bem como incrementos na massa de sementes e frutos, frutos por cacho e teor de óleo, promovendo incremento na produtividade de óleo na mamoneira de porte baixo. Além disso, proporcionou aumento nos teores de nutrientes do solo e da semente, bem como pH, SB e V%. As combinações de calcário e escória de aciaria embora não tenham influenciado o crescimento da

mamona de porte baixo, incrementaram os teores de P, S, Cu e Mn nas sementes, nutrientes no solo, pH, MO, acidez potencial, SB, CTC e V%.

Palavras chaves: composto orgânico; escória de aciaria; mamona de porte baixo; disponibilidade de fósforo.

PHOSPHORUS FERTILIZATION AND COMPOSTED SEWAGE SLUDGE IN LOW-HEIGHT CASTOR BEAN NUTRITION, CULTIVATED WITH LIMESTONE AND STEEL SLAG. Botucatu, 2013. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SILVIA CAPUANI

Advisor: DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

SUMMARY

The application of urban and industrial wastes in agriculture, such as sewage sludge and slag can reduce the consumption of mineral fertilizers and lime soil acidity, promoting proper nutrition for castor bean, and provide proper disposal of this waste in the environment. The objective of the work is to analyze the influence and interactions between the application of composted sewage sludge and a source of soluble phosphorus in combination with lime and steel slag on growth and yield of castor bean sized down. The experiment was performed under plastic tunnel in the Department of Land and Natural Resources Area / Soil Science, FCA / UNESP, Botucatu-SP, using plastic pots with a capacity of 40 liters. The experimental design was a randomized block in factorial 4 x 4 replicates, consisting of combinations of limestone with doses of steel slag, the ratios of 100, 66, 33 and 0%, and the doses of phosphate fertilizer plus composted sewage sludge, in the same proportions. The soil was incubated with combinations of limestone and steel slag for 30 days after sowing was made from castor beans, with four castor seed sized low, which, after thinning, remained one per pot. The following parameters were evaluated: soil analysis, plant height, stem diameter, leaf area, dry weight of shoot and root, seed and fruit, fruit number, yield, oil content and content nutrient in seeds. The combination of composted sewage sludge with doses of phosphorus induced differences in plant growth and increases in weight of seeds and fruits, fruits per bunch and oil content, promoting the productivity of castor oil in stature. Moreover, allowing higher levels of soil nutrients and seed, as well as pH, sum of bases, and base saturation. The combinations of limestone and steel slag although not influenced the growth of

castor stature only increased the levels of P, S, Cu and Mn in seeds, soil nutrients, pH, organic matter, potential acidity, sum of bases, cation exchange capacity and base saturation .

Keywords: organic compost; steel slag; low-height castor; phosphorus availability.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população dos grandes centros urbanos, a produção de resíduos como lodo de esgoto também aumenta, os quais, geralmente, são acumulados ou destinados no ambiente sem o tratamento adequado, gerando problemas ambientais, tais como a eutrofização dos mananciais de água, a contaminação do solo e da água, atratividade de vetores, odores desagradáveis e a contaminação de humanos e animais por patógenos de origem fecal, caso seja descartado de forma imprópria.

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo semissólido resultante do tratamento de esgoto e águas servidas, predominantemente orgânico e produzido em grande escala. Suas características químicas dependem da qualidade do esgoto, do tipo de instalação (ETE) adotada, da forma de acondicionamento e do tratamento para redução de patógenos.

O Brasil apresenta um conjunto de leis e normativas sobre o uso de resíduos urbanos e industriais bastante rígidas, as quais conferem segurança no momento do uso e do tratamento dos lodos para aplicação. A compostagem é um dos processos utilizados para reduzir os patógenos e estabilizar o lodo de esgoto, resultando em um produto rico em nutrientes e com elevado teor de matéria orgânica (EPSTEIN, 1997). Em decorrências de suas características, o LE compostado pode ser utilizado como fertilizante ou condicionador de solo na agricultura, substituindo parcial ou totalmente os fertilizantes minerais.

Porém, a legislação deve ser observada, uma vez que esses materiais podem acarretar contaminação do solo com metais pesados, organismos patogênicos e compostos orgânicos persistentes. O LE não pode ser utilizado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, e em culturas cuja parte comestível entre em

contato com o solo, podendo ser usado em cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos (CONAMA, 2006).

Em espécies como a mamoneira, produtora de óleo e não comestível o lodo de esgoto pode ser aplicado sem restrições. Pesquisas apontam os benefícios do LE na cultura da mamona, como aumento na altura de plantas e massa de matéria seca, além do aumento da concentração de nutrientes (N, K, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea da planta conforme houve incremento das doses de LE (BACKES et al., 2009).

Em regiões com solos muito intemperizados, com baixos teores de matéria orgânica (MO) e de nutrientes, o uso do LE compostado pode proporcionar benefícios agrônômicos como elevação dos valores de pH, do teor de C orgânico e da CTC, redução da acidez potencial, aumento na disponibilidade de nutrientes, melhorias nas propriedades físicas do solo (densidade do solo, tamanho dos agregados), capacidade de retenção de água além do benefício social pela disposição final de um resíduo com menor impacto negativo possível no ambiente (OLIVEIRA, 2000; DOU et al., 1997; MELO, et al., 2004).

Além do LE, outros resíduos advindos da indústria também podem ser aproveitados pela agricultura, como é o caso das escórias de aciaria. Este resíduo é proveniente da matéria-prima dos minérios de ferro, cuja incorporação ao ferro gusa ou aço é indesejável. A escória de aciaria é um subproduto da produção do aço composta de muitos óxidos, como CaO e MgO, portanto, podem ser usadas como corretivos de solos devido à sua alcalinidade.

A ação neutralizante das escórias é semelhante a do calcário, e apresentando maior solubilidade (ALCARDE, 1992), proporcionando maior mobilidade no solo dos produtos da reação (QUAGGIO, 2000), inclusive em profundidade (CORRÊA et al., 2008). Em decorrência de sua composição, as escórias podem promover o aumento dos teores de Ca e Mg no solo e neutralizar a acidez do solo, através do ânion silicato (SiO_3^{2-}). Este mesmo ânion pode competir com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção, fato que poderia aumentar a eficiência da adub

ação fosfatada (PRADO et al., 2001). A aplicação de resíduos urbanos e industriais na agricultura, como o lodo de esgoto compostado e a escória de aciaria podem diminuir o consumo de fertilizantes minerais e de corretivos da acidez do solo, uma vez que possuem características intrínsecas que lhes conferem composição nutricional essencial para as culturas, matéria orgânica e poder de neutralização da acidez do solo, permitindo, assim, a redução de custos, destinação apropriada com menor risco ao ambiente e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Segundo exposto, objetivou-se com o trabalho analisar a influência e as interações entre a aplicação de lodo de esgoto compostado e uma fonte de fósforo solúvel, em combinação com doses de calcário e escória de aciaria no crescimento e produtividade da mamoneira de porte baixo (*Ricinus communis* L.).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Corretivos da acidez do solo

Em condições naturais os solos podem ser ácidos, dependendo do seu material de origem e da intensidade da ação dos agentes de intemperismo (clima e organismos), como em regiões com altas precipitações possuem tendência maior a acidificação do solo em decorrência da remoção de cátions de caráter básicos como Ca, Mg, K e Na, e o consequente acúmulo de cátions ácidos como Al e H (SOUZA et al., 2008).

A acidez do solo diminui a disponibilidade de nutrientes catiônicos (Ca, Mg, K) e aumenta a solubilidade de cátions tóxicos (H, Al) (FRANCHINI *et al.*, 2001), sendo considerada um fator limitante na produção agrícola. Os corretivos da acidez do solo elevam o pH, aumentando as cargas negativas no complexo de troca e diminuem a solubilidade de Al e Fe, proporcionando aumento na disponibilidade de fósforo na solução do solo e a retenção dos cátions (ERNANI *et al.*, 2000). A legislação brasileira define corretivo de acidez é todo o produto que promove a correção da acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos.

2.1.1. Calcário

O calcário é o corretivo mais comumente utilizado no Brasil. Proveniente da rocha calcária moída existe em relativa abundância, conseqüentemente, são os materiais mais usados na correção da acidez dos solos, constituído por CaCO_3 (carbonato de cálcio) e o MgCO_3 (carbonato de magnésio).

Segundo a USGC (Mineral Commodity Summaries, 2011), as reservas mundiais de calcário seriam suficientes para atender a demanda mundial durante muitos anos.

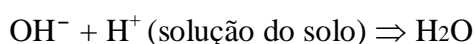
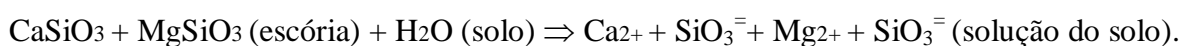
No Brasil, a análise dos Relatórios Anuais de Lavra (RAL) de 194 empresas produtoras de calcário agrícola teríamos reservas superiores a 2 bilhões de toneladas (MARTINS Jr., 2012). Em 2009 e 2010, o Brasil produziu cerca de 2,5% da produção mundial de calcário, e entre 2011 e 2012, cerca de 2,3%, sendo a China o maior produtor mundial, responsável por 60,4% da produção mundial de calcário (USGC, 2011; USGC, 2013).

No Brasil, o Centro-Oeste foi apontado como a região maior produtora, responsável por 37,9% da produção nacional de calcário em 2010, seguida pelo Sul com 27,8%, Sudeste com 24,2%, Norte com 5,5% e Nordeste com 4,7%, não sendo necessária a importação deste produto nem sua exportação (MARTINS Jr., 2012).

2.1.2 Escória de aciaria

A escória é um resíduo da indústria siderúrgica brasileira, originada do processamento dos minérios de ferro sob altas temperaturas (maiores de 1400°C), decorrentes da reação do calcário com a sílica (SiO₂) dos minérios (PRADO *et al.*, 2001). Existem dois tipos de escórias, a escória de alto forno, resultante da fusão redutora de minério de ferro para a produção de ferro gusa e, a escória de aciaria, advinda da conversão do ferro gusa líquido e da sucata em aço, realizada em conversores a oxigênio ou fornos elétricos (SOUSA, 2008). Nas usinas de produção de aço são geradas entre 100 e 150 kg de escória para cada tonelada de aço líquido (MACHADO, 2000).

As escórias são compostas por óxidos e silicatos de Ca e Mg, óxidos de Fe e Mn, ferro metálico e outros elementos em menores quantidades (CHAVES & FARIAS, 2008). Apresenta, também, constituintes neutralizantes como os silicatos (SiO₃²⁻), os quais possuem reação semelhante ao calcário no solo, podendo ser usado na correção da acidez do solo. A ação neutralizante das escórias é demonstrada nas equações abaixo:



Em função dos altos teores de silicatos de Ca e Mg, as escórias podem ser utilizadas como corretivos do solo, uma vez que possuem ação neutralizante e atuam como fonte de Ca e Mg para plantas, micronutrientes e silício. Além disso, o silicato de Ca é 6,78

vezes mais solúvel que o carbonato de Ca ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ gL}^{-1}$ e $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ gL}^{-1}$), portanto, possui maior potencial para a correção da acidez do solo em profundidade que o calcário (ALCARDE & RODELA, 2003).

A ação neutralizante da escória é muito semelhante a do calcário, no entanto, sua base química é o SiO_3 , que é considerada uma base fraca ($k_b = 1,6 \times 10^{-3}$), porém, é mais forte que a base CO_3 , do calcário ($K_{b1} = 2,2 \times 10^{-4}$) (ALCARDE, 1992). O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de SiO_3^{2-} , que reage com a água e libera íons OH^- , os quais neutralizam o Al^{3+} fitotóxico.

A aplicação de silicatos de Ca e Mg no solo promovem benefícios como aumento na disponibilidade de Si, elevação do pH e aumento do Ca e Mg trocável do solo, indiretamente propiciando incremento na disponibilidade de P, e ainda, diminuir a toxicidade de Fe, Mn e Al para algumas plantas (KORNDÖRFER *et al.*, 2004; PRADO *et al.*, 2002).

Carvalho-Pupatto *et al.* (2004), afirmam que a utilização de escórias elevou de forma significativa os valores de pH e reduziu a acidez potencial do solo, quando comparada ao tratamento testemunha (sem aplicação de escória). Outros trabalhos também mostraram resultados semelhantes com uso de escórias, descritos por Prado & Fernandes (2000) e Prado *et al.* (2002), os quais Alcarde (1992) atribui à ação do agente neutralizante SiO_3^{2-} gerado pela reação das escórias com o solo.

Além do uso das escórias na correção da acidez do solo, estudos demonstram seu potencial uso na competição com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção do solo, visando aumentar a eficiência da adubação fosfatada (PRADO & FERNANDES, 2001).

Na hidrólise do ânion silicato ocorre a liberação de hidroxilas (OH^-), os quais neutralizam os H^+ e elevam o pH do solo. Com a elevação do pH, ocorre a precipitação do Al^{3+} na forma de hidróxido de Al ($\text{Al}(\text{OH})_3$) o qual é pouco solúvel, não prejudicando as plantas, uma vez que não está mais ativo na solução do solo (KONDÖRFER & NOLLA, 2003).

Após o processo alcalinizante do silicato de cálcio no solo, ocorre a formação do H_4SiO_4 que logo se transforma em H_3SiO_4^- em pH próximo a 7,0, o qual pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al competindo pelos mesmo sítios de adsorção do H_2PO_4^- (HINGSTON *et al.*, 1972 citado por SOUZA *et al.*, 2008).

Carvalho *et al.* (2000), destacam que a competição entre os silicatos e os fosfatos ocorre quando a escória é aplicada antes do calcário e do fósforo, uma vez que na

ausência do calcário, o CaSiO_3 primeiramente alcalinizará o solo, seguindo-se a formação de H_3SiO_4^- , o qual parece saturar os sítios de adsorção de H_2PO_4^- , disponibilizando-o na solução do solo em maiores concentrações. Entretanto, o ganho em fósforo pelas plantas pode resultar do somatório de dois efeitos, sendo o primeiro o poder alcalinizante do Si e o segundo, a competição Si x P pelos mesmos sítios de adsorção do solo (BALDEÓN, 1995).

Pulz *et al.* (2008), ao estudarem a influência do silicato e do calcário na nutrição da batata sob condição de deficiência hídrica, observaram que os maiores teores de P nas folhas foram encontrados nos tratamento com silicato.

