

**EFEITO DO BIOSÓLIDO NO DESENVOLVIMENTO
E PRODUÇÃO DO CAUPI**

PRISCILA PIXOLINE EIRAS

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2014**

EFEITO DO BIOSÓLIDO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO CAUPI

PRISCILA PIXOLINE EIRAS

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutorado em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2014

EFEITO DO BIOSSÓLIDO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO CAUPI

PRISCILA PIXOLINE EIRAS

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutorado em Produção Vegetal”.

Aprovada em 11 de julho de 2014.

Comissão Examinadora:

Prof. Silvio de Jesus Freitas (D. Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph. D., Ciência do Solo) – UENF

Pesquisador Wander Eustáquio de Bastos Andrade (D. Sc., Fitotecnia) –
PESAGRO - Rio

Prof. Fábio Cunha Coelho (D. Sc., Fitotecnia) – UENF
Orientador

*Aos meus queridos e amados pais, Getúlio e Conceição das Graças e ao meu irmão,
Rafael, dedico e ofereço.*

*Talvez não tenha conseguido fazer o
melhor, mas lutei para que o melhor fosse
feito. Não sou o que deveria ser, mas
Graças a Deus, não sou o que era antes.
Martin Luther King*

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Aos meus pais, Getúlio e Conceição das Graças e ao meu irmão, Rafael, por todo amor, todo carinho, todo incentivo e todos os esforços para que eu obtivesse mais esta vitória;

Ao meu noivo, Fernando, por seu companheirismo, seu carinho, seu amor, sua paciência, seu apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho;

Às minhas amigas de república de longos anos, Marcela e Susane, que sempre estiveram presentes nos momentos bons e ruins, e as novas integrantes da casa, Fernanda e Luana, pelo apoio;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;

Ao Professor Fábio Cunha Coelho pela orientação, pelos conselhos, pela atenção, pela paciência, pela amizade, pelos ensinamentos e pelo incentivo na busca constante pelo conhecimento nestes 10 anos de convivência;

Aos Professores Silvio de Jesus Freitas e Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues e ao Doutor Wander Eustáquio de Bastos Andrade, pelas contribuições e pelos bons conselhos;

A equipe do Setor de Grandes Culturas pela ajuda nas avaliações e em todo trabalho de campo;

A todos os funcionários de campo da UAP que não mediram esforços na realização deste trabalho;

A todos vocês que me dão e deram motivo para cada dia eu celebrar a vida;

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Aspectos gerais sobre a cultura do Caupi	4
2.2. Utilização do lodo de esgoto na produção vegetal.....	6
2.3. Uso do bio sólido e consequências para o meio ambiente	9
2.3.1. Metais pesados.....	9
2.3.2. Nitrato.....	13
2.3.3. Fósforo	14
2.3.4. Micro-organismos patogênicos	15
2.4. Efeitos do bio sólido sobre o aporte de nutrientes	18
2.5. Efeito do bio sólido sobre a fixação biológica de nitrogênio	21
3. TRABALHOS	23
3.1. Efeito do bio sólido sobre a nodulação e nutrição do feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L.)	23
3.2. Efeito de doses de bio sólido na produção do feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L.).....	42
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

RESUMO

EIRAS, Priscila Pixoline; D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2014. **Efeito do biossólido no desenvolvimento e produção do caupi**. Professor Orientador: Fábio Cunha Coelho.

O biossólido é um resíduo tratado obtido em Estações de Tratamento de Esgoto. A utilização deste resíduo é uma prática altamente promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Esta pesquisa foi realizada para avaliar os efeitos da aplicação do biossólido sobre o caupi, em casa de vegetação, em Argissolo amarelo distrófico, em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados constituído por seis doses de biossólido (0; 2,75; 5,5; 11; 22; 44 g L⁻¹) e uma dose de adubação química, com cinco repetições. Foram conduzidos dois experimentos. O primeiro experimento foi conduzido até 50 % do florescimento, onde ocorreram acréscimos nos teores foliares de P e Ca em todas as doses. Nas doses acima de 5,5 g L⁻¹ houve acréscimo nos teores foliares de N, Mg, K, S e Mo. Nas doses acima de 22 g L⁻¹ de biossólido, apresentaram superior para teores foliares de Zn, Cu, número de nódulos e matéria seca da parte aérea. Houve decréscimo nos teores foliares de B, Ni e Mn. Para teores de Fe e matéria seca de raiz não houve diferença comparando com a dose 0. O segundo experimento foi conduzido até o final do ciclo onde a aplicação do biossólido nas doses entre 11 e 22 g L⁻¹, promoveu

aumento médio de 78 % na quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão caupi. O bio sólido nas doses 2,75, 11 e 44 g L⁻¹ resultou em aumento de 2,2 vagens por planta tanto em relação à dose 0 quanto a adubação mineral. Quanto ao peso de 1000 sementes as doses 2,75, 11 e 22 g L⁻¹ resultaram, em média, em aproximadamente 50 g a mais que a dose zero e foram semelhantes à adubação mineral. O peso total de sementes aumentou em 36,9 e 85,9 % em relação à dose 0 com as doses de 2,75 e 11 g L⁻¹, respectivamente.

ABSTRACT

EIRAS, Priscila Pixoline; D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. July, 2014. **Effect of biosolids on the development and production of Cowpea.** Advisor: Fábio Cunha Coelho.

The sludge is a residue treated from of Sewage Treatment. Use of this residue is a highly promising practice for the development of sustainable agricultural systems. This research was conducted to evaluate the effects of biosolids application on cowpea in the greenhouse, in yellow dystrophic Ultisol, in Campos, Brazil. The experimental design was randomized blocks consisting of six biosolid doses (0, 2.75, 5.5, 11, 22, 44 g L⁻¹) and a dose of chemical fertilizer, with five repetitions. Two experiments were conducted. The first experiment was conducted up to 50% flowering, which occurrence increases in foliar Ca and P at all doses. At doses above 5.5 g L⁻¹ there was an increase in foliar N, Mg, K, S and Mo. At doses above 22 g L⁻¹ of biosolids were superior in foliar concentrations of Zn, Cu, number of nodules and dry matter of shoots. There was a decrease in foliar B, Ni and Mn. For contents of Fe and root dry matter there was no difference with dose 0. The second experiment was conducted until the end of the cycle where the application of biosolids at doses between 11 and 22 g L⁻¹, caused an average increase of 78% in the amount of dry matter in the shoots of cowpea. Biosolids at doses 2.75, 11 and 44 g L⁻¹ resulted in an increase of 2.2 pods per plant both in relation to dose 0 as mineral fertilizer. The weight of 1000 seeds with the doses 2.75, 11 and

22 g L⁻¹ resulted in, on average, approximately 50 g more than the zero dose that were similar and chemical fertilizers. The total seed weight increased 36.9 and 85.9% compared to 0 dose with doses of 2.75 and 11 g L⁻¹, respectively.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, em sua ampla maioria urbana, e o aumento do desenvolvimento industrial, têm sido gerados águas residuárias e resíduos sólidos em grandes quantidades (Tasso Jr. et al., 2007).

O esgoto doméstico bruto constitui-se de 99,9% de água e 0,1% de matéria sólida (Metcalf Eddy, 1991). Os processos de tratamento de esgoto visam separar a parte sólida da líquida para que o efluente tratado possa ser liberado em corpos receptores sem causar danos ao meio ambiente. Nesse processo, poluentes, nutrientes e contaminantes são concentrados em uma massa denominada lodo de esgoto, que é subproduto do tratamento. Quanto mais avançado e eficiente for o processo de tratamento de esgoto, maior será a quantidade de lodo produzido, que deve ser gerenciado e disposto adequadamente no meio ambiente. Cidades que aumentaram a coleta e o nível de tratamento de esgotos têm se defrontado com dificuldades em gerenciar e dispor adequadamente o lodo gerado (Epstein, 2003).

A utilização do lodo de esgoto (LE) na agricultura vem sendo ampliada, sendo esta uma das estratégias para se reduzir a poluição dos corpos hídricos. Apesar das respostas positivas no desenvolvimento e na produtividade de diversas culturas (Melo et al., 2001), por se tratar de um resíduo urbano-industrial, há a necessidade de se seguir critérios rigorosos para sua aplicação na agricultura, haja visto que em sua composição existem poluentes, como metais

pesados, compostos orgânicos e microrganismos patogênicos ao homem (Bettiol e Camargo, 2011).

Seguindo as tendências do crescimento dos índices de coleta e do tratamento de esgotos, ocorrerá um crescimento proporcional de produção de lodo, cuja disposição final tem sido um problema para a maioria das Estações de Tratamentos de Esgotos (ETE's) que não dispõem de uma alternativa viável para o destino final deste resíduo. O destino final adequado do lodo é um desafio e fator fundamental para o sucesso de sistemas de tratamento de águas residuárias (Pedroza et al., 2003).

As principais alternativas de disposição final do lodo são os aterros sanitários, a disposição oceânica, a incineração e a reciclagem agrícola. Os aterros sanitários, além de possuírem o inconveniente de concorrer com os resíduos sólidos urbanos, apresentam altos custos de manutenção. A disposição oceânica que, segundo Tsutiya (2001), foi proibida nos Estados Unidos desde 1992, pela Ocean Dumping Act, na Comunidade Europeia desde 1998. A incineração, técnica que para evitar problemas de emissões atmosféricas tem que usar incineradores de leito fluidizado de custos elevados, além de demandar grande quantidade de energia. A reciclagem agrícola, segundo Trannin et al. (2008), é a forma de disposição final que pode ser considerada mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que convenientemente aplicada. O uso agrícola desse resíduo o torna útil dentro de um processo produtivo, mantendo suas reciclagens ou pelo menos a reciclagem de elementos que o compõe.

A destinação do lodo de esgoto para a agricultura é a alternativa que merece maior destaque, pelas seguintes razões, segundo Oliveira (2000): pode ser viabilizada tecnicamente para pesquisa, apresenta os menores custos, utiliza o solo como meio favorável ao consumo da carga orgânica potencialmente poluidora, pode trazer os benefícios inerentes da matéria orgânica, além de proporcionar a reciclagem de nutrientes.

Quando incorporado ao solo o lodo de esgoto induz alterações nas propriedades físicas (densidade do solo, tamanho dos agregados e capacidade de retenção de água entre outras), químicas (pH, condutividade elétrica, CTC e aumento dos teores de P e N entre outras) e biológicas (atividade da microbiota

do solo, diversidade da comunidade microbiana entre outras) (Trannin et al., 2008).

Nas regiões tropicais e subtropicais, onde os solos são altamente intemperizados, ácidos e os minerais secundários apresentam baixa capacidade de troca de cátions, a adição de material orgânico tem importância fundamental para a manutenção da fertilidade (Melo e Marques, 2000).

A CETESB (Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental), por meio da norma P4.230, normatiza a disposição de lodo de esgoto na agricultura paulista, sendo permitida sua aplicação para produção de grãos como a soja (Bettiol e Camargo, 2011). Entretanto, para ser utilizado, as características do lodo devem se enquadrar nas exigências da norma. Além disto, o local onde será aplicado o lodo tem que atender as especificações de profundidade de lençol freático e declividade entre outras. Apesar de esta norma contemplar um controle rigoroso da qualidade e quantidade dos lodos a serem aplicados em função das características físicas e químicas do solo, bem como da cultura e um monitoramento das variações dessas características, ainda não existe uma maneira segura de monitorar as alterações que venham a ocorrer na qualidade biológica do solo. A utilização de altas doses de lodo pode aumentar o potencial de impacto ambiental devido à presença de compostos químicos tóxicos, implicando em modificações na diversidade biológica do solo e alterações de sua funcionalidade.