No entanto, outros trabalhos mostram a não disponibilização de P pelo silicato no solo. Carvalho *et al.* (2000), mostraram que o silicato pode não disponibilizar P, de forma que a aplicação do silicato não reduziu a capacidade do solo em absorver o P em condições de deficiência, sugerindo um efeito insignificante do Si sobre a disponibilização do P no solo. Souza *et al.* (2008), também não verificaram efetivamente a influência da substituição do carbonato por silicato de cálcio na disponibilidade de P.

Ainda são contraditórias as opiniões acerca da ação dos silicatos sobre a disponibilidade de P, uma vez que na solução do solo o Si ocorre na forma de ácido silícico, que não é dissociado em pH inferior a 9,0, evidenciando que a interação entre o silicato e o P seria pouco provável, e ao mesmo tempo, vários estudos apresentam resultados concretos da possibilidade de uma reação competitiva pelos mesmos sítios de adsorção entre os íons silicatos e íons fosfato em resposta a aplicação de Si e ao consequente aumento na disponibilidade de P no solo, devido a um novo equilíbrio entre ânions silicato e fosfato no solo (Matichenkov & Bocharnikova, 2001).

Chaves & Farias (2008), observaram incrementos nos teores de fósforo disponível, a partir da segunda dose de agrossilício (RD RECMIX do Brasil), em relação ao calcário, fato que pode ser explicado pela possível competição dos ânions de silicato contidos no produto com o P pelos mesmos sítios de adsorção no solo (FASSBENDER, 1987). Léles (2012), observou aumento na quantidade de P desorvido do solo com a aplicação de escória em comparação com o calcário nas doses mais altas.

2.2 Lodo de Esgoto

Segundo a ABNT (2004), resíduos sólidos são resíduos no estado sólido ou semissólido, que resultam da atividade da sociedade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços, incluindo os lodos provenientes de sistemas de

tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

O lodo de esgoto é um resíduo sólido, proveniente do tratamento primário de esgotos, em que os sólidos são separados do líquido por gravidade, do tratamento secundário por separação de sólidos através da ação biológica e, do tratamento terciário ou avançado. Após as separações, o lodo passa por processos como adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação, para aumentar os teores de sólidos e diminuir os odores e patógenos (BERTON & NOGUEIRA, 2010; CHAGAS, 1999).

O lodo de esgoto ou biossólido, por ser um resíduo que contém teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, principalmente o N e o P, pode melhorar as propriedades físicas e as características químicas e biológicas do solo, o que possibilita seu aproveitamento na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento e produção das plantas (MELO *et al.*, 2001).

O uso do lodo de esgoto como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição total ou parcial da adubação mineral (ALAMINO, 2010), além de proporcionar melhorias nas características físicas e biológicas do solo.

No entanto, ainda que a utilização de lodo de esgoto na agricultura se apresente como a forma mais viável ao destino final desse resíduo, apresentam-se limitações ao seu uso decorrente da presença de patógenos e metais pesados, aumentando o risco de contaminação do solo e do homem (GOMES *et al.*, 2006). A Resolução CONANA nº 375/2006, traz a normatização para o uso do LE e seus produtos derivados, bem como as culturas onde é permitida sua aplicação. Em culturas como pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, a aplicação do LE e derivados é proibida, no entanto, pode ser aplicado em cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, como a mamona.

Nesse sentido, vários são os processos que visam estabilizar o lodo de esgoto, minimizando ou eliminando os odores e a presença de patógenos no lodo. Os processos biológicos de estabilização utilizam mecanismos naturais de biodegradação por via anaeróbia ou aeróbia: digestão anaeróbia, digestão aeróbia, digestão aeróbia auto-térmica e compostagem. Durante o processo de compostagem do lodo de esgoto, os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação pela ação de microrganismos,

caracterizando-se como um processo biológico. Para tanto, parâmetros como aeração, temperatura, umidade, relação C/N e pH devem ser monitorados para que sejam fornecidas as condições ambientais favoráveis à ação dos microrganismos (FERNANDES, 2000).

2.2.1 Efeito como condicionador do solo

O uso de resíduos orgânicos na agricultura, quando devidamente tratados e/ou compostados, fundamenta-se nos elevados teores de C de compostos orgânicos (CO) e de nutrientes neles contidos, no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e na neutralização da acidez.

Existem vários condicionadores de solo, como o calcário, o gesso agrícola, a hidroxiapatita e outras fontes solúveis de P, materiais ricos em Fe ou Mn, e argilas, ou até mesmo biossólidos com concentrações reduzidas de metais. Hamon *et al.* (2002), listam o calcário, fosfatos e compostos orgânicos os quais estabilizam os metais por meio de ligações químicas, cujo resultado é a formação de compostos estáveis pouco móveis ou tóxicos, o que previne a lixiviação de metais para o lençol freático ou para outros compartimentos do ecossistema. Além disso, os condicionadores de solos podem também causar alterações no pH do solo, convertendo os metais em formas não prontamente disponíveis às plantas e aos microrganismos (HAMON *et al.*, 2002; BROWN *et al.*, 2005).

Dentre os efeitos do lodo de esgoto, como condicionador de solo, sobre as propriedades físicas do solo, principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria no estado de agregação das partículas do solo, com consequente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água (MELO & MARQUES, 2000). Quanto aos aspectos químicos, a aplicação de lodo ao solo tem propiciado elevação dos teores de fósforo, de carbono orgânico, da fração húmica da matéria orgânica, do pH, da condutividade elétrica e da capacidade de troca de cátions (Cavallaro *et al.*, 1993; Melo *et al.*, 1994; Silva *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2002).

2.2.2 Efeito no pH do solo

De acordo com Abreu Jr. *et al.* (2005), os resíduos orgânicos de forma geral apresentam reação alcalina e podem elevar o pH do solo, fato importante no controle da disponibilidade de metais pesados no solo, solubilizando-os ou complexando-os.

Em solos ácidos, o aumento do pH proveniente da adição do biossólido pode ser atribuído a formação de OH^- quando o O_2 da solução do solo atua como receptor de elétrons provenientes da oxidação microbiana do C, da capacidade de consumo de prótons e da

carga orgânica do composto, ou indiretamente, devido ao aumento dos teores de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) (OLIVEIRA, 2000).

O efeito do biossólido tratado com cal na correção da acidez do solo se verifica pelo aumento do pH e pela redução dos teores de H^+ + Al, tanto em superfície como em profundidade (ABREU JR. *et al.*, 2005). Oliveira *et al.* (2002), ao avaliarem os efeitos de aplicações de lodo de esgoto sucessivas em dois anos, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com cana-de-açúcar, observaram que os valores de pH apresentaram acréscimo de 1,9, 2,5 e 2,7 unidades, em relação a testemunha, respectivamente para as doses de 33, 66 e 99 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de lodo de esgoto. Os mesmo autores verificaram que no segundo ano, os acréscimos foram de 2,6, 2,9 e 3,2 unidades, após a reaplicação de 37, 74 e 110 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do resíduo. A reaplicação proporcionou aumentos relativamente pequenos, quando comparados aos primeiro ano, o que justificam ser causa do poder de tamponamento do solo estudado.

Nascimento *et al.* (2004), encontraram valores de pH com decréscimos lineares e significativos com o aumento da dose de lodo utilizada para ambos os solos (Espodossolo e Argissolo), no entanto, mesmo para a maior dose aplicada (60 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), o pH permaneceu em valores adequados para o crescimento de plantas. Os autores explicam que este resultado decorre da utilização de lodo de esgoto não caleado no ensaio, portanto de pH ácido.

A eficiência do lodo de esgoto em aumentar o pH tem sido explicada em razão da alcalinidade dos materiais utilizados no processo de tratamento do lodo, principalmente a adição de cal virgem (CaO) ou cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), com o objetivo de eliminar patógenos e estabilizar o resíduo (OLIVEIRA *et al.*, 2002; FERNANDES, 2000; MELO & MARQUES, 2000).

Então, além do poder de tamponamento do solo, da textura do solo, da dose, o tipo de tratamento que o resíduo recebeu também pode provocar alterações no pH. Lodos estabilizados com cal ou cal hidratada, elevam o pH do solo, e, em se tratando de solos com cargas dependentes de pH, que são muito comuns no Brasil, isso resulta em aumento da CTC (CHIBA *et al.*, 2008). Já os lodos de esgoto não estabilizados com cal, podem, inclusive, reduzir o pH devido à mineralização do resíduo orgânico e liberação de ácidos orgânicos (SIMONETE *et al.*, 2003).

2.2.3 Efeito na CTC do solo

Para solos tropicais, com predominância de minerais de argila 1:1 e sesquióxidos de Al, Fe e Mn, CTC baixa, o manejo de resíduos é fundamentalmente

importante, uma vez que a matéria orgânica contida nos resíduos é responsável por até 90% da CTC do solo (ABREU JR. *et al.*, 2001).

Alguns estudos apontam para o aumento da CTC do solo através do incremento de resíduos orgânicos. A aplicação de composto de lixo nas doses de 35 e 70 t ha⁻¹, em um solo degradado por mineração, promoveu o aumento da CTC de 8,4 mmolc kg⁻¹ para 13,0 e 20,1 mmolc kg⁻¹, respectivamente (Hortensine & Rothwell, 1972 citado por ABREU JR. *et al.*, 2001). No entanto, a contribuição de resíduo orgânico na CTC de solos sob clima tropical é baixa, indicando que somente aplicações consecutivas de doses elevadas do composto aumentarão significativamente a CTC desses solos, (OLIVEIRA, 2000).

Oliveira *et al.* (2002), estudaram o comportamento da CTC de um Latossolo Amarelo distrófico sob doses de lodo de esgoto, verificaram que os efeitos do lodo sobre a CTC a pH atual se manifestaram logo aos 30 dias após aplicação, no entanto, não refletiram em alterações expressivas, mesmo após 360 dias da aplicação. Também observaram que as estimativas dos acréscimos da CTC do solo feitas com base na CTC a pH 7,0 do lodo, mostraram que não houve incremento para a CTC do solo em nenhum momento da aplicação, levando a conclusão de que uma vez que a CTC a pH 7,0 do lodo é devida essencialmente à sua carga orgânica, é possível que esta não seja a principal responsável pelas alterações determinadas na CTC a pH atual do solo.

Sabe-se que em solos tropicais o complexo de cargas negativas é essencialmente dependente do pH, e tem na matéria orgânica o componente principal desse complexo. Para tanto, Oliveira *et al.* (2002), realizaram correlações entre a CTC ao pH atual do solo e valores de pH do solo, onde obtiveram elevada correlação entre as alterações na CTC com as alterações do pH do solo, deixando evidente que o aumento da CTC, verificados no tratamento com lodo de esgoto, não foram predominantemente proporcionados pela carga orgânica do resíduos, mas estiveram diretamente relacionados com o pH do solo, uma vez que, mesmo que o pH tenha fornecido condições favoráveis para que a matéria orgânica manifestasse cargas variáveis, nenhuma alteração expressiva na CTC foi determinada.

As respostas da CTC do solo a adição de lodo de esgoto é diferente da resposta à adição de composto de lixo. Bertoncini (2002), explica que a natureza das substâncias húmicas presentes nos resíduos são diferentes entre si, uma vez que quantidade de ácidos carboxílicos do lodo é reduzida, pela ausência de material lignificado, havendo predomínio de grupos fenólicos, encontrados em menor proporção, proporcionando uma

elevação não tão significativa da CTC de solos sob adição de lodo, comparado com outros resíduos (composto de lixo).

Quanto a determinação da CTC em solos tratados com lodo de esgoto, ressalta-se que existem diferenças entre os valores de CTC determinados diretamente, com solução tampão e os valores determinados com a soma dos cátions trocáveis e acidez total, geralmente usadas nas análises de solo. Abreu Jr. *et al.* (2005), sugere que a CTC em amostras de solo tratados com resíduos orgânicos seja feita de forma direta, já que estes solos apresentam excesso de sais em solução e cátions trocáveis são superestimados.

2.2.4 Efeito na matéria orgânica do solo

Os principais efeitos do uso de resíduos orgânicos em solos agrícolas estão diretamente relacionados à persistência da carga orgânica adicionada, uma vez que, se parte do carbono orgânico presente nos resíduos orgânicos aplicados nos solos agrícolas permanecesse resistente a degradação, os teores de matéria orgânica no solo aumentariam ao longo de aplicações sucessivas, promovendo alterações significativas nas propriedades físicas, químicas, biológicas e bioquímicas do solo (ABREU JR. *et al.*, 2005).

Sob condições de solos tropicais, os efeitos da aplicação de lodo no solo sobre o C orgânico podem ser temporários (MELO *et al.*, 1994) ou duradouros (OLIVEIRA *et al.*, 2002), ou mesmo, com aplicação de doses crescentes de lodo proporcionar aumentos lineares os teores de C orgânico, a longo prazo (DIAS *et al.*, 2007).

A adição de material orgânico ao solo rompe com uma condição de equilíbrio dinâmico, onde a mineralização do húmus é compensada pela síntese de novo húmus, uma vez que a adição de resíduo promove intensa degradação da matéria orgânica nativa ou da exógena, ou ambas, de acordo com as comunidades de microrganismos existentes no solo (ABREU JR. *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2000).

O carbono orgânico que é adicionado ao solo pelo resíduo pode ser sofrer vários processos como: gás carbônico liberado para a atmosfera, incorporado a biomassa do solo, convertido a húmus estável, ou ainda, simultaneamente ser mineralizado pela matéria orgânica nativa do solo. Essa interação é chamada de efeito priming e pode estimular ou retardar a decomposição do húmus nativo do solo (ABREU JR. *et al.*, 2005; ABREU JR. *et al.*, 2002).

Estudando os efeitos da aplicação sucessiva de composto de lixo, nas doses de 0, 20, 40 e 60 t ha⁻¹, no ano agrícola de 1996/97, e de 0, 24, 48 e 78 t ha⁻¹, no ano

agrícola de 97/98, sobre as propriedades químicas de um solo cultivado com cana-de-açúcar, Oliveira (2000), verificou que o teor de carbono orgânico apresentou aumento linear, conforme as doses do composto, dos 30 aos 360 dias após a incorporação do resíduo, durante os dois anos agrícolas. Ao final do segundo ano agrícola, esse autor observou para as doses acúmulos de carbono da ordem de 18, 29 e 55 % em relação aos teores observados na testemunha.

No mesmo trabalho acima, o autor calculou o incremento de carbono, evidenciando que o lodo teria apresentado uma fase de degradação inicial mais rápida, seguida por uma fase de estabilização progressiva. No período inicial a velocidade seria maior devido ao ataque microbiano sobre as substâncias orgânicas mais facilmente degradáveis restantes do tratamento biológico dos esgotos, como a biomassa microbiana composta de proteínas e carboidratos e, uma fase final com menor velocidade de degradação, devido a substâncias recalcitrantes (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

2.2.5 Fonte de P

Uma característica importante do lodo de esgoto é que esse resíduo é fonte de fósforo e o libera de forma moderada e gradativa no solo (KIEHL, 2010), em contraste com os fertilizantes solúveis que fornecem alto teor de P solúvel, logo após sua aplicação. A decomposição dos lodos de esgoto no solo produz agentes complexantes que facilitam a movimentação de fosfatos (LANGENBACH *et al.*, 1994).

O P presente no lodo de esgoto provém dos dejetos humanos e das células dos microrganismos que atuam no tratamento do esgoto, e dos detergentes sintéticos, nos quais são adicionados polifosfatos, como agentes quelantes, visando melhorar o potencial de limpeza desses produtos (TSUTIYA *et al.*, 2001; BAIRD, 2002).

A concentração de P no lodo de esgoto varia de 1,5 a 1,8% (TSUTIYA *et al.*, 2001) e sua eficiência como fonte de P depende dos processos de tratamento empregados para gerar e estabilizar o lodo, além do tipo do solo, clima, cultura e comunidade microbiana influenciam a solubilidade e disponibilidade do nutriente. (SMITH *et al.*, 2006). A maior parte do P do lodo está na forma inorgânica, e sua baixa concentração é devida ao processo de decomposição da matéria orgânica realizada pelos microrganismos durante o tratamento do lodo. Durante esse processo, a matéria orgânica passa por processo de degradação, ressíntese e estabilização, de forma que o P mineralizado e orgânico permanecem no lodo, proporcionando menor solubilidade e disponibilidade de P, comparado aos fertilizantes fosfatados inorgânicos (HEDLEY & McLAUGHLIN, 2005; ELLIOTT *et al.*, 2007).

Justamente, a solubilidade e a disponibilidade do P no lodo podem ser reduzidas graças ao aporte de metais (Fe e Al, Ca), empregados no tratamento do esgoto e condicionamento químico do lodo gerado (MAGUIRE *et al.*, 2000; MAGUIRE *et al.*, 2001; ELLIOTT *et al.*, 2007). Uma vez que o P liga-se a esses elementos forma compostos de solubilidade muito baixa e, dependendo das condições ambientais, pode ser lentamente liberado (COSTA, 2008) contribuindo para potencializar os benefícios agrônômicos do lodo e promover sua aplicação segura, reduzindo perdas para o ambiente.

A mineralização de P em lodo de esgoto, condição em que é disponível às plantas, acontece de forma lenta e gradativa (KIEHL, 2010). De acordo com SANEPAR (1997), acredita-se que aproximadamente 50% de P total está disponível para as plantas ao longo do primeiro ano de cultivo. A disponibilidade de P e as formas iônicas em que se encontra variam em função dos níveis de pH do meio e da solubilidade dos compostos formados. Segundo VALE *et al.* (1997), quando ácido, a precipitação de P ocorre com íons de Fe e Al, por outro lado, quando básico a fixação acontece com íons Ca. Sendo assim, a maior disponibilidade de P se dá com níveis de pH próximos à neutralidade ($\cong 6,0$), com predominância das formas H_2PO_4^- e HPO_4^- . Portanto, a calagem como processo de higienização do lodo pode diminuir a disponibilidade deste elemento.

2.3 Mamoneira de porte baixo

A utilização industrial do óleo de mamona a partir do final da década de noventa impulsionou a demanda de produção de grãos desta oleaginosa, proporcionando a introdução desta cultura em áreas maiores, como nos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso e posteriormente nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (MORO, 2008).

A demanda por fontes alternativas de energia para a produção de biodiesel também impulsionou a cultura da mamoneira em todo o país. A qualidade do biodiesel obtido a partir do óleo da mamona tem levado os governos a incentivarem o cultivo da mamona. Programas de melhoramento desenvolveram pesquisas para melhorar a produtividade da cultura, produzindo híbridos com as características como potencial produtivo, precocidade, amadurecimento uniforme, baixa deiscência, alto teor de óleo, resistência a pragas e doenças e porte baixo adequados à colheita mecanizada, tornando a cultura economicamente viável a médias e grandes propriedades (AZEVEDO *et al.*, 2001).

Segundo Savy Filho (2005), no Mato Grosso e em Goiás, quatro híbridos comerciais são cultivados como cultura de "safrinha", em sucessão à soja ou ao milho.

Sendo considerada como uma cultura secundária, a mamona vem ganhando força em época de safrinha por sua capacidade de adaptação às regiões produtoras e, também, pelo aproveitamento das máquinas agrícolas utilizadas na safra, propondo ao produtor uma opção viável (SILVA, 2012).

A mamoneira é uma planta bastante exigente em características edáficas, ressaltando-se a acidez do solo e os teores de nutrientes, tendo produtividade alta em solos com alta fertilidade natural e baixa acidez ou que receberam adubação e correção em quantidade adequada (SEVERINO et al., 2005). Em muitas regiões com zoneamento agrícola favorável ao cultivo de safrinha o milho se tornou monocultura, a mamona pode ser incluída nos programas de rotação de culturas, podendo resultar em aumento de fertilidade do solo (MORO et al., 2011).

Pesquisas apontam os benefícios do LE na cultura da mamona, como aumento na altura de plantas e massa de matéria seca, além do aumento da concentração de nutrientes (N, K, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea da planta conforme houve incremento das doses de LE (BACKES et al., 2009), aumento na produtividade de sementes (NASCIMENTO et al., 2011), não acarretando teores tóxicos de Cu, Fe, Mn e Zn no solo e nem nas plantas, além de obter o índice de eficiência agronômica 50% maior que a obtida com a adubação mineral com a aplicação de 10 t ha⁻¹ (CHIARADIA et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização do solo utilizado

O experimento foi realizado em vasos de 40 L, em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas / UNESP / FCA, no município de Botucatu, SP no ano de 2012.

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho Escuro, textura média e baixa fertilidade natural (CARVALHO *et al.*, 1983), cujos resultados da análise de solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise do solo utilizado no experimento. Botucatu-SP, 2012.

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _e dm ⁻³ -----							
4,1	14	1	10	54	0,1	3	1	3	58	6
S		B		Cu		Fe		Mn		Zn
----- mg dm ⁻³ -----										
10		0,33		0,9		4		0,2		0,1

3.1.1 Temperaturas máxima, mínima e média

Na Figura 1 são apresentados os dados de temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas na casa de vegetação, junto ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, para o período de condução do experimento.

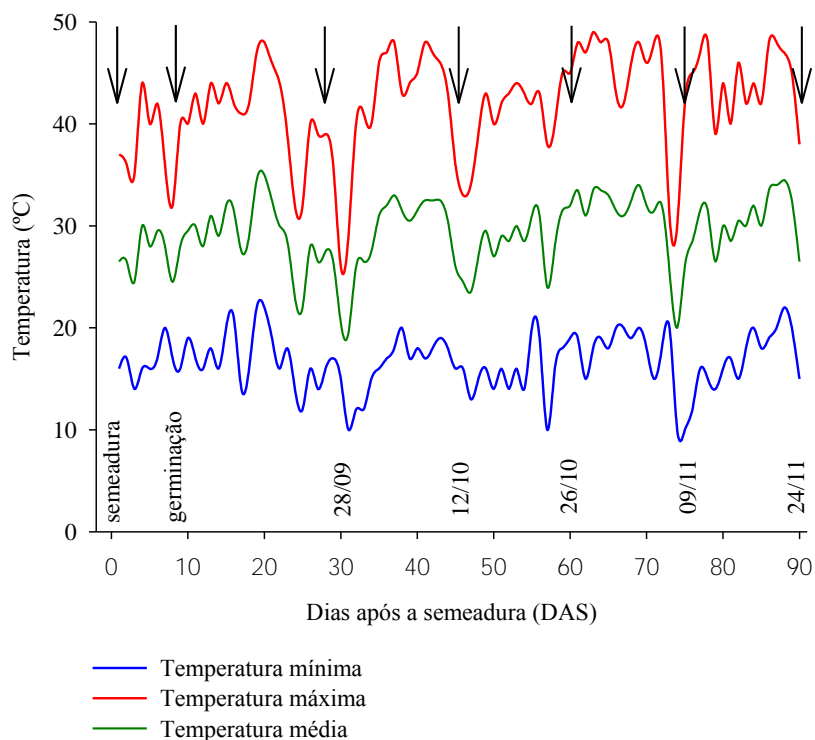


Figura 1. Temperaturas mínima, máxima e média referentes ao período de 28/08/2012 a 24/11/2012, em túnel plástico, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais (FCA-UNESP), em Botucatu-SP. Setas indicando as datas de semeadura, germinação e avaliações.

A temperatura ideal para o crescimento e maturação da mamoneira varia de 20 a 30°C, com um ótimo em torno de 23°C (GONÇALVES *et al.*, 2005). As temperaturas durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura na área experimental variaram em média entre 10°C e 49°C (Figura 1).

3.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 com 4 repetições, constituídos pelas 4 combinações das doses de calcário mais as doses de escória de aciaria (silicato), nas proporções de 100, 66, 33 e 0% e, pelas doses de adubo fosfatado mais lodo de esgoto compostado, equivalente às proporções de 100, 66, 33 e 0%, totalizando 64 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico com capacidade para 40 dm³ de solo e uma planta de mamona (Figura 2).



Figura 2. Visão geral do experimento aos 30 dias após semeadura. Botucatu-SP, 2012.

3.3 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram:

T 1 = 100% Calcário + 0% Silicato + 100% Lodo x 0% Fósforo

T 2 = 100% Calcário + 0% Silicato + 66% Lodo x 33% Fósforo

T 3 = 100% Calcário + 0% Silicato + 33% Lodo x 66% Fósforo

T 4 = 100% Calcário + 0% Silicato + 0% Lodo x 100% Fósforo

T 5 = 66% Calcário + 33% Silicato + 100% Lodo x 0% Fósforo

T 6 = 66% Calcário + 33% Silicato + 66% Lodo x 33% Fósforo

T 7 = 66% Calcário + 33% Silicato + 33% Lodo x 66% Fósforo

T 8 = 66% Calcário + 33% Silicato + 0% Lodo x 100% Fósforo

T 9 = 33% Calcário + 66% Silicato + 100% Lodo x 0% Fósforo

T 10 = 33% Calcário + 66% Silicato + 66% Lodo x 33% Fósforo

T 11 = 33% Calcário + 66% Silicato + 33% Lodo x 66% Fósforo

T 12 = 33% Calcário + 66% Silicato + 0% Lodo x 100% Fósforo

T 13 = 0% Calcário + 100% Silicato + 100% Lodo x 0% Fósforo

T 14 = 0% Calcário + 100% Silicato + 66% Lodo x 33% Fósforo

T 15 = 0% Calcário + 100% Silicato + 33% Lodo x 66% Fósforo

T 16 = 0% Calcário + 100% Silicato + 0% Lodo x 100% Fósforo

3.4 Instalação e condução do experimento

Elevou-se a saturação de bases do solo a 70%, através de calcário dolomítico, adicionando-se doses de 77,3 g, 51,5 g, 25,7 g para os tratamentos de 100, 66 e 33%, respectivamente. Juntamente com estes tratamentos foram aplicadas as doses de escória de aciaria, cujas informações encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado da análise da escória da aciaria. Botucatu-SP, 2012.

CaO	MgO	RE	PRNT	Si	PN
-----%-----					%ECaCO ₃
28,13	6,1	71,16	50	14,2	70

Considerando o PRNT da escória (50%), os tratamentos receberam as doses de 148,5 g, 99 g e 49,5 g para as doses de 100, 66 e 33%, respectivamente. No dia 27 de julho de 2012, procedeu-se a aplicação dos tratamentos com calcário e escória no solo, a fim de permanecerem por um mês em período de incubação, para somente então receber a adubação e as doses de lodo de esgoto compostado.

A Tabela 3 mostra os resultados da análise do lodo de esgoto compostado utilizado neste estudo, realizada pelo Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da UNESP-FCA.

Tabela 3. Resultado da análise de material orgânico – lodo de esgoto compostado. Botucatu-SP, 2012.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	MO	C
-----%-----								
0,71	0,4	0,07	0,73	0,11	0,3	44	21,76	12,09
Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH	
-----mg/kg ao natural-----						----ao natural----		
136	63	78	24480	306	141	16/1	5,35	

As doses de lodo de esgoto compostado foram calculadas considerando a necessidade de N pela cultura da mamona (SAVY FILHO, 1997) e a taxa de mineralização do N (TMN) de 30%, de acordo com o que recomenda a Companhia de Tecnologia e

Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1999). As doses aplicadas de lodo foram de 714, 476 e 238 g por vaso, equivalente aos tratamentos de 100, 66 e 33%, respectivamente, correspondendo a 100% da dose, 16,4 t ha⁻¹ em base seca e 35,7 t ha⁻¹ em base úmida de lodo. A dose recomendada de N, considerada adequada para a cultura da mamoneira foi de 75 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 15 kg ha⁻¹ na sementeira e 60 kg ha⁻¹ em cobertura, segundo (SAVY FILHO, 2001).

Para a aplicação de P, utilizou-se a fonte superfosfato triplo (41% de P₂O₅), para suprir uma necessidade de 250 mg L⁻¹, resultando nas doses de 55,9 g, 37,23 g e 18,62 g de SFT por vaso, correspondendo aos tratamentos de 100, 66 e 33%, respectivamente. Como fonte de K utilizou-se cloreto de potássio, em dose de 3,3 g por vaso, visando atingir 40 mg dm⁻³ de K, para todos os tratamentos.