Uma das alternativas para o uso de biossólido na agricultura seria na adubação do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), que tem grande importância na economia da Região Norte Fluminense, e para o emprego da mão de obra rural familiar.

Considerando inexistência no Brasil, de trabalhos sobre a reciclagem agrícola do lodo no feijão caupi; a importância do Caupi na agricultura familiar brasileira e o interesse agrônomo de se dispor de uma fonte de matéria orgânica de tecnologia simples, barata, que contribuirá para a resolução ambientalmente segura de um problema que tende a se agravar na medida em que são implantados e/ou ampliados os sistemas de coleta e tratamento de esgotos do País, este trabalho visa avaliar os efeitos da aplicação de doses de lodo de esgoto no desenvolvimento e na produtividade do caupi.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DO CAUPI

O feijão-caupi é uma dicotiledônea, pertencente à ordem Fabales, à família Fabaceae, à subfamília Faboideae, à tribo Phaseoleae, à subtribo Phaseolina, ao gênero *Vigna* e à espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Sellschop, 1962). A espécie *Vigna unguiculata* L. Walp tecnicamente conhecida como feijão-caupi é também vulgarmente conhecida como feijão-de-corda, feijão macassar, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão gerutuba, feijão-trepa-pau, feijão miúdo (Guedes, 2008).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é nativo da África e bastante cultivado nas regiões tropicais dos continentes africano, asiático e americano (Silva et al., 2008), suas sementes são fontes de aminoácidos, tiamina e niacina, além de fibras dietéticas, por isso é uma boa opção para a melhoria da qualidade de vida, especialmente da população carente no meio rural e urbano (Fonseca et al., 2010).

Em função do seu valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado, principalmente, para a produção de grãos secos e verdes, sendo consumido *in natura*, na forma de conserva ou desidratado; também é utilizado como adubo verde e na alimentação animal como forragem e ensilagem ou feno (Freire Filho et al., 2005). No geral, apresenta cerca de 60% de carboidratos, 1,3% de gorduras e 3,9% de

fibras. Seu valor proteico (23,4% na composição média da semente) é superior ao do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (Ehlers e Hall, 1997).

Os principais produtores mundiais são: Nigéria, Níger e Brasil. Os países com maior área cultivada são Níger, Nigéria e Brasil. Os países com as maiores produtividades dessa cultura, acima de 2.500 kg ha⁻¹, são Croácia, Palestina, República da Macedônia, Trinidad e Tobago, Bósnia Herzegovina, Egito e Filipinas (Freire Filho et al., 2011).

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas Regiões Nordeste, e Norte. A primeira concentra a maior produção do país, com 84% da área plantada e 68% da produção nacional. Entretanto, a cultura do caupi está conquistando espaço na Região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado.

No Estado do Rio de Janeiro, os principais municípios produtores de caupi são Cachoeiras de Macacú, na Região Serrana, Magé, na Região Metropolitana, e São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Cardoso Moreira, localizados na Região Norte. Nesta Região, a cultura vem ganhando importância na agricultura de base familiar, onde os pequenos produtores com baixos recursos tecnológicos obtêm uma importante fonte de alimento e renda. (Guedes et. al., 2010).

O feijão-caupi é pouco exigente em fertilidade do solo e apresenta boa capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Andrade Jr. et al., 2002). A faixa ideal de temperatura para seu desenvolvimento está entre 18 e 34 °C (Valadare s et al., 2010).

O mercado externo tem preferência por feijão-caupi da classe comercial branco e subclasse fradinho, cuja característica apresenta grãos brancos com coloração preta ou marrom em volta do hilo. Esse tipo de grão é também importado por cerealistas brasileiros para atender aos mercados das Regiões Sul e Sudeste do país. Assim, 'Poços de Caldas-MG' foi a primeira cultivar de grãos tipo fradinho, que foi lançada no Brasil (Vilarinho et al., 2012).

A cultivar de feijão-caupi 'Poços de Caldas' apresenta altura de planta de 52 a 68 cm, o comprimento das vagens de 12,4 a 17,7 cm. A vagem apresenta em média de 6 a 11 sementes e a massa de 100 sementes em torno de 18 a 22 g (Vilarinho et al., 2012).

2.2. UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO VEGETAL

Com o advento do tratamento de esgotos urbanos visando atender às exigências ambientais o sistema proposto para este fim gera como produto final um resíduo semissólido denominado de lodo de esgoto.

Para incentivar o uso de lodo de esgoto e seus derivados, sobretudo na agricultura, o termo biossólido foi criado e divulgado em todo o mundo. Biossólidos são definidos, pela agência Norte-Americana de Proteção Ambiental - USEPA (1999), como qualquer produto orgânico resultante do tratamento de esgotos, que pode ser benéficamente utilizado ou reciclado. Benéficamente implica ausência de danos ambientais e de prejuízos para a saúde de animais e humanos (USEPA, 1999).

O estabelecimento de concentrações máximas de ovos viáveis de helmintos em lodos de esgoto tem sido critério mundialmente utilizado para se permitir o uso agrícola desse material (Capizzi-Banas e Schwartzbrod, 2001). Estudos epidemiológicos têm mostrado que a alta frequência de helmintos na população brasileira, o longo tempo de sobrevivência dos ovos desses organismos no ambiente e a baixa dose infectante são riscos inerentes à utilização agrícola de lodos de esgotos no País (Soccol et al., 1997). Em escala mundial, são 3,5 bilhões de pessoas infectadas por helmintos ou enteroprotzoários, a maioria crianças, resultando em aproximadamente 60 mil óbitos causados por *Ascaris lumbricoides* e 70 mil por *Entamoeba histolytica* a cada ano (Castiñeiras e Martins, 2011). Por esses motivos e em nome da segurança sanitária, o Decreto Federal nº 4.954/2004 restringiu, no Brasil, o uso agrícola de insumos e resíduos que contenham significativas concentrações de metais e patógenos (MAPA, 2011).

A agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (USEPA) disciplinou, por meio da norma "Title 40 of the Code of Federal Regulations (CFR), Part 503", o uso de biossólidos em solos, relacionando-os ao risco potencial que representam para a saúde humana e para o meio ambiente. Essa norma enumera os possíveis usos de biossólidos após serem tratados por meio de Processos para Significativamente Reduzir Patógenos – PSRP (compostagem, secagem a calor, caleação, radiação solar e outros) com base na concentração de organismos patogênicos remanescentes após o tratamento. Os PSRP em lodos

de esgoto, descritos na norma “U.S. EPA CFR Part 503” (USEPA, 1995), e respectivas concentrações toleráveis de patógenos e metais, têm servido de referência para diversos países, inclusive para o Brasil.

O Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal (CONAM/DF, 2006) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente elaboraram a Resolução CONAM/DF nº 03/2006 e a Resolução CONAMA nº 375/2006, respectivamente, que norteiam os limites para concentração de ovos viáveis de helmintos em biossólidos Classe A, que são os únicos permitidos na agricultura brasileira a partir de 2011 (CONAMA, 2011); assim, o limite de 0,25 ovo viável de helmintos por grama de matéria seca é padrão brasileiro para biossólidos de uso agrícola.

A utilização de biossólidos na agricultura brasileira ainda é uma prática pouco expressiva. Por outro lado, a geração de volumes cada vez maiores desses resíduos e as evidências científicas do aumento na produtividade de diferentes culturas, resultante de sua aplicação, têm incentivado o aproveitamento agrícola desses materiais como fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas. Porém, como apresentam composição química muito variada, cada biossólido deve ser avaliado quanto ao seu valor agrônômico e aos potenciais impactos de sua aplicação sobre atributos do solo, para que atenda aos critérios técnicos e de segurança à saúde e ao ambiente, estabelecidos para o uso agrícola deste tipo de resíduo (Trannin et al., 2008).

As empresas de saneamento brasileiras responsáveis pelo tratamento do esgoto urbano, pressionadas pela legislação pertinente, têm procurado alternativas viáveis para o tratamento e a disposição final do lodo de esgoto. Isto tem sido feito com o desenvolvimento de novas tecnologias de modo a atender aos requisitos ambientais, de segurança e saúde pública cada vez mais restritivos (Miki et al., 2001).

A estimativa usual é de que cada habitante produza, diariamente em torno de 100 g de lodo de esgoto seco (Albiach et al., 2001), mas depende basicamente do sistema de tratamento. Na cidade de Campos dos Goytacazes, de acordo com a empresa Águas do Paraíba, a produção diária de lodo de esgoto nas seis Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é de cerca de 13 Mg dia⁻¹.

A utilização do lodo na agricultura vem crescendo a cada ano em vários países (Melo et al., 2001). As características principais do lodo dependem do processo adotado em cada estação de tratamento de esgoto. Com o

processamento do lodo de forma segura os fatores de risco segundo Tsutiya (2001), podem ser divididos em: temporários (odor, salinização, poluição das águas e organismos patogênicos) e em longo prazo (metais pesados e contaminantes orgânicos). As características químicas do lodo têm sido o grande foco para análise de impacto ambiental no solo de acordo com as exigências ambientais (CETESB, 1999). Os metais pesados presentes no lodo têm sua origem nos esgotos sanitários que são compostos de esgotos domésticos, esgoto industrial e água de infiltração. A tecnologia empregada no tratamento do lodo não consegue remover os metais pesados, desta forma eles retornam ao ambiente pela disposição final (Wang, 1997). O termo metais pesados é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota, podendo ser metais, semimetais e mesmo não metais como o selênio (Tsutiya, 2001).

Experiências com uso de biossólido demonstraram seus benefícios para diversas culturas e para algumas características químicas e propriedades físicas do solo (Oliveira et al., 2002).

Trannin et al. (2008) observaram que a aplicação do biossólido melhorou a fertilidade do solo e, em doses superiores a 12 Mg ha⁻¹, apresentou maiores teores de C orgânico, nutrientes, sódio, CTC, soma de bases, porcentagem de saturação por bases e menor pH que o solo sem adubação, com adubação mineral e de área adjacente, até a profundidade de 0,4-0,6 m. Estes autores destacam ainda que apesar do baixo teor de metais pesados, sua utilização como insumo agrícola deve ser controlada, respeitando critérios e normas vigentes para que seus benefícios superem os riscos de poluição ambiental, especialmente por NO₃⁻ e Na.

No Distrito Federal, Silva et al. (2002a, 2002b) avaliaram a resposta de 54 a 216 Mg ha⁻¹ de biossólido úmido de sobre a produtividade de milho. Os autores concluíram que a dose menor resultou em maior ganho econômico. Em Jaguariúna, SP, Vieira et al. (2005) avaliaram o efeito da aplicação de biossólido em dois cultivos de soja e verificaram que as necessidades de P da cultura podem ser supridas pela adição de pequenas quantidades do material ao solo, no primeiro cultivo, sem prejuízo para a produção ou qualidade dos grãos.

Na cultura da cana-de-açúcar, os dados da literatura têm enfatizado benefícios à produtividade agrícola e ao rendimento em sacarose (Silva et al.,

1998). Chiba (2005), aplicando 16 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em cana-soca, em combinação com o adubo nitrogenado, concluiu que o lodo pode substituir 100% do adubo nitrogenado.

De acordo com Lemainski e Silva (2006), a aplicação de 30 Mg ha⁻¹ antes do cultivo de soja, de biossólido úmido resultou em produtividades de 3.602 e 3.183 kg ha⁻¹ de grãos, no primeiro e segundo cultivo, respectivamente. Os autores evidenciaram o efeito imediato e residual do material, além disto, verificaram que o biossólido, em média, foi 18% mais eficiente do que o fertilizante mineral como fonte de nutrientes para a cultura da soja.