Após os 30 dias de incubação, o solo recebeu os demais tratamentos e, então procedeu-se a sementeira da mamona, com 4 sementes por vaso, no dia 28 de agosto de 2012, ocorrendo a germinação sete dias após a sementeira. Utilizou-se uma linha de melhoramento de mamoneira de porte baixo, homogênea e estabilizada, oriunda do Projeto de Melhoramento da Mamona de Porte Baixo, sob a responsabilidade do professor Dr. Maurício Zanotto (Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / FCA / UNESP).

Aos dez dias após a emergência (15/09/2012), realizou-se o desbaste das plantas, restando apenas uma planta por vaso. Quinzenalmente após o desbaste foram feitas as avaliações de crescimento nas plantas de mamona, passando pelos dias 28/09, 12/10, 26/10, 09/11 e 24/11.

Aos 28 dias após a emergência, por ocasião do florescimento das plantas e pela constatação de deficiência de N, foi realizada uma adubação de cobertura com uréia utilizando 40 mg dm⁻³ de N. O experimento foi conduzido até que todas as plantas tivessem emitido o primeiro cacho e este alcançasse a maturidade dos frutos.

3.5 Avaliações nas plantas de mamona

Quinzenalmente após o desbaste foram realizadas as seguintes avaliações nas plantas de mamona:

a) Altura média da planta: medida do colo da planta até o ápice do ramo mais alto, com o auxílio de uma fita métrica ou régua.

b) Diâmetro do caule: medido no caule cerca de 4 cm do solo com auxílio de um paquímetro digital.

c) Área foliar: realizada através da medição do comprimento da nervura principal da folha da mamona pela medida do comprimento das nervuras principais, conforme metodologia proposta por Severino *et al.* (2005).

No período reprodutivo e no final do ciclo, foram realizadas seguintes avaliações, somente no primeiro cacho:

a) Número de frutos por cachos: por ocasião da colheita, foram contados os frutos produzidos no primeiro cacho.

b) Porcentagem de grãos nos frutos: foi realizada através de amostras de 200g de frutos (grãos+cascas) somente dos cachos primários, em seguida separados e pesados.

c) Produtividade de frutos: ao final do ciclo, foram colhidos todos os frutos (casca+grãos) da mamoneira, pesados em balança de precisão e, calculada a massa por planta.

d) Teor de nutrientes nos grãos: foram retiradas amostras de grãos de cada tratamento, as quais foram lavadas em água deionizada e secas em estufas de circulação de ar forçada a 60°C por 48 horas até o peso constante. Após, foram maceradas com auxílio de cadinho e pistilo e, então, determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

e) Teor de óleo nos grãos: Para a determinação do teor de óleo, amostras dos grãos foram secas em estufa a 70°C por 24 horas e submetidas à análise por Ressonância Magnética Nuclear (RMN), segundo metodologia de Prestes *et al.* (2007).

f) Produtividade de óleo: A produtividade de óleo por tratamento foi obtida multiplicando-se a produtividade de grãos da mamoneira pelo teor de óleo (%).

g) Massa de matéria seca: Realizado mediante a pesagem do material vegetal (g) seco em estufa de circulação de ar a 65°C, até peso constante.

3.6 Determinações químicas no solo

A amostragem do solo foi efetuada em cada vaso, ao final do período de florescimento da mamona. As amostras de solo foram coletadas com trado na profundidade de 0-0,2 m, sendo feitas 5 subamostras, homogeneizadas em seguida, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA) e então, encaminhadas para o laboratório para determinação de pH em CaCl_2 ; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) extraído pela resina trocadora de íons; acidez potencial (H+Al) por acetato de cálcio; soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) segundo metodologia de Abreu et al. (2001).

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos á análise de variância e os parâmetros significativos ao teste de Tukey 5% de probabilidade. Os dados referentes ao crescimento das plantas foram submetidos ao teste de regressão a 5% de probabilidade, por meio do programa SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Altura média das plantas, diâmetro do caule e área foliar

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que a altura, o diâmetro e a área foliar das plantas de mamona foram influenciados de forma significativa pelas doses de lodos de esgoto combinadas com o adubo fosfatado, exceto para a altura aos 85 DAE. Não foi verificado efeito significativo para as mesmas avaliações quanto às combinações das doses de calcário e escória.

Na Figura 3, observa-se que os resultados para altura média das plantas de mamona foram maiores para as misturas das proporções entre o lodo de esgoto e as doses de fósforo.

Por ser o lodo um resíduo rico em matéria orgânica e outros nutrientes, principalmente o N e o P, pode atuar como fornecedor de nutrientes para as plantas (MELO *et al.*, 2001). Backes *et al.* (2009), avaliando o efeito da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto (LE), com e sem a adição de nitrogênio, no desenvolvimento inicial de plantas de mamoneira, observaram que altura de plantas não foi influenciada pela aplicação do fertilizante nitrogenado, havendo efeito linear crescente apenas para as doses de lodo de esgoto aplicadas.

Considerando o tratamento 100L+0P (Figura 3), a ausência de P não levou a apresentação de sintomas de deficiência nem restringiu o crescimento das plantas e, estatisticamente, os resultados não diferiram dos melhores tratamentos.

O tratamento 66L + 33P (Figura 3), apresentou os maiores valores de altura de planta. Uma vez que o ciclo da mamona encaminhou-se para a maturação dos frutos, os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas.

Tabela 4. Resumo da análise da variância para a altura média das plantas (cm), diâmetro do caule (mm) e área foliar da mamoneira (cm²), em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação.

Tratamento	25 DAE		
	Altura	Diâmetro	AF
Calcário e Silicato (CS)	1,25	0,39	0,36
Fósforo e Lodo (FL)	18,2*	37,59*	24,05*
CS x FL	0,78	1,34	0,78
	40 DAE		
Calcário e Silicato (CS)	0,63	0,23	0,89
Fósforo e Lodo (FL)	31,51*	79,54*	66,23*
CS x FL	0,62	2,38	1,52
	55 DAE		
Calcário e Silicato (CS)	0,7	0,89	1,35
Fósforo e Lodo (FL)	13,91*	15,20*	17,11*
CS x FL	0,87	0,88	0,52
	70 DAE		
Calcário e Silicato (CS)	0,85	0,44	1,81
Fósforo e Lodo (FL)	4,86*	18,17*	12,78*
CS x FL	1,01	1,55	0,29
	85 DAE		
Calcário e Silicato (CS)	1,51	0,21	0,25
Fósforo e Lodo (FL)	2,39	0,90*	20,95*
CS x FL	1,16	1,53	2,2

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Esses resultados corroboram com Chiaradia (2005), que encontrou resposta semelhante para a altura de mamoneira sob doses de lodo de esgoto como fonte de N, nas quantidades de ½N, 1N e 2N vezes a dose de N recomendada para a cultura. Ferreira (2012), estudando a adubação orgânica combinada com adubação mineral no desenvolvimento da mamoneira em condições de sequeiro, obteve as melhores médias para a altura das plantas com o uso do adubo orgânico (esterco bovino) combinado com adubo NPK.

Outros trabalhos evidenciaram resultados positivos da altura das plantas de mamona em função das quantidades de resíduos orgânicos adicionados (SEVERINO *et al.*, 2006a; NASCIMENTO *et al.*, 2004; SOUTO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Confirmando-se, assim, a importância da aplicação de lodo de esgoto como fonte alternativa de nutrientes, como o N, auxiliando o crescimento das plantas.

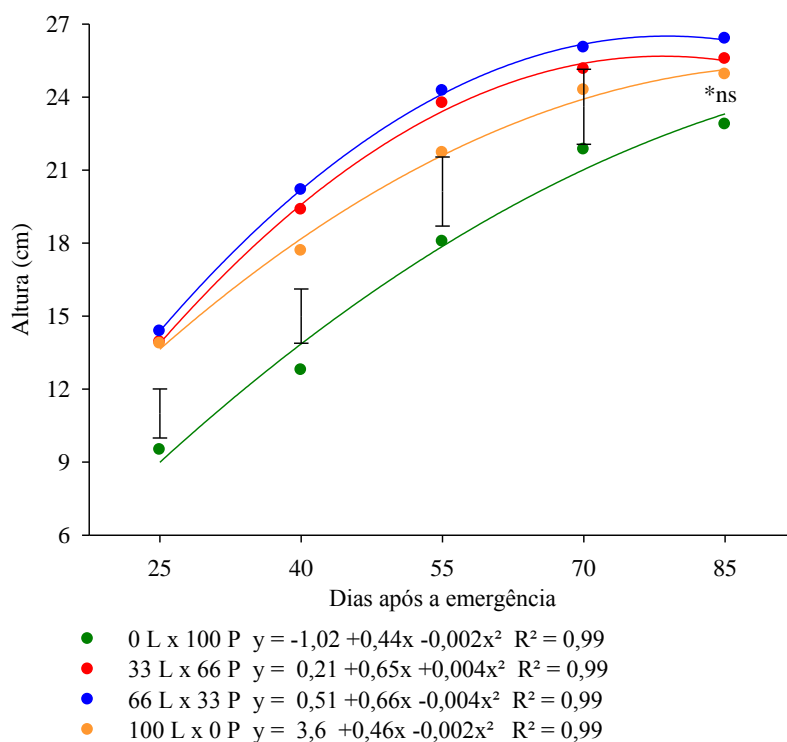


Figura 3. Análise para regressão da altura das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste f. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t, ns: não significativo.

Os resultados da análise da variância do diâmetro do caule (Tabela 4) das plantas de mamona, para todas as avaliações, apresentaram os melhores valores, novamente, as combinações entre as doses de lodo de esgoto e de fósforo. Na Figura 4, pode-se observar que os valores do diâmetro não diferiram significativamente entre os tratamentos 33L+66P e 66L+33P enquanto que os tratamentos 100L+0P e 0L+100P, proporcionaram os menores valores de diâmetro do caule para todas as avaliações.

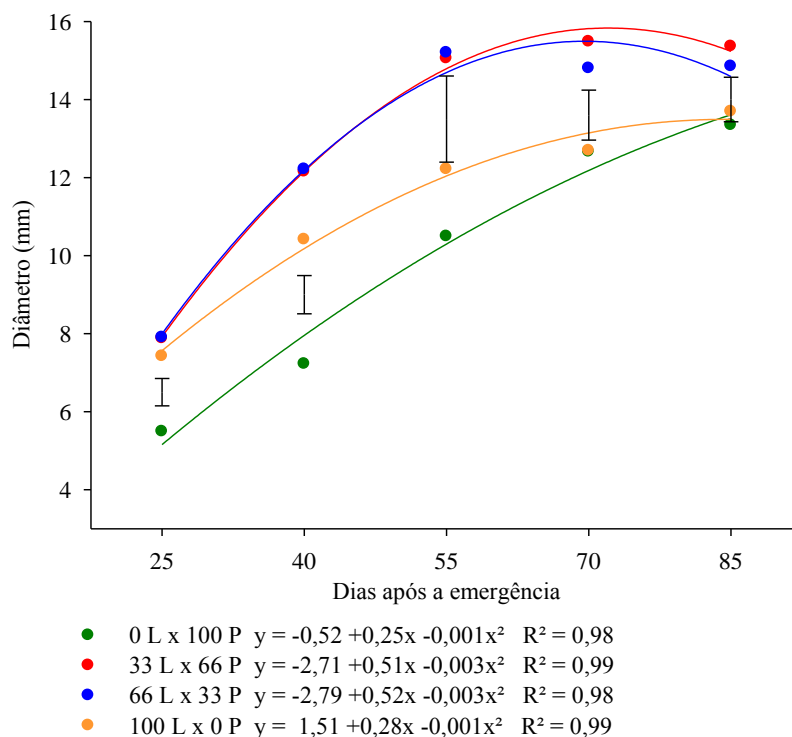


Figura 4. Análise para regressão do diâmetro das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t.

Alguns trabalhos encontraram resultados semelhantes sobre o diâmetro do caule da mamona em relação a adubação orgânica combinada com adubos inorgânicos (ZUBA JUNIO *et al.*, 2011; FERREIRA, 2012).

Zuba Junio *et al.* (2011), encontraram os maiores valores para o diâmetro do caule com o incremento da dose de composto de lodo de esgoto. Nascimento *et al.* (2011), também encontraram incremento no diâmetro do caule da mamoneira nas maiores doses de lodo de esgoto aplicado (45 e 60 t ha⁻¹).

Considerando que o aumento do diâmetro do caule está diretamente relacionado com o aumento do sistema radicular, acredita-se que as plantas que apresentam diâmetro do caule maior têm maior probabilidade de resistir a déficit hídrico e melhor nutrição, em função do maior volume de solo explorado pelas raízes, caracterizando maior vigor e robustez da planta (CARNEIRO, 1978; GUIMARÃES *et al.*, 2009).

A área foliar alcançou os maiores valores nos tratamentos com combinações de 33L+66P e 66L+33P (Figura 5) na primeira e na segunda coleta (aos 25 e 40

DAE), ou seja, desde a formação das folhas opostas verdadeiras (2º estágio), segmentação do eixo do racemo, formação da quinta ou sexta folha verdadeira e iniciação da gema axilar (3º estágio), diferenciação do meristema primário (4º estágio) e diferenciação da parte floral (5º estágio).

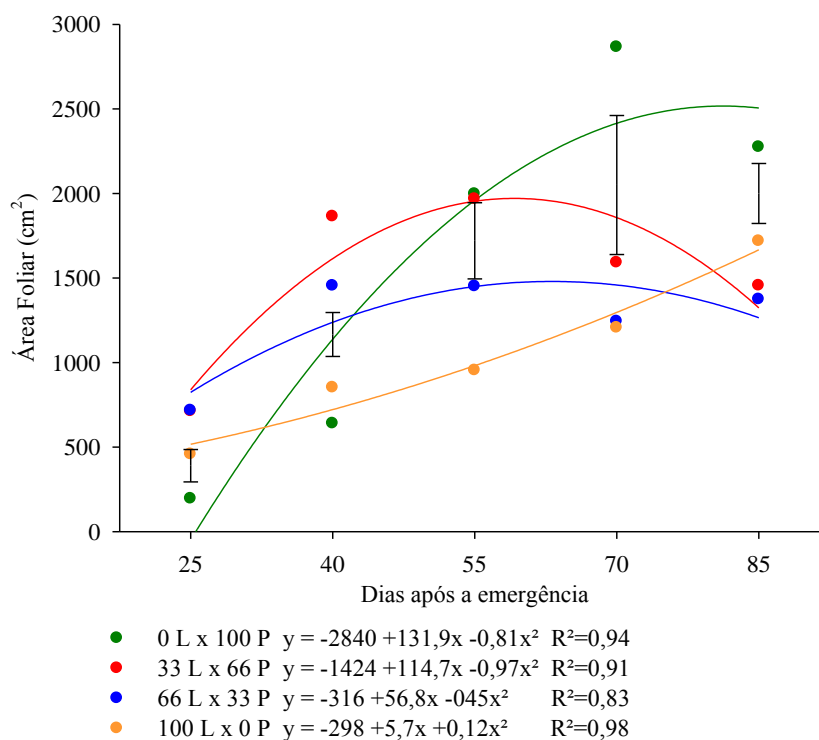


Figura 5. Análise para regressão da área foliar das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t.