Gadioli e Neto (2004), no município de Taubaté/SP, avaliaram o efeito do biossólido em milho e feijão. Os aumentos de produtividade observados com a adição de lodo, foram possivelmente devido ao fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento das culturas e a dose de 5 Mg ha⁻¹, calculada em função do nitrogênio disponível, mostrou-se adequada, sugerindo, dessa forma, sua utilização para aplicações de lodo de esgoto. Apesar dessa referência, são poucos os trabalhos com feijão citados na literatura. Uma provável explicação deve-se à fixação do N atmosférico pelas leguminosas (feijão, soja), o que reduz sua dependência dos fertilizantes nitrogenados, enquanto as gramíneas (milho, trigo, cana-de-açúcar, milheto, sorgo), por dependerem do fertilizante nitrogenado, respondem com maior intensidade ao biossólido, tirando mais proveito da liberação lenta do N do material.

2.3. USO DO BIOSSÓLIDO E CONSEQUÊNCIAS PARA O MEIO AMBIENTE

2.3.1 METAIS PESADOS

A presença de poluentes como os metais pesados, que é uma das maiores preocupações durante o desenvolvimento das pesquisas sobre o uso de biossólidos, está, em geral, associada à ocorrência de despejos industriais no esgoto (Guedes, 2005). Segundo Berton (2000), os metais pesados são definidos como os elementos químicos com densidade maior que 5 g cm⁻³. Utilizando essa definição, são incluídos como metais pesados alguns elementos que são essenciais às plantas, aos animais e ao homem, tais como zinco (Zn) e cobre (Cu). Porém, se ingeridos em quantidades elevadas esses elementos apresentam alta toxicidade, colocando em risco a saúde humana e animal. Segundo Tyller e

McBride (1989), o termo metal pesado pode também ser usado como uma denominação globalizada, utilizada para os elementos classificados como poluentes ambientais. Essa classificação envolve tanto elementos metálicos, como semimetálicos e não metálicos. Através da absorção pelas plantas, que alimentarão os herbívoros, os metais podem entrar na cadeia alimentar, chegando aos consumidores de primeira ordem e ao homem. Segundo Chaney (1990), a captura pelas plantas é a principal maneira dos metais entrarem na cadeia alimentar.

De acordo com Paixão Filho (2012), embora o uso do biossólido se apresente como uma das alternativas mais viáveis para disposição final deste resíduo, a presença de metais pesados no lodo pode limitar sua utilização como fertilizante, seja em virtude do risco de contaminação da cadeia trófica via absorção e translocação desses elementos em plantas cultivadas nessas áreas, seja devido à possibilidade de percolação de metais para água subterrânea. O lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patogênicos ao homem. Uma questão fundamental é a relacionada com a presença e concentração de elementos potencialmente tóxicos. O lodo contém, normalmente, em concentrações superiores às encontradas nos solos, mesmo considerando lodos de origem domiciliar. Assim, a incorporação de lodos a solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada. Além do zinco, cobre, manganês, ferro, molibdênio e níquel, que são micronutrientes essenciais para as plantas, mas que em altas concentrações podem causar sérios problemas, o cádmio e o chumbo podem também aparecer em quantidades consideráveis, especialmente se os lodos provêm de regiões industrializadas.

Neste caso, há que se controlar e monitorar a aplicação porque, em especial, zinco, cádmio, cobre e níquel, se presentes em teores elevados podem ser fitotóxicos, podendo até ser altamente prejudiciais para os animais que se alimentam destas plantas, principalmente no caso do Cádmio. Por isso, em todos os países onde o lodo de esgoto é aplicado na agricultura existem normas estabelecendo, entre outras coisas, as concentrações máximas permitidas de metais pesados no lodo e o teor máximo acumulado no solo. A resolução CONAMA nº 375/06 e a norma P 4.230 da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, do estado de São Paulo), estabelecem esses limites. Além desses limites, estabelecem também a taxa máxima de aplicação anual de

metais em solos agrícolas tratados com lodo e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo.

Ao se considerar o uso agrônômico de lodo, e a possibilidade de contaminação do solo com metais pesados, torna-se necessário identificar, “a priori”, a origem desse resíduo, uma vez que as concentrações de metais pesados tendem a ser menores em lodos originados de esgotos residenciais, em relação àqueles em que os efluentes industriais predominam (Bettiol e Camargo, 2006). Além da origem do lodo, é preciso considerar as quantidades desse resíduo adicionadas no solo ao longo do tempo, sendo essa a principal razão de os órgãos de controle ambiental estabelecer cargas máximas de metais pesados a serem adicionadas ao solo (CETESB, 1999, CONAMA, 2006).

Oliveira (1995), em Areia Quartzosa e Latossolo Roxo, verificaram que as adições de 13,5; 29,7 e 40,5 Mg ha⁻¹ de LE (com base no material seco) aumentaram as concentrações de Cd, Cu, Cr, Ni e Zn nos solos, sendo que o aumento da fitodisponibilidade desses metais para a cultura do milho foi obtido com a maior dose. Logan et al. (1997), em solo franco argiloso que recebeu lodo de esgoto em quantidades que variam de 0 a 300 Mg ha⁻¹, observaram incrementos nas concentrações de Cd, Cu e Zn nas folhas de milho.

Já Barros et al. (2011) relataram que aplicação de biofóssido aumentou os teores dos macronutrientes na parte aérea das plantas de milho e os teores de Zn, Cu, Mn, Fe e Pb nas plantas, estiveram abaixo dos limites fitotóxicos e as plantas não apresentaram sintomas de deficiência ou toxidez. Estes autores ainda afirmaram que o biofóssido mostrou ser uma importante fonte de nutrientes para o desenvolvimento da cultura de milho. Os tratamentos alternativos do lodo podem ser eficientes no controle de patógenos e facilitam a reciclagem agrícola de biofóssidos.

Labrecque et al. (1995) aplicaram seis doses de lodo estabilizado, desidratado e granuloso, de forma a obter 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg N disponível ha⁻¹, em grandes potes plásticos contendo solo arenoso e cultivados com duas espécies do gênero *Salix* durante vinte semanas. A maior dose testada provocou o melhor desenvolvimento, em ambas as espécies. O coeficiente de transferência de metais não variou entre espécies, mas foi, significativamente, maior para cádmio e zinco. As plantas absorveram mais cádmio e zinco, mas foram menos hábeis para absorver níquel, mercúrio, cobre e chumbo. Eles

afirmam que um conteúdo elevado de metais em culturas agrícolas não é desejável, além de ser potencialmente perigoso. No entanto, para árvores isso é aceitável, desde que a atividade fisiológica não seja afetada. Assim, as plantações florestais podem ser usadas como filtros, através da captura, do acúmulo e do armazenamento de poluentes dentro da biomassa. Isso vai variar com a cultura florestal, pois existe uma captura seletiva de metais, provavelmente devido a solubilidades diferentes no solo e à preferência de determinada espécie vegetal por diferentes metais.

O acúmulo de metais pesados, por sucessivas aplicações de LE, pode se tornar motivo de preocupação em função da possibilidade de movimentação e consequente contaminação de camadas mais profundas do solo e águas subterrâneas por esses metais (Ferreira, 2005). Os metais pesados podem permanecer no solo por longos períodos, especialmente em solos tropicais ricos em óxidos de ferro e de alumínio. Apesar da maioria dos metais pesados presentes no LE também se constituir de nutriente de planta, as quantidades aportadas são, geralmente, maiores que as necessidades da maioria das espécies cultivadas, o que pode ocasionar problemas ambientais (Trannin et al., 2008).

Em estudo realizado por dois anos consecutivos, Galdos et al. (2004) verificaram que aplicações de 10 e de 20 Mg ha⁻¹ LE em um Latossolo Vermelho argiloso resultaram no aumento da concentração de Cu, Zn e Ni em plantas de milho. Contudo, em outros estudos realizados com doses elevadas de LE, atingindo até 300 Mg ha⁻¹, Logan et al. (1997) verificaram que a absorção de metais pesados pelas plantas não ocorre de forma linear, provavelmente em virtude das interações entre esses metais e componentes do solo como pH, matéria orgânica e CTC (Camargo et al., 2001).

Nogueira et al. (2008) estudaram o efeito cumulativo de nove aplicações de doses de LE na disponibilidade de metais pesados em um Latossolo argiloso cultivado com milho e apenas verificaram aumentos significativos relacionados com os teores foliares de Zn.

Buscando avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados em plantas de milho cultivadas em solos tratados com biossólido por cinco anos, Oliveira et al. (2000) observaram que as concentrações dos metais Cr, Mn Ni, Pb e Zn se mantiveram abaixo dos limites críticos estabelecidos pela USEPA (1999) e CETESB (1999).

Gonçalves et al. (2012) ao estudarem os efeitos de diferentes doses de LE (0; 10; 20; 40; 60 Mg ha⁻¹) na cultura do milho, observaram que a aplicação de bio sólido não influenciou na absorção inicial dos macronutrientes, porém proporcionou aumento nos teores de Cu e Zn no tecido foliar. Também foram encontradas concentrações de Pb no tecido foliar do milho, fato que merece atenção, pois aplicações sucessivas de bio sólido podem causar aumento das concentrações deste metal no solo e conseqüentemente nos órgãos das plantas.

2.3.2. NITRATO

Outro risco inerente ao uso inadequado do lodo de esgoto refere-se à possibilidade de contaminação de lençóis freáticos e cursos de água com nitrato. O nitrogênio contido no lodo de esgoto poderá restringir a taxa de aplicação mais do que teores de metais pesados, devido à mineralização de sua forma orgânica e subsequente à lixiviação de nitrato (Oliveira, 2000), quando aplicado em doses acima de 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, ou equivalente em N, acima de 300 kg⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹.

O nitrato, uma das formas de nitrogênio aproveitadas pelas plantas, resulta da mineralização do nitrogênio orgânico contido no solo, seja ele original ou adicionado por meio de resíduos orgânicos, como o lodo esgoto. Em virtude do fato de não ser retido pelas partículas do solo – que em geral apresentam carga elétrica predominantemente negativa – esse ânion permanece livre em solução. Portanto, quando a quantidade presente no solo excede a capacidade de absorção das raízes das plantas há a possibilidade de lixiviação no perfil do solo, podendo, ao longo do tempo, atingir o lençol freático e os corpos de água por ele alimentados. Trabalhos sobre o tema, desenvolvidos no país, indicam que dependendo das doses de lodo aplicadas e da frequência de aplicação, quantidades expressivas de nitrato podem ser lixiviadas da camada arável dos solos, trazendo o risco de contaminação das águas subterrâneas (Oliveira, 1995).

Um dos critérios utilizados no cálculo da dose de lodo de esgoto a ser aplicada em determinado cultivo considera a quantidade de nitrogênio disponível no resíduo. Essa quantidade é definida como a soma do nitrogênio na forma mineral (amônio + nitrato) originalmente contida no lodo, com a fração do nitrogênio orgânico do mesmo que será mineralizada durante o ciclo da cultura (CETESB, 1999). Dados da literatura indicam que tal fração varia entre 20 e 30%,

quando o lodo é originado de processos de digestão anaeróbia ou aeróbia, respectivamente (Tsutiya, 2001). Isso significa que em um sistema de culturas anuais adubadas com lodo de esgoto, entre 70 e 80% do nitrogênio orgânico adicionado a cada aplicação permanece no solo após cada safra. Embora o nitrogênio orgânico remanescente continue sendo mineralizado na ausência da cultura, uma quantidade considerável pode persistir sob esta forma, somando-se à adicionada na safra seguinte.