Aos 55 DAE, a mamona já possuía o racemo com flores femininas e masculinas (7º estágio). Neste estágio, a área foliar teve seus maiores valores para os tratamentos com combinações de lodo de esgoto e fonte de fósforo, e para o tratamento 0L+100P, tendo o tratamento 100L+0P apresentado os menores valores.

A planta quando jovem apresenta retardamento, por qualquer deficiência nutricional, as aplicações subsequentes não proporcionam os mesmos efeitos que os verificados em plantas adubadas corretamente desde o início do desenvolvimento e formação. Considerando que a expansão foliar está estritamente relacionada com a expansão das células epidérmicas e a concentração interna de fósforo no tecido vegetal, a deficiência de P proporciona uma redução na parte aérea, limitando a área foliar e reduzindo a taxa de

assimilação de carbono e da senescência prematura das folhas, conseqüentemente, limitando a produção (MARSCHENER, 2002).

Na quarta e quinta avaliações (Figura 5), as maiores áreas foliares foram encontradas nos tratamentos com maiores doses de fósforo, sendo eles 0L+100P, 33L+66P, 66L+33P e 100L+0P, respectivamente para a quarta avaliação aos 70 DAE, e 0L+100P, 100L+0P, 33L+66P e 66L+33P, para a última avaliação aos 85 DAE.

Considerando que o P e o N são elementos essenciais para o crescimento e produção da mamoneira, estudos demonstraram que a planta de mamona apresenta grande demanda por N para o crescimento e produção foliar, e em condição de deficiência deste nutriente, apresenta redução do crescimento e baixa estatura (SANTOS et al., 2004). Da mesma forma, níveis inadequados de P podem causar o retardamento do crescimento inicial e provocar considerável redução na produtividade (SEVERINO et al., 2006a).

Conforme apresentada na figura 5, aos 85 DAE, os maiores valores para a área foliar foram encontrados no tratamento com dose de 100% de P e ausência de LE (0L x 100P), corroborando com Pacheco et al. (2008), os quais verificaram que a produtividade da mamoneira foi influenciada pela adubação fosfatada, em contrapartida da adubação nitrogenada, discordando de Severino et al. (2006b), que encontraram maiores respostas á adubação nitrogenada, seguida pela fosfatada. Portanto, pode-se inferir que houve um desequilíbrio entre o P e N, advindos do superfosfato triplo e do lodo de esgoto, nos tratamentos 0L+100P e 100L+0P, respectivamente, para a variável área foliar.

4.2 Massa de matéria seca da parte aérea e raiz

A Figura 6 apresenta as massas de matéria seca das folhas, hastes, caule e raízes das plantas de mamona. Observa-se que para a variável massa de matéria seca do caule não houve diferença significativa para os tratamentos com doses de lodo de esgoto e de fósforo.

No entanto, Severino *et al.* (2006b), ao avaliar os efeitos da adubação orgânica e mineral sobre o crescimento e a produtividade da mamoneira, utilizando esterco, P, K e micronutrientes em solo de baixa fertilidade e baixa disponibilidade hídrica, afirmam que a associação do adubo orgânico e mineral com o fornecimento de micronutrientes aumentou significativamente o diâmetro do caule.

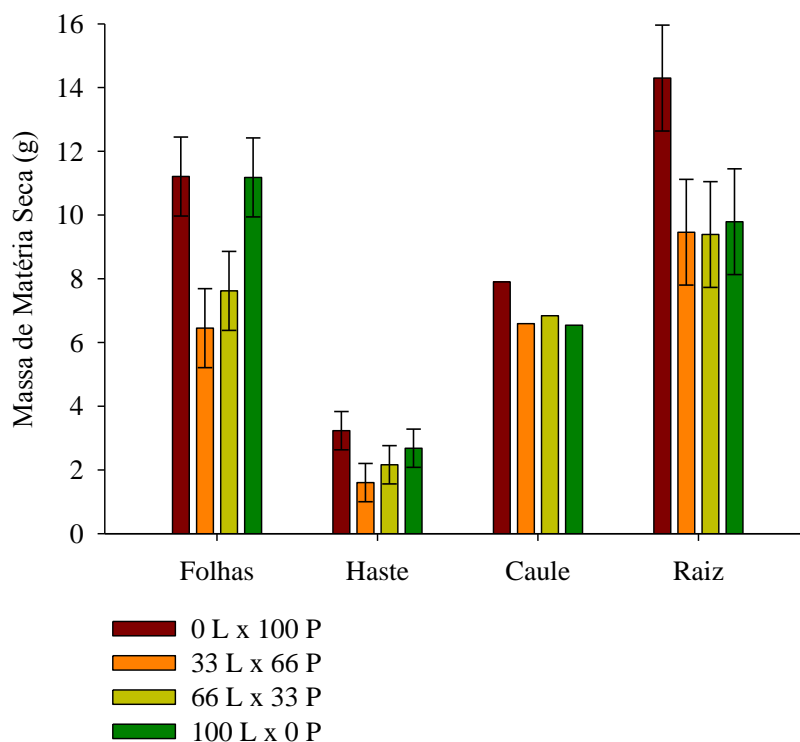


Figura 6. Massa de matéria seca das folhas, haste, caule e raiz das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t.

O tratamento 0L+100P proporcionou maior massa de matéria seca das folhas. No entanto, o tratamento 100L+0P, efeito isolado do lodo de esgoto, não diferiu significativamente do melhor tratamento, demonstrando que o lodo de esgoto disponibilizou o fósforo necessário para o bom desenvolvimento das folhas.

As características de solubilidade das fontes de P estão diretamente relacionadas a sua eficiência, portanto, fosfatos com maior solubilidade são mais prontamente disponíveis, favorecendo a absorção e, conseqüentemente, o aproveitamento do nutriente pela planta, principalmente as de ciclo curto. A fonte de fósforo usada no estudo foi o superfosfato triplo, o qual possui rápida liberação do P, o que pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente às plantas (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Ao passo que os fertilizantes de menor solubilidade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, poderiam minimizar os processos de fixação e

proporcionar maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas ao longo do tempo (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Chiba *et al.* (2009) quantificaram a resposta da cana-de-açúcar, variedade SP83-2847, à substituição da adubação mineral pela aplicação de lodo de esgoto, em combinações entre o fertilizante mineral e doses de lodo de esgoto, observaram que a aplicação do tratamento LE+0P (lodo de esgoto+0P) resultou em teores similares de nutrientes nas folhas em comparação ao tratamento FM (fertilizante mineral), indicando que o lodo disponibilizou P para a planta (SARKAR & O'CONNOR, 2004).

As hastes ou pecíolos das plantas de mamona (Figura 6) acompanharam a tendência das massas de matéria seca das folhas, obtendo a maior massa no tratamento 0L+100P, seguida pelos tratamentos 100L+0P, 66L+33P e 33L+66P.

Embora não tenha mostrado diferença significativa entre os tratamentos, a massa de matéria seca do caule (Figura 6) apresentou os maiores valores no tratamento 0L+100P, seguido pelos tratamentos 66L+33P, 33L+66P e 100L+0P.

A massa de matéria seca das raízes pode ser observada na figura 6. Nota-se que as maiores massas foram alcançadas no tratamento 0L+100P, seguido pelos tratamentos 100L+0P, 33L+66P e 66L+33P.

Segundo Malavolta *et al.* (1997), o P é absorvido predominantemente na forma iônica de $H_2PO_4^-$, sendo acumulado nas células corticais da raiz e transferido de dentro desta até o xilema via simplasto, chegando as folhas ou as regiões de crescimento, sendo juntamente com o nitrogênio o elemento mais prontamente redistribuído. O P promove a formação e crescimento prematura de raízes, melhorando, conseqüentemente, a eficiência no uso da água (LOPES, 1989).

Outros trabalhos com lodo de esgoto alcalinizados ou não, em misturas ou não com fertilizantes fosfatados solúveis, também relatam os incrementos na massa de matéria seca e ou na produção de culturas como feijão, milho e mamona (NASCIMENTO *et al.*, 2004b; SIMONETE *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.* 2009).

4.3 Massa de semente e fruto, número de frutos por cacho

A Figura 7 demonstra as massas de semente e frutos, além do número de frutos por cacho primário da mamona, em função dos tratamentos com combinações de doses de lodo e de fósforo.

Observa-se que para os parâmetros avaliados massa de semente e de fruto, os tratamentos que oportunizaram maiores valores foram 33L+66P, 66L+33P, sendo esta tendência verificada, também, para o número de frutos por cacho.

O lodo de esgoto é fonte de P e N. Nota-se que no tratamento em que não possuía o lodo como fonte de N, e mesmo após uma adubação de cobertura de 40 mg dm^{-3} , independentemente do tratamento, os valores de massa de semente e frutos, e o número de frutos por cacho ficaram abaixo dos tratamentos com combinações de doses e da aplicação do lodo solteiro. Salienta-se, porém, que a dose de lodo de esgoto compostado utilizada, baseou-se na quantidade de N necessária para o ciclo da cultura da mamona.

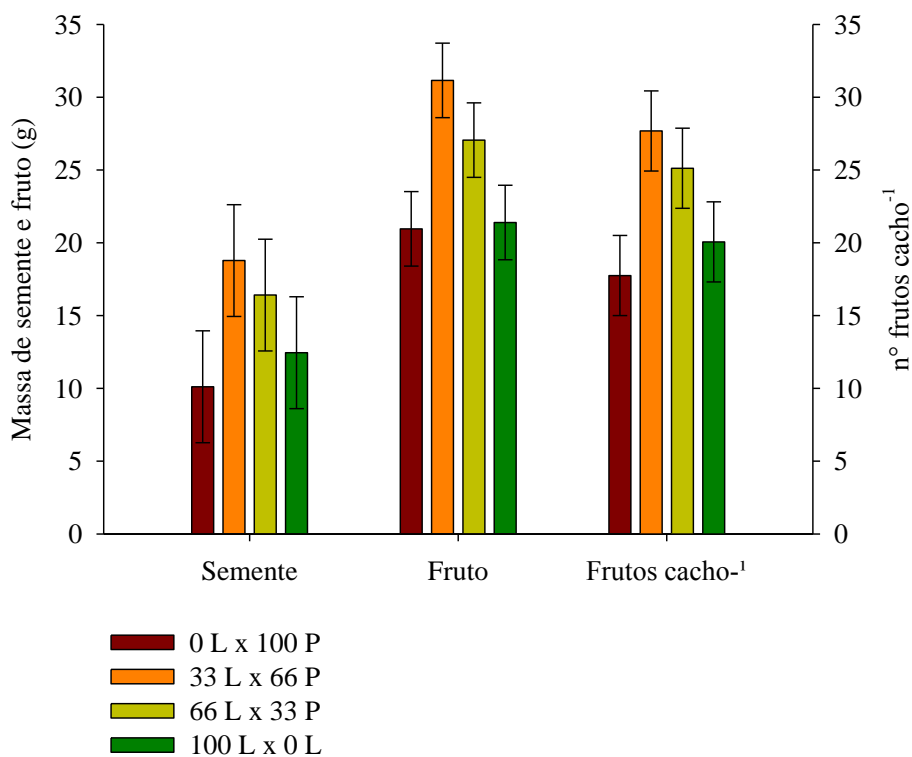


Figura 7. Massa de semente, fruto e número de frutos por cacho das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t.

Nakagawa *et al.* (1977), verificaram incremento significativo na produção de sementes de mamoneira e no número de frutos por cacho de acordo com doses crescentes de fósforo. Cruz Silva *et al.* (2012), ao avaliar a produção econômica da mamoneira sob doses de N e P, concluíram que o efeito da adubação fosfatada foi maior que o efeito da adubação nitrogenada, indicando que a deficiência de P é mais limitante para a produção da

mamoneira do que a deficiência de N. Os mesmo autores ressaltam que a produção de grãos chegou a diminuir com o aumento das doses de N, mas a resposta da cultura à adubação nitrogenada foi muito alta quando combinada com a maior dose de fósforo.

Portanto, pode-se inferir que a resposta da mamona à adubação fosfatada depende da disponibilidade de nitrogênio no solo, e que a resposta ao N presente no lodo, depende, por sua vez, da disponibilidade de fósforo, uma vez que o tratamento com dose 0L+100P proporcionou os menores resultados, não diferindo significativamente do tratamento com dose 100L+0P.

4.4 Rendimento e teor de óleo

A porcentagem de grãos nos frutos (rendimento) e o teor de óleo, em porcentagem, estão demonstrados na Figura 8, na qual se pode observar que a porcentagem de grãos nos frutos foi influenciada pelas combinações de lodo de esgoto e fósforo, obtendo os maiores valores o tratamento 33L+66P (60,2%), seguido pelo tratamento 66L+33P (60%), dos quais não diferiu o tratamento 100L+0P (56,8%) e 0L+100P (47,7%).