Dynia et al. (2006) estudaram doses de LE até oito vezes a recomendada e observaram que a lixiviação de nitrato ocorreu em todos os tratamentos. A intensidade da lixiviação obedece à ordem: adubação mineral < testemunha < adubação com os lodos. Nos tratamentos com os lodos a lixiviação aumentou com as doses e com o número de aplicações. A aplicação dos lodos em doses correspondentes ao fornecimento de quatro e oito vezes o N disponível aplicado na adubação mineral recomendada para a cultura resulta em intensa lixiviação do ânion a partir dos primeiros cultivos. Após cinco aplicações destas doses, grande parte do nitrato lixiviado alcança a profundidade de três metros.

Paixão Filho (2012) relatou que a lixiviação de nitrato para roseiras variedade 'Carola' cultivadas em vasos, foi de aproximadamente 5% do nitrogênio total aplicado para os tratamentos com lodo (12 Mg ha⁻¹ de lodo em base seca (BS), 24 Mg ha⁻¹ de lodo BS, 36 Mg ha⁻¹ lodo BS) e de 10% na adubação mineral (100 kg N ha⁻¹). Deste modo, a aplicação de lodo de esgoto na cultura da roseira proporcionou aumento nos valores dos parâmetros observados (matéria seca das raízes, matéria seca da parte aérea, volume das raízes, área foliar e concentração de nitrogênio no tecido foliar).

2.3.3. FÓSFORO

Bettiol e Camargo (2006) levantaram outro problema inerente ao uso de quantidades elevadas de LE, quantidades elevadas de fósforo que podem modificar alguns aspectos da dinâmica do mesmo nos solos. Além disso, há o risco de contaminação do ambiente por meio do seu transporte, adsorvido ao material particulado nas enxurradas, em direção aos reservatórios de águas superficiais. A eutrofização de lagos e outros corpos d'água, pelo fósforo, seria limitante à biodiversidade destes ambientes (Sui et al., 1999). Este processo

consiste em um excessivo “enriquecimento” da água, causando um aumento na população de fitoplâncton e algas. Com a morte e decomposição destes, pode ocorrer falta de oxigênio na água, ocorrendo a morte de peixes e outros organismos aquáticos. Apesar de que ambos, N e P, sejam transportados em uma enxurrada, o P tem sido considerado o elemento mais limitante neste processo, pois o N é suprido por mecanismos como fixação atmosférica por algas. Portanto, a maior parte das ações de controle de eutrofização tem focado o controle de P.

Um dos aspectos que pode sofrer modificação em razão da adição do lodo de esgoto é a capacidade de adsorção de fósforo pelos solos. Os resíduos orgânicos, dependendo do seu teor de fósforo, aumentam ou diminuem a adsorção do elemento no solo. Durante a decomposição do lodo, os ácidos orgânicos liberados podem bloquear os mesmos sítios de adsorção do fósforo na fase sólida, diminuindo assim a fixação do elemento (Galdos, 2003). O caráter aniônico dos ácidos orgânicos favorece as ligações com os mesmos sítios de adsorção usados pelo fosfato. Este mecanismo de bloqueio, aumenta a disponibilidade de fósforo para as plantas. O efeito dos ácidos orgânicos sobre a adsorção de fósforo pode ser visto no trabalho de Hue (1991), que usou o recurso das isotermas de adsorção e concluiu que a presença de ácidos orgânicos, liberados pela matéria orgânica em decomposição, diminuiu a adsorção de fósforo nos solos estudados.

2.3.4. MICRO-ORGANISMOS PATOGÊNICOS

Os lodos contêm os mais variados micro-organismos patogênicos. Porém, a simples presença do agente infeccioso nos lodos utilizados na agricultura não implica necessariamente na imediata transmissão de doenças, caracterizando apenas um risco potencial. O risco real de um indivíduo ser infectado depende, na verdade, da combinação de uma série de fatores, dentre os quais: a resistência dos organismos patogênicos ao tratamento de esgotos e às condições ambientais; dose infectiva; patogenicidade; suscetibilidade e grau de imunidade do hospedeiro; grau de exposição humana aos focos de transmissão. Assim, para que um micro-organismo presente em um efluente utilizado na agricultura chegue a provocar doença, o mesmo teria que resistir aos processos de tratamento de

esgotos empregados e sobreviver no meio-ambiente em número suficiente para infectar um indivíduo suscetível (Bastos, 1993).

Segundo Nogueira et al. (2008), deve-se tomar todos os cuidados necessários para evitar a contaminação do ambiente com patógenos. Segundo Lopes et al. (2005), os patógenos passíveis de serem encontrados no lodo se constituem em ovos de helmintos, cistos de protozoários, bactérias e vírus entéricos, em que as quantidades são dependentes da origem, da época do ano e do processo de tratamento ao qual o lodo foi submetido.

Com base no levantamento elaborado por Chagas (2000), há a seguinte classificação para os micro-organismos patogênicos em ordem decrescente, segundo sua capacidade de impor riscos sanitários:

- Alto risco: Helmintos (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Necator Americanos* e *Ancylostoma duodenale*);
- Médio risco: Bactérias (*Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, e *Shigella* sp) e protozoários (*Entamoeba. hystolitica*, e *Giardia lamblia*);
- Baixo risco: Vírus (vírus entéricos e vírus da hepatite).

Muitas espécies de vermes ou helmintos habitam o trato intestinal humano. Alguns deles podem causar sérias doenças com diversas sequelas. Segundo Sousa et al. (2005), 25% dos leitos hospitalares do mundo estão ocupados por pacientes com doenças veiculadas por água contaminada. É estimado que 1,5 bilhão de pessoas estejam infectadas com *Ascaris lumbricoides* e 1,3 bilhão com Ancilostomídeos (Crompton, 1999).