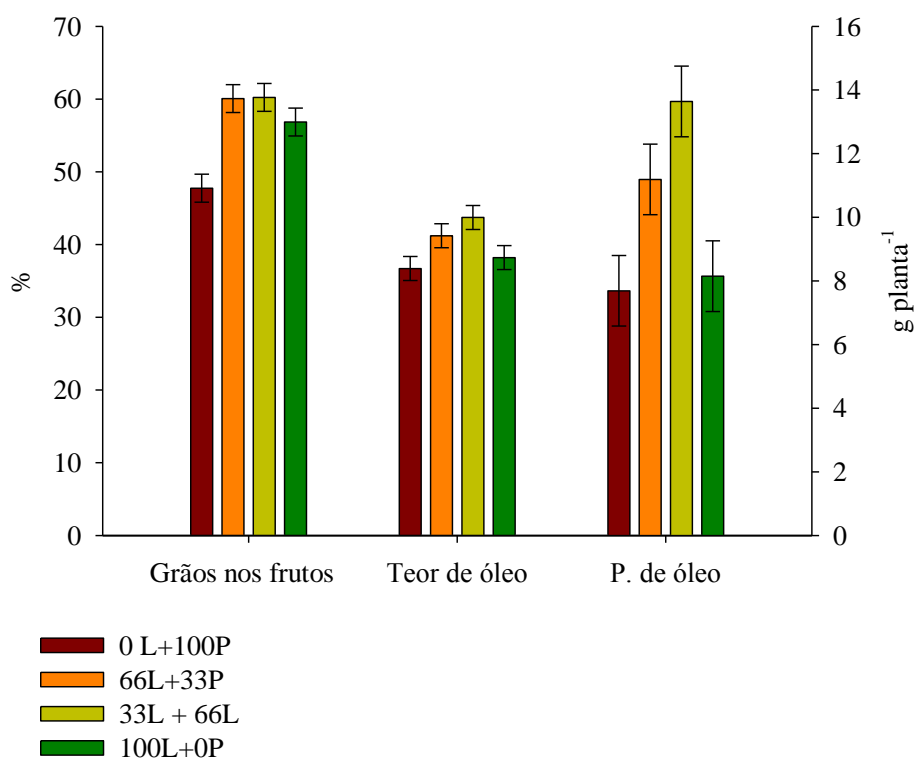


Figura 8. Porcentagem de grãos nos frutos, teor de óleo (%) e produtividade (P) de óleo (g planta⁻¹) nos frutos das plantas de mamona (*Ricinus cummunis* L.) em função das

combinações das doses de composto de lodo de esgoto e de fósforo aplicadas. Barras verticais correspondem ao DMS a 5 % do teste t.

O teor de óleo das sementes da mamoneira seguiu a tendência da porcentagem de grãos nos frutos, obtendo 43,7% (33L+66P) e 41,2% (66L+33P), 38,2% (100L+0P), que não diferiu do tratamento 66L+33P, seguido pelo tratamento 0L+100 com 36,7% de óleo, não diferindo deste tratamento.

A mesma tendência foi observada para a produtividade de óleo, a qual foi fortemente influenciada pelo tratamento 33L+66P, com produtividade de óleo de 13,64 g planta⁻¹ de mamona, seguida do tratamento 66L+33P (11,19 g planta⁻¹). Os tratamentos contendo apenas um dos adubos, 100L+0P e 0L+100P, não diferenciaram entre si, com produtividade de óleo de 8,15 e 7,69 g planta⁻¹ respectivamente.

Nascimento *et al.* (2011), afirma que a produtividade das plantas de mamona que receberam adubação química foi inferior à produtividade das que receberam doses de lodo de esgoto, apresentando maior rendimento. Severino *et al.* (2006b) observaram consistente aumento do teor de óleo nas sementes em resposta ao aumento nas doses de P.

A fertilização fosfatada possibilita incrementos na adsorção, translocação e metabolismo de nutrientes, principalmente do nitrato e do fósforo, considerando-se que esses dois elementos são determinantes no crescimento vegetativo, aumentando a área fotossinteticamente ativa (GROOT *et al.*, 2003), e pela importância dos fosfatos nas reações do ciclo de Calvin, principalmente na regeneração da Rubisco (XU *et al.*, 2007).

O P participa de importantes reações químicas da fisiologia da planta, com destaque para os processos ligados ao fluxo de energia, compondo a molécula de ATP e outras moléculas de grande importância, e entre os produtos comumente armazenados em sementes (óleos, proteínas e carboidratos), os ácidos graxos componentes dos óleos são os que mais exigem gastos de ATP por grama de produto armazenado (Beltrão *et al.*, 2001).

4.5 Teores de nutrientes nas sementes

Os teores de macro e micronutrientes encontrados nas sementes de mamona são apresentados na Tabela 5. No tocante aos macronutrientes apresentados, apenas o P, Mg e o S mostraram interação significativa com os tratamentos nas combinações de doses de calcário e escória. Quanto a interação com os tratamentos com combinações de lodo de esgoto e fósforo, os elementos N, P, K, S e Mg demonstraram interação significativa.

Dentre os micronutrientes analisados, apenas Cu, Mn e Fe (Tabela 5) mostraram interação com os tratamentos de calcário e escória. Já para os tratamentos com lodo de esgoto e fósforo, todos os micronutrientes analisados foram afetados significativamente pelos tratamentos, sendo eles B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Tabela 5. Resumo da análise da variância para os teores de macro e micronutrientes nas sementes de mamona em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto e, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.

Tratamento	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário e Silicato (CS)	0,403	2,16*	1,54	1,34	3,11*	6,45*
Fósforo e Lodo (FL)	4,00*	95,22*	7,57*	0,29	29,67*	3,84*
CS x FL	0,62	1,53	1,29	0,96	0,35	4,65

Tratamento	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário e Silicato (CS)	1,01	5,37*	5,51*	28,78*	1,92
Fósforo e Lodo (FL)	6,64*	90,04*	18,89*	6,06*	122,71*
CS x FL	0,73	1,95	2,88* ¹	1,84	1,14

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apenas o Fe (Tabela 5) mostrou-se significativamente influenciado pela interação entre os fatores calcário e escória e, lodo de esgoto e fósforo. Pigozzo *et al.* (2008), verificaram que a absorção de Fe, pela incorporação do lodo de esgoto na cultura do milho, foi maior em função das doses do resíduo.

Na Tabela 6, encontram-se as médias dos macro e micronutrientes na semente de mamona em função dos tratamentos. Observa-se que N, K e Ca não foram influenciados pelas combinações de calcário e escória, nem os micronutrientes B e Zn. Os macronutrientes afetados pelas combinações de calcário e escória foram o P, Mg e S, e os micronutrientes foram Cu, Fe e Mg.

O P (Tabela) apresentou a maior média no tratamento 33C+66S (4,62 g kg⁻¹), seguida pelos tratamentos 0C+100S e 100C+0S, 4,61 e 4,35 g kg⁻¹, respectivamente, não diferenciando entre si. Para o S, os tratamentos com doses de escória proporcionaram as maiores médias de teores, sendo elas 2,13, 2,11 e 2,09 g kg⁻¹, para os tratamentos 33C+66S, 66C+33S e 0C+100S, respectivamente.

Tabela 6. Valores das médias para os teores de macro e micronutrientes na semente de mamona em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto. Botucatu-SP, 2012.

Tratamento	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g kg ⁻¹ -----						
0 C X 100 S	34,5	4,61a*	7,62	3,12	3,39b	2,09a
33 C X 66 S	35,31	4,62a	8,06	3,75	3,48ab	2,13a
66 C X 33 S	35	4,27b	7,75	3,62	3,58ab	2,11a
100 C X 0 S	34,5	4,35ab	8,75	3,37	3,73a	1,97b
0 L X 100 P	33,87b	3,56c	8,31ab	3,62	3,21c	2,15a
33 L X 66 P	33,68b	3,66c	6,68c	3,5	3,13c	2,08ab
66 L X 33 P	35,43ab	4,93b	7,81bc	3,43	3,77b	2,02b
100 L X 0 P	36,31a	5,7a	9,37a	3,31	4,08a	2,05ab
DMS	2,38	0,40	1,53	0,90	0,31	0,10
Tratamento	Micronutrientes					
	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	
-----mg kg ⁻¹ -----						
0 C X 100 S	26,5	6,37b	59,43a	22,18a	43,12	
33 C X 66 S	26,5	7,06ab	60a	20,18ab	45,93	
66 C X 33 S	26,93	7,68a	49,12ab	16,87b	39,93	
100 C X 0 S	25	8,06a	46,43b	10,75c	39,37	
0 L X 100 P	28,25a	11,81a	72,87a	16,12bc	78a	
33 L X 66 P	23,81c	5,62b	45,12b	15c	34b	
66 L X 33 P	25bc	5,5b	46,75b	19,75a	32,5bc	
100 L X 0 P	27,87ab	6,25b	50,25b	19,12ab	24,12c	
DMS	3,17	1,20	11,22	3,52	8,28	

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. FV: fator de variação: CxS: combinações das doses de calcário e escória de aciaria, LxP: combinações das doses de lodo de esgoto compostado e fósforo.

Considerando-se que os tratamentos com combinações de calcário e escória foram utilizados com o propósito de corrigir a acidez do solo e elevar os valores de pH, o efeito da aplicação da escória nos teores de P da semente não são considerados diretos, uma vez que a escória pode auxiliar na disponibilidade de P.

Existem explicações divergentes quanto à eficiência da escória na disponibilidade de P, podendo ser devido ao efeito do silicato presente na escória, o qual exerce competição dos ânions de silicato com o P pelos mesmos sítios de absorção, do que ao efeito do pH propriamente dito (SMYTH & SANCHEZ, 1980), ou à saturação ou bloqueio dos sítios de

adsorção de P pelo ânion silicato (LOPES, 1977), ou ainda, a elevação do pH (BALDEÓN, 1995).

A aplicação de escória no solo além de corrigir a acidez do solo, fornece micronutrientes (AMARAL *et al.*, 1994), apresentando assim, uma vantagem em relação ao calcário, uma vez que frente a sua composição, possui quantidades suficientes de micronutrientes para ser considerada fonte deste (PRADO *et al.*, 2002), validada como tal pelo trabalho de Valadares *et al.* (1974), onde foram analisadas duas escórias, as quais mostraram teores superiores de micronutrientes em comparação com dezesseis calcários de diferentes naturezas.

Então, optando-se pela utilização do calcário para a neutralização da acidez do solo, os teores de micronutrientes que por ventura venham a ser baixos originalmente, podem diminuir devido a elevação do pH, porém, utilizando a escória como material corretivo, oportunamente, há disponibilidade de micronutrientes no solo, devido a presença desses elementos como constituintes da escória (PRADO *et al.*, 2002). E, em função de sua disponibilidade no solo, a planta de mamoneira beneficiou-se, carregando para os drenos.

As combinações de lodo de esgoto e fósforo (Tabela 6) influenciaram os teores de N, P, K, Mg e S. Para os nutrientes N, P e Mg os tratamentos com doses de lodo apresentaram os maiores teores. Para N, o tratamento 100L+0P apresentou 36,31 g kg⁻¹, não diferenciando dos tratamentos 66L+33P, com 35,43 g kg⁻¹. Os tratamentos sem P e com dose mínima de lodo (33%), não apresentaram diferença significativa do tratamento 66L+33P.

O mesmo comportamento foi encontrado para os teores médios de P (Tabela 6), com médias de 5,7 g kg⁻¹ (100L+0P), 4,93 g kg⁻¹ (66L+33P), e para os teores médios de Mg, com valores médios aumentando conforme o incremento da dose de lodo, tendo portanto o maior valor de 4,08 g kg⁻¹ (100L+0P), seguido por 3,77 g kg⁻¹ (66L+33P) e, 3,21 g kg⁻¹ e 3,13 g kg⁻¹, os quais não diferiram entre si, correspondendo, respectivamente aos tratamentos 33L+66P e 0L+100P.

Os maiores teores de K (Tabela 6) não diferiram entre os tratamentos 100L+0P (9,37 g kg⁻¹) e 0L+100P (8,31 g kg⁻¹), obtendo valores intermediários para os tratamentos 66L+33P (7,81 g kg⁻¹) e 33L+66P (6,68 g kg⁻¹), os quais não diferiram entre si e nem do tratamento 0L+100P.

O S (Tabela 6) teve os melhores resultados nos tratamentos 0L+100P, 33L+66P e 100L+0P, com médias de 2,15, 2,08 e 2,05 g kg⁻¹, respectivamente, as quais não diferiram entre si.

Dentre os micronutrientes, o Cu e Mn (Tabela 6) foram afetados pelas doses de calcário e escória. O Cu foi diretamente influenciado pelo calcário, tendo suas médias aumentadas conforme o incremento das doses de calcário. Já o Mn, recebeu influência das doses de escória, tendo aumento das médias a medida do incremento das doses de escória.

Para as combinações de lodo de esgoto e fósforo (Tabela 6), todos os micronutrientes analisados na semente apresentaram interação significativa. B, Cu e Zn tiveram suas médias afetadas pelas doses de fósforo, apresentando as maiores médias conforme o incremento de fósforo nas combinações, obtendo, portanto, os maiores teores no tratamento 0L+100P, sendo as médias, 28,25 mg kg⁻¹ (B), 11,81 mg kg⁻¹ (Cu) e 78,00 mg kg⁻¹ (Zn).

Para o Mn (Tabela 6), as maiores médias ficaram nos tratamentos com as combinações de lodo de esgoto e fósforo, 66L+33P (19,75 mg kg⁻¹) e 33L+66P (19,12 mg kg⁻¹). Pigozzo *et al.*, (2008), não encontraram efeito significativo das doses de lodo aplicado em plantas de milho, em relação ao manganês.

Os teores de ferro na semente (Tabela 7) apresentaram interação entre as combinações dos tratamentos. Os tratamentos com as combinações de 33 C x 66 S e 66 C x 33 S proporcionaram os maiores teores de Fe na semente na presença do tratamento com dose máxima P e ausência de lodo de esgoto compostado.

Tabela 7. Valores das médias para os teores de ferro na semente de mamona em função da interação entre as combinações das doses de calcário e silicato, lodo de esgoto e fósforo. Botucatu-SP, 2012.

Ferro	0 L x 100 P	33 L x 66 P	66 L x 33 P	100 L x 0 P
0 C x 100 S	69,5b	49,75a	48,25a	70,25a
33 C x 66 S	92,25aA	55,75aB	52,25aB	39,75bB
66 C x 33 S	68,50bA	35,75aB	40,50aB	51,75abAB
100 C x 0 S	61,25b	39,25a	46,00a	39,25b

Médias da interação, seguidas de letras distintas, minúsculas para lodo de esgoto (L) e fósforo (P) e maiúsculas para calcário (C) e escória (S), diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, respectivamente.

4.6 Teores de nutrientes no solo

Os teores de nutrientes obtidos nas amostras de solo ao final do experimento são apresentados na Tabela 8 (resumo da análise da variância) e na Tabela 9 (médias).

Tabela 8. Resumo da análise da variância para os teores de nutrientes no solo, pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), acidez potencial (H+Al) em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.

Tratamento	pH	MO	P	H+Al	K	Ca	Mg	
Calcário e Silicato (CS)	62,2*	3,42*	0,56	38,78*	2,67	8,79*	31,13*	
Fósforo e Lodo (FL)	4,86*	2,43	49,87*	3,28*	8,75*	4,55*	0,20	
CS x FL	1,58	1,50	1,26	0,54	1,21	1,14	1,30	
Tratamento	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário e Silicato (CS)	13,42*	2,02*	37,02*	4,50*	11,47*	5,17	253,36*	0,78
Fósforo e Lodo (FL)	3,56*	0,80	4,37*	1,92	14,74*	1,97	1,32	31,27*
CS x FL	1,33	1,39	0,87	1,76	1,18	1,34	1,01	1,54

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observa-se na Tabela 8, que os tratamentos com calcário e escória influenciaram os teores de MO, Ca, Mg, B, Cu e Mn, além do pH, H+Al, SB, CTC e V%. Os tratamentos com combinações de lodo de esgoto e fósforo influenciaram os teores de P, K, Ca, Mg, Cu e Zn, e os índices de pH, H+Al, SB e V. Não foi verificada interação para os parâmetros no solo.

Na Tabela 9 são apresentadas os valores médios dos tratamentos para macro e micronutrientes, além dos parâmetros pH, SB, CTC, V e H+Al para os fatores das combinações de calcário e escória e, lodo de esgoto e fósforo.

Observa-se para o pH (Tabela 9) tanto as combinações de calcário com escória, quanto as com lodo de esgoto e fósforo, influenciaram seus valores. As maiores médias foram obtidas nos tratamentos 100C+0S e 66C+33S de 5,51 e 5,46, respectivamente. Nota-se que estes são os tratamentos com as maiores doses de calcário, evidenciando assim, seu maior poder de neutralização da acidez e elevação do pH, em relação os tratamentos com maiores doses de escória (0C+100S e 33C+66S).

As escórias possuem alta concentração de silicatos de cálcio e magnésio, proporcionando seu uso como corretivo da acidez do solo e como fonte de Ca e Mg, além de fornecer silício às plantas, considerado um elemento benéfico para o desenvolvimento das plantas (KORNDÖRFER *et al.*, 2004).

Tabela 9. Valores das médias para os teores de nutrientes no solo, pH, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), acidez potencial (H+Al) em função das combinações de calcário e silicato, fósforo e lodo de esgoto, da interação entre eles nas diferentes datas de avaliação. Botucatu-SP, 2012.

Tratamento	pH	MO	H+Al	SB	CTC	V%			
	CaCl ₂	g dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
0 C x 100 S	5,05c*	18ab	33,87a	38c	72	53c			
33 C x 66 S	5,25b	20a	30,37b	44b	74	59b			
66 C x 33 S	5,46a	18b	25,06c	45ab	70	64a			
100 C x 0 S	5,51a	20ab	24,37c	49a	74	66a			
0 L x 100 P	5,28b	19	29,56a	41b	71	58b			
33 L x 66 P	5,28b	19	29,31ab	43ab	72	59b			
66 L x 33 P	5,31ab	20	28,12ab	45ab	73	61ab			
100 L x 0 P	5,4a	18	26,68b	46a	73	63a			
DMS	0,10	2,11	2,73	4,63	4,91	3,79			

Tratamento	K	Ca	Mg	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mmol _c dm ⁻³ -----			-----mg dm ⁻³ -----					
0 C x 100 S	0,65b	32,43b	5,37c	73,00	0,26b	0,73a	46,75a	7,05a	1,02
33 C x 66 S	0,69ab	36,25ab	7,12b	74,00	0,26b	0,58b	40,43ab	5,30b	1,05
66 C x 33 S	0,73ab	36,81a	8,12ab	81,00	0,26b	0,61b	35,43b	2,70c	1,15
100 C x 0 S	0,78a	40,06a	8,75a	84,00	0,29a	0,73a	35,18b	0,96d	1,07
0 L x 100 P	0,86a	33,93b	7,18	17,50d	0,28	0,76a	42,43	4,18	1,50a
33 L x 66 P	0,66b	35,12ab	7,43	62,31c	0,26	0,69ab	42,18	4,06	1,17b
66 L x 33 P	0,65b	37,68ab	7,43	95,81b	0,28	0,65b	37,31	3,71	0,99b
100 L x 0 P	0,67b	38,81a	7,31	137,81a	0,26	0,55c	35,87	4,05	0,63c
DMS	0,12	3,97	0,99	27,25	0,03	0,08	9,01	0,66	0,24

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. FV: fator de variação: CxS: combinações das doses de calcário e escória de aciaria, LxP: combinações das doses de lodo de esgoto compostado e fósforo.

A reatividade e a eficiência da correção da acidez do solo pela aplicação das escórias, assim como o calcário, dependem da granulometria, dosagem usada, tipo do solo e do tempo de contato do material com o solo (OLIVEIRA *et al.*, 1994).

Deus (2010), ao estudar a influência da granulometria e do período de incubação dos corretivos da acidez do solo: calcário, escória, silicato de cálcio, silicato de cálcio e magnésio, calcário calcítico e calcário dolomítico, em três períodos de incubação (30, 60 e 90 dias), observou que os valores de pH foram influenciados pela interação de períodos de incubação e pela granulometria dos corretivos em todas as frações (<0,30; 0,30; 0,84 e 2,00 mm) no decorrer dos período de incubação.

Os tratamentos com as combinações de lodo de esgoto e fósforo também influenciaram nos valores de pH (Tabela 9), nos quais verificou-se os maiores valores nas combinações com maior dose de lodo de esgoto, 100L+0P e 66L+33P, com média de valores de pH de 5,4 e 5,31, respectivamente. O tratamento 66L+33P não diferiu estatisticamente dos outros dois tratamentos (0L+100P e 33L+66P) com média de pH de 5,28 para ambos.

Os resíduos orgânicos de forma geral apresentam reação alcalina e podem elevar o pH do solo, formando OH^- quando o O_2 da solução do solo atua como receptor de elétrons provenientes da oxidação microbiana do C, ou indiretamente, elevando os teores de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), auxiliando na solubilização e/ou complexação de metais pesados no solo (ABREU Jr. *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2000).

Para os valores de acidez potencial, observa-se na tabela 9, que os maiores valores foram encontrados nos tratamentos com as menores doses de calcário e as maiores de escória, 0C+100S e 33C+66S, com médias de 33,87 e 30,27 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, correspondendo aos mesmos tratamentos com os menores valores de pH encontrados.

Alguns autores destacam o uso da escória no solo pelas melhorias nas características químicas do solo, como a elevação dos teores de pH, Ca e Mg, CTC e V%, além da diminuição da acidez potencial (PRADO *et al.*, 2002; PRADO & FERNANDES, 2003).

Os valores de saturação por bases (V) e soma de bases (SB) (Tabela 9), também foram afetados pelos tratamentos. Para a SB, o tratamento com dose zero de calcário (0C+100S), teve a menor média (38,15 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$). Os demais tratamentos com doses de 100, 66 e 33 de calcário não diferiram entre si. As maiores médias de V, também foram alcançadas nas maiores doses de calcário dentro das combinações com a escória.

Para as mesmas variáveis analisadas (V e SB), dos tratamentos contendo as doses de lodo de esgoto em combinação com a escória, os tratamentos 100L+0P proporcionou a maior média (46,81 e 63,5 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente). Para a SB, os tratamentos 66L+33P e 33L+66P não diferiram da maior nem da menor média (0L+100P), já para a V, o tratamento 66L+33P (61,62 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) não diferiu da menor média (58,93 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), correspondente ao tratamento 100% fósforo.

A CTC (Tabela 9) não sofreu influência dos tratamentos em nenhuma de suas combinações, assim como a MO para os tratamentos com combinações de doses de lodo de esgoto e fósforo. No entanto, a MO (Tabela 9) foi significativamente afetada pelos

tratamentos com doses de calcário e escória, o melhor tratamento foi 33C+66S (20,31 g dm⁻³), não diferenciando de 100C+0S e 0C+100S (20,0 e 18,87 g dm⁻³), os quais não diferenciaram de 66C+33S (18,06 g dm⁻³). Os tratamentos com doses de lodo de esgoto e fósforo não afetaram significativamente os teores de MO.

Tanto o aumento na CTC como na MO após a aplicação do lodo de esgoto já foram relatados (MELO *et al.*, 1994; KIEHL, 1979). No entanto, o incremento nos teores de matéria orgânica do solo ocorre até um ano após a aplicação do lodo de esgoto, conforme expõe Marques (1997), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura média cultivado com cana. Portanto, acredita-se que o fato de os tratamentos com lodo de esgoto não terem afetado os teores de MO significativamente seja em função do período considerado curto (90 dias).

Para o P (Tabela 9), não foi observada influência dos tratamentos com calcário e escória, sendo encontrada para os nutrientes K, Ca e Mg, os quais tiveram as maiores médias no tratamento 100C+0S, 40,06 mmol_c dm⁻³ para o Ca e 8 mmol_c dm⁻³ para o Mg. Para o Ca, os demais tratamentos com as doses de calcário (66 e 33) não diferenciaram dos tratamentos 100C+0S nem do tratamento 0C+100S estatisticamente. Para o Mg, o tratamentos com 66% de calcário proporcionou a segunda melhor média, não diferenciando do tratamentos 33%.

O K, Ca e P (Tabela 9) foram influenciados pelas combinações de lodo de esgoto e fósforo. A maior média alcançada para o K foi o tratamento com dose de 100% fósforo, e os demais tratamentos não diferiram entre si. Esse resultado já era esperado, uma vez que o lodo de esgoto possui muito pouco ou nenhum teor de K, em função da alta solubilidade do elemento, sendo este perdido nos processos de tratamento do lodo.

Os teores de Ca (Tabela 9) foram influenciados pelas combinações de lodo e fósforo, com maior média no tratamento 100L+0P (38,81 mmol_c dm⁻³), sendo que os tratamentos 66L+33P e 33L+66P (37,68 e 35,12 mmol_c dm⁻³, respectivamente), não diferiram do primeiro nem do tratamento 0L+100P (33,93 mmol_c dm⁻³).

As médias dos teores de P (Tabela 9) aumentaram conforme se aumentou as doses de lodo de esgoto nos tratamentos em combinações com as doses do adubo fosfatado. O tratamento 100L+0P proporcionou os maiores teores de fósforo no solo, em média 137,81 mg dm⁻³. Isso pode ser explicado pelo fato de além do lodo de esgoto ser fonte de P, pode atuar na diminuição da adsorção desse elemento devido ao elevado teor de matéria

orgânica que pode fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelos sítios de adsorção e aumentam a disponibilidade de P.

A adição de resíduos orgânicos proporciona a diminuição da adsorção de fósforo e aumento da disponibilidade deste nutriente para as plantas (AZEVEDO et al., 2004). O material orgânico possui ácidos orgânicos que podem ser adsorvidos fortemente pelo solo, competindo com os sítios de adsorção do P, auxiliando na disponibilidade do P para as plantas, no entanto, sua efetividade depende dos ácidos orgânicos presentes, onde quanto maior for a estrutura desses, ou seja, maior número de moléculas de grupos funcionais (OH e COOH), mais efetivas serão no bloqueio aos sítios adsorptivos de P no solo (HAYNES, 1984; ANDRADE et al., 2003).

Ainda sobre os teores de P (Tabela 9), os tratamentos com as demais doses de lodo de esgoto (66 e 33%) na combinação, apresentam as médias de 95,81 e 62,31 mg dm⁻³, respectivamente. O tratamento com 100% dose de adubo fosfatado obteve a menor das médias (17,5 mg dm⁻³). Todos os tratamentos diferiram entre si. O fato de tratamento 0L+100P ter demonstrado a menor média pode ser devido a fixação ou imobilização do fosfato mineral solúvel adicionado ao solo tão logo a sua incorporação no solo. Já a liberação do fósforo mineral solúvel pela decomposição da matéria orgânica se dá de forma lenta e pode fornecer um contínuo suprimento desse nutriente com o mínimo de exposição aos mecanismos de fixação (KIEHL, 2010).

Vieira *et al.* (2005), encontraram aumento nos teores de P no solo, no primeiro ano de cultivo da soja, para os tratamentos com doses de lodo, não havendo diferença entre as doses do composto, proporcionando em média 23% e 45 %, respectivamente, do que a média dos tratamentos adubação química e inoculação da soja e a média dos tratamentos testemunha mais a inoculação da soja e adubação com lodo.

Grande parte do fósforo presente no lodo está na forma inorgânica e que, desta mais de 40% são ortofosfatos (KIRKHAM, 1982), os quais compõe parte do fósforo inorgânico, sendo facilmente extraível e prontamente disponível para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões às formas mais simples (McDOWELL *et al.*, 2001).

Quanto aos micronutrientes, B, Cu e Mn (Tabela 9) tiveram as médias variando significativamente nos tratamentos com combinações de calcário e escória. O B teve a maior média no tratamento 100C+0S (0,29 mg dm⁻³). O Cu, a exemplo do boro, também obteve as maiores médias nos tratamentos com doses de 100% calcário (0,73 mg dm⁻³) e 100%S (0,73 mg dm⁻³), não diferindo entre si. Já o Mn teve incremento nos teores conforme se aumentou as

doses de escória nas combinações com calcário, sendo 7,05, 5,30, 2,70 e 0,96 mg dm⁻³, para os tratamentos 0C+100S, 33C+66S, 66C+33S e 100C+0S, respectivamente. O Fe (Tabela 9), obteve as maiores médias no tratamento com dose de 100% silicato (46,75 mg dm⁻³), diminuindo conforme aumentava-se as doses de calcário.

Quanto as combinações de lodo de esgoto e fósforo, apenas os micronutrientes Zn e Cu foram afetados. O Cu teve seus valores médios incrementados a partir do aumento nas doses do adubo fosfatado e, o Zn obedeceu a mesma tendência.