Chagas (2000) inferiu que as consequências para o homem seriam totalmente diferentes dependendo da espécie de patógenos presentes. Por exemplo, lançados ao solo, ovos de *Ancylostoma duodenale* implicariam em sérios danos à saúde pública, tendo em vista que o verme do amarelão se transmite através do contato com a pele, normalmente dos pés, com o solo contaminado. No entanto, pouco efeito teria na saúde pública se fosse lançado em um curso d'água, já que neste meio não há transmissão da doença. O contrário acontece com o *Schistosoma mansoni* que em um corpo receptor contendo o caramujo que atua como hospedeiro intermediário de cada ovo poderia originar um grande número de cercárias, podendo resultar em grave risco à saúde pública. No entanto, dispostos no solo, pouco efeito à saúde pública poderia advir. A análise do risco sob esta ótica é bastante complexa porque

envolveria considerar vários aspectos: eficiência do tratamento do lodo, tipo de solo, cultura, clima, bem como possíveis alterações que podem ocorrer com os micro-organismos no ambiente (decaimento, multiplicação, latência entre outros), rotas de transmissão, presença de hospedeiros, intermediários, formas de infecção, doses infectantes, exposição e susceptibilidade dos hospedeiros (Fernandes et al., 1996).

Em relação a bactérias, as fezes de uma pessoa sadia contêm um grande número de bactérias comensais de várias espécies. Essas espécies variam em quantidade e tipo de acordo com hábitos e costumes da população. Esta grande variação de espécies levaram os estudiosos a estabelecer indicadores de presença de contaminação como o *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosas*, *Enterococcus faecalis*. As bactérias penetram no corpo humano normalmente por ingestão de alimentos ou água contaminada, e muitas vezes através das próprias mãos. Há notícias de contaminações de pulmões por inalação ou aerossóis e de olhos através de dedos ou mãos contaminadas. Todas as infecções levam as bactérias a serem eliminadas pelas fezes e daí com a probabilidade de atingir um novo humano, fechando novamente um novo ciclo (Roque, 1997).

Inúmeros vírus podem infectar o trato intestinal e serem eliminados através das fezes para o meio ambiente, levando a infectar um humano através da ingestão, do vetor ou da inalação. Um grama de fezes humanas pode conter 10^9 vírus infecciosos independente em um indivíduo doente. Embora não possam se multiplicar no meio ambiente, o vírus excretado pode sobreviver por muitas semanas, especialmente a baixas temperaturas ($< 15^\circ \text{C}$). Concentrações de 10^5 vírus infecciosos por litro de esgoto são encontradas normalmente em esgotos brutos como também são facilmente isolados de solo e águas naturais que tenham sido expostas a descargas de esgotos. Cinco grupos de vírus patogênicos são particularmente importantes: Adenovírus, enterovírus, vírus da hepatite A, reovírus e as viroses causadoras de diarreias (Roque, 1997).

A radiação solar, a predação e a competição minimizam de forma efetiva as possibilidades de infecção dos vírus após a aplicação ao solo.

A persistência dos patógenos no solo é comumente aumentada em baixas temperaturas, pH neutro e barreiras físicas contra radiações ultravioletas. Sua capacidade de movimentação está ligada à movimentação da água interflocular

do lodo e de águas que transpassem estes flocos, condicionadas pela umidade do lodo e do solo e pela capacidade de retenção do solo.

2.4. EFEITOS DO BLOSSÓLIDO SOBRE O APORTE DE NUTRIENTES

A utilização do lodo se constitui em um fornecimento de nutrientes essenciais às plantas. O aporte de nitrogênio e fósforo, principalmente, e também o aumento da capacidade de retenção de água e a melhoria na estabilidade de agregados, pela adição de matéria orgânica (Joost, 1987), tornam este resíduo uma alternativa para substituição aos fertilizantes químicos.

Além da vantagem da liberação mais lenta e mais prolongada de nitrogênio, há os benefícios de melhoria nas propriedades físicas do solo e de estímulo da atividade microbiana. King e Morris (1972), estudando a disposição de lodo de esgoto líquido, calagem e fertilização mineral, verificaram que os tratamentos com lodo diminuíram o pH do solo, aumentando o teor de Mn e de Zn trocáveis na solução. Entre outras observações, concluíram que a redução na produção do centeio (*Secale cereale* L.), provavelmente, foi devido aos altos níveis de Zn e, possivelmente, Cu, mais do que às deficiências de N, P, K, Ca ou Mg ou aos altos níveis de Mn, B, Mo, ou Al.

Segundo Santos Filho e Tourinho (1981a), os teores de N, P, K, Ca e Mg em lodo de esgotos do município de Curitiba-PR foram considerados elevados e os dos metais pesados inferiores aos de lodos de países como Inglaterra e Estados Unidos. Esses autores alertaram sobre a necessidade de pesquisas de campo para estudar a viabilidade de aplicação do lodo no solo, sem riscos de toxidez para os alimentos, e enfatizaram que a poluição do lençol freático e de rios deveria ser controlada. Em outra publicação, Santos Filho e Tourinho (1981b), relataram a viabilidade de emprego do lodo de esgoto de Curitiba, observando que há favorecimento da porosidade do solo, tendo-se verificado, também, valores de CTC elevados.

Berton et al. (1989) desenvolveram ensaio de casa de vegetação para estudar a absorção de nutrientes pelo milho, em resposta à adição de lodo de esgoto em cinco solos paulistas, e verificaram que a incorporação do lodo proporcionou elevação do pH em todos os solos, reduzindo ou eliminando o Al

trocável. Nesse ensaio, houve aumento da matéria seca das plantas, bem como das quantidades de N, P, Cu, Mg e Zn absorvidas.

Nas pastagens semiáridas do sudoeste americano, a produtividade é afetada pela baixa quantidade de matéria orgânica e de N disponível. Com a aplicação de lodo digerido, anaerobicamente, nas dosagens de 22,5; 