Simonete (2001) observou aumento nos teores de ferro e zinco em solo cultivado com milho em casa de vegetação, após a aplicação do lodo de esgoto, já Oliveira (2000), verificou maior incremento nos teores médios do zinco, em detrimento dos demais metais, enquanto Pigozzo *et al* (2008), encontraram maiores teores de cobre no solo cultivado com milho e adubado com lodo de esgoto, e ambos atribuíram o fato à elevada quantidade do metal no resíduo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As combinações 66C+33S e 100C+0S proporcionaram maiores valores de pH, SB e V, e os menores para H+Al, evidenciando o poder de neutralização maior do calcário em relação a escória utilizada. O pH, SB e V foram afetadas, também, pelas combinações de 100L+0P e 66L+33P.

Os nutrientes Ca, Mg, B, Cu, Fe e Mn tiveram seus teores aumentados nos tratamentos com maiores doses de calcário nas combinações (100 e 66), não influenciando os teores de K, P, Fe e Zn. Para as combinações de lodo de esgoto compostado e fósforo, os nutrientes Ca e P apresentaram teores maiores com 100L+0P e 66L+33P, evidenciando a disponibilidade desses nutrientes pelo resíduo.

A combinação de 66L+33P proporcionou os melhores resultados de crescimento em altura das plantas de mamona, bem como o diâmetro do caule. Esta combinação influenciou a área foliar até 51 DAE, após a dose 100% de fósforo proporcionou as maiores médias, demonstrando que durante o período reprodutivo da mamoneira, o requerimento em P aumenta, e o lodo não consegue suprir esta necessidade imediatamente.

As massas de matéria seca das folhas, hastes e raízes apresentaram as melhores médias para o tratamento 0L+100P, no entanto, não diferiram do tratamento 100L+0P (efeito isolado do lodo de esgoto), demonstrando que o lodo de esgoto disponibilizou o fósforo necessário para o bom desenvolvimento das plantas.

Os parâmetros massa de semente, massa de fruto e número de frutos por cacho obtiveram os maiores valores nas combinações 33L+66P, 66L+33P, inferindo que há dependência entre a adubação fosfatada e nitrogenada, entre si, perante a mamoneira de porte baixo, já que os menores valores foram encontrados nos tratamentos 0L+100P e 100L+0P. A mesma tendência foi observada para os parâmetros porcentagem de grãos nos frutos, teor de óleo nas sementes e produtividade de óleo.

Na semente, incrementos nos teores de N, P, K, Mg e Mn foram encontrados nas combinações das doses de 100L+0P e 66L+33P. Para os micronutrientes B, Cu, Fe e Zn os maiores teores foram proporcionados pelo tratamento 0L+100P.

6. CONCLUSÃO

A combinação do lodo de esgoto compostado com as doses de fósforo proporcionou diferenças no crescimento da planta, bem como incrementos na massa de sementes e frutos, frutos por cacho e teor de óleo, promovendo a produtividade de óleo na mamoneira de porte baixo. Além disso, proporcionou aumento nos teores de nutrientes do solo e da semente, bem como pH, SB e V%.

As combinações de calcário e escória de aciaria embora não tenham influenciado o crescimento da mamona de porte baixo, incrementaram os teores de P, S, Cu e Mn nas sementes, nutrientes no solo, pH, MO, acidez potencial, SB, CTC e V%.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABREU Jr., C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.769-780, 2002.

ABREU Jr., C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 813-824, 2001.

ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. 2010. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

ALCARDE, J. A. & RODELLA, A. A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos**. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES, V. H. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade brasileira de Ciência do Solo, p.291-334. 2003.

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo: Características e interpretações**. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).

AMARAL, A. S. et al. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1351-1358, 1994.

ANDRADE, A. T. et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, D. M. P. et al. **Manejo cultural**. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (Eds.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.121-160.

AZEVEDO, W. R. et al. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 995-1004, 2004.

BACKES, C. et al. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, 2009.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª edição. Porto Alegre. 2002.

BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.

BELTRÃO, N.E. de M. et al. **Fitologia**. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (Ed.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.37-61.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. **Uso do lodo de esgoto na agricultura**. In: COSCIONE, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A.M.M. Uso agrícola do lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010. 407 p.

BERTONCINI, E. I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em latossolos sucessivamente tratados com biossólidos: Extração sequencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

BROWN, S. et al. An inter-laboratory study to test the ability of amendments to reduce the availability of Cd, Pb, and Zn in situ. **Environmental Pollution**, v.138, p.34-45, 2005.

CARNEIRO, J. G. A. Determinação da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. para plantio definitivo. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 63-68, 1978.

CARVALHO, R. et al. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.69-74, 2000.

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R., PACOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação Experimental “Presidente Médici”**. Botucatu, 1983. 95p. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

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.

CAVALLARO, N.; PADILLA, N. & VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. **Soil Science**, v. 156, p.63-70, 1993.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma Técnica P4-230**: Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: manual técnico. 1999. 34 p.

CHAGAS, W. F. **Estudos de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha, no estado do Rio de Janeiro**. 1999. Dissertação (Mestrado). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de Cálcio, Magnésio e Fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.5, p.75-82, 2008.

CHIARADIA, J.J. **Avaliação agrônômica e fluxo de gases do efeito estufa a partir de solo tratado com resíduos e cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) em área de reforma de canavial**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

CHIARADIA, J.J. et al. A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.701-709, 2009.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, A.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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.653-662, 2008.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVERIA, F.C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 495-501, 2009.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Gestão de resíduos e produtos perigosos – Uso.

CORRÊA, J.C. et al. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.4, p.1583-1590. 2008.

COSTA, V. L. **Formas de fósforo e seu transporte pela enxurrada num Latossolo que recebeu lodo de esgoto**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais, Instituto Agrômico, Campinas, 2008.

CRUZ SILVA, A. R. et al. Doses de nitrogênio e fósforo para a produção econômica da mamoneira no município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 52-60, 2012.

DEUS, A. C. F. **Avaliação de eficiência relativa para reatividade em silicatos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu: UNESP, 2010.

DIAS, B. de O. et al. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.701-711, 2007.

DOU, H.; ALVA, A. K.; KHAKURAL, B. R. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1226-1232, 1997.

ELLIOTT, H. A.; O'CONNOR, G. A. Phosphorus management for sustainable biosolids recycling in the United States. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39. p. 1318-1327. 2007.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. 1ª ed. Lancaster: Technomic Publishing Company Inc. 1997. 225p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.537-544, 2000.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos con énfasis em suelos de América Latina**. 2 ed. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura, 1987. 420 p.

FERNANDES, F. **Estabilização e higienização de biossólidos**. In.: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

FERREIRA, M. M. M. Eficiência comparativa da adubação orgânica no crescimento da mamoneira no semiárido Paraibano. **Revista Verde**, Mossoró, v.7, n.1, p. 72 – 79,2012.

FRANCHINI, J. C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por métodos biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.357-60, 2001.

GOMES, S. B. V. et al. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo, tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.6, p. 1689-1695, 2006.

GONÇALVES, N. P. et al. Cultura da mamoneira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.26, n.229, p.28-32, 2005.

GROOT, C.C. de. et al. Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition in determining growth. **Plant and Soil**, v.248, p.257–268, 2003.

GUIMARÃES, A. S.; BELTRÃO, N. E. M.; COSTA, S. G. Fontes e doses crescentes de adubos orgânicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. **Mens Agitat**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 17-22, 2009.

HAMON, R.E.; McLAUGHLIN, M.J. & COZENS, G. Mechanisms of attenuation of metal availability in situ remediation treatments. **Environmental Science Technology**, Washington, v.36, p.3991-3996, 2002.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v. 37, p. 249-315, 1984.

HEDLEY, M.; McLAUGHLIN, M. **Reactions of Phosphate Fertilizers and By-Products in Soils**. In: Sims, J.T.; Sharpley, A.N.; Pierzynski, G.M; Westermann, D.T.; Cabrera, M.L.; Powell, J.M.; Daniel, T.C. Phosphorus. Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy. p.181-254. 2005.

- KIEHL, E. J. **Novo Fertilizantes Orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2010.
- KIEHL, J. C. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.
- KIRKHAM, M. B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. **Advances in Agronomy**. v. 35. p. 129-163. 1982.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim técnico, 1).
- KORNDÖRFER, G. H. & NOLLA, A. **Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas** (compact disc). In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2. Lavras, 2003. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.
- LANGENBACH, T. et al. Heavy metals in sludge from the sewage treatment plant of Rio de Janeiro. **Environmental Technology**, St. Albans, v.15, p.997-1000, 1994.
- LÉLES, E. P. **Corretivos de acidez e fontes de fósforo na disponibilidade de P no solo, nutrição e produção do amendoim e do capim marandu**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.
- LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1989. 177p.
- LOPES, M. S. **Relações entre o pH e a adsorção de fósforo e silício em solo**. 1977. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1977.
- MACHADO, A. T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- MAGUIRE, R. O.; SIMS, J. T.; COALE, F. J. Phosphorus fractionation in biosolids-amended soils: relationship to soluble and desorbable phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madinson, v. 64. p. 2018-2024. 2000.
- MAGUIRE, R. O.; SIMS, J. T.; DENTEL, S. K.; COALE, F. J.; MAH, J. T. Relationships between biosolids treatment process and soil phosphorus availability. **Journal of Environmental Quality**, Madinson, v.30. p. 1023-1033. 2001.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MARQUES, M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, San Diego. Academic Press, 2002. 889p.
- MARTINS Jr., F. L. **Calcário agrícola**. Sumário Anual – Departamento Nacional de Produção de Mineral, Brasil, 2012.
- MATICHENKOV, V. V. & BOCHARNIKOVA, E. A. **The relationship between silicon and soil physical and chemical properties**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. &

KORNDÖRFER, G. H. eds. **Silicon in agriculture**. Amsterdam, Elsevier, 2001. p.133-147. (Studies in Plant Science, 8).

McDOWELL, R. W. et al. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59. p. 269-284. 2001.

MELO, V. P. et al. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.67-72, 2004.

MELO, W. J. & MARQUES, M. O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas**. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo**. In. TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, 2001. p.289-363.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa., v.18, p.449-455, 1994.

MORO, E. **Manejo da adubação nitrogenada em híbridos de mamona de porte baixo cultivados na safra e na safrinha em sistema plantio direto. 2008**. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2008.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C. & CARVALHO, L. L. T. Épocas de aplicação de nitrogênio para híbridos de mamona no sistema plantio direto em safrinha. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, p.391-410, 2011.

NAKAGAWA, J. NEPTUNE, A. M. L.; VIEIRA, F. R.; BATAGLIA, O. C. **Efeitos de doses de fósforo em mamoneira (*Ricinus communis* L.), cultivar 'Campinas'**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 34. 1977.

NASCIMENTO, A. L. et al. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 145-151, 2011.

NASCIMENTO, A. L. et al. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 145-151, 2011.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.385-392, 2004.

NASCIMENTO, M. B. H. et al. **Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento**. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: Energia e Sustentabilidade, 1., 2004, Campina Grande – PB. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004c. CD-ROM.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, J. T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, A. C. et al. **Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal**. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, BOTUCATU, 1994. Anais...Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícola e Florestais, 1994. p.77-96.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, 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.

PACHECO, D. D. et al. Produção e disponibilidade de nutrientes para mamoneira (*Ricinus communis* L.) adubada com NPK. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 08, n. 01, p. 153-160, 2008.

PIGOZZO, A. T. J. et al. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 569-579, 2008.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M. et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil – Estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, Funep, 2001. 68p.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol.36, n.9, pp. 1199-1204. 2001.

PRESTES, R. A. et al. Rapid and atomated low resolution NMR method to analyze oil quality in infact oilseeds, **Analítica Chimica Acta**, 596, p.325-329. 2007.

PULZ, A .L. et al. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p. 1651-1659. 2008.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.

SANEPAR- Companhia de Saneamento Básico do Paraná. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Disponível em: http://www.finep.gov.br/prosab/livros/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf. Acesso em: 22 mar., 2013.

SANTOS, A. C. M. et al. **Deficiência de cálcio e magnésio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

SARKAR, D.; O'CONNOR G. A. Plant and soil responses to biosolids-phosphorus in two Florida soils with high phosphorus content. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 11-12, p. 1569-1589, 2004.

SAVY FILHO, A. **Mamona**. In: RAIJ, B. B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p.5. (Boletim Técnico, 100).

SAVY FILHO, A. Mamoneira: técnicas de cultivo. **O Agrônomo**, Campinas, v.53, n.1, p.16-17, 2001.

SAVY FILHO, A. **Melhoramento de mamona**. In: BÓREM, A. (Ed.) Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. p. 383-407.

SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.41, n.4, p.563-568, 2006.

SEVERINO, L. S. et al. **Método para Determinação da Área Foliar da Mamoneira**. Campina Grande - PB: EMBRAPA Algodão, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 55).

SEVERINO, L. S. et al. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.41, n.5, p.879-882, 2006.

SEVERINO, L. S. et al. **Adubação química da mamoneira com macro e micronutrientes em Quixeramobim, Ceará**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 23 p.

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

SILVA, T. M. N. **Avaliação de híbridos de mamona de porte baixo em espaçamento reduzido em condições de safrinha**. 2012. Dissertação (Mestre em Agronomia-Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

SIMONETE, M. A. **Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. 2001. Tese

(Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 38, v.10, 1187-1195, 2003.

SMITH, E. et al. **Year-round treatment of dairy wastewater by constructed wetlands in Atlantic Canada**. *Wetlands*, v.26, n.2, p.349-357, 2006.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to na oxisol na phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madinson, v. 44, n. 3, p. 500-505, 1980.

SOUTO, L. S. **Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto**. 2007. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007.

SOUZA, R. F. et al. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p. 1563-1572. 2008.

TSUTIYA, M.T. **Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto**. In: TSUTIYA, M.Y.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.) *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001.

USGC – United State Department of Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2011. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>. Acesso em: Maio 2013.

VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C. & FURLANI, P.R. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. **Bragantia**, Campinas, v.33, p.147-152, 1974.

VALE, F. R. do et al. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171 p.

VIEIRA, R. F. et al. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.9, p.919-926, 2005.

XU, H.X.; WENG, X.Y.; YANG, Y. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 54, n.6, p.741–748, 2007.

ZUBA JUNIO, G.R.; SAMPAIO, R.A.; NASCIMENTO, A.L.; LIMA, N.N.; FERNANDES, L.A. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 157-163, 2011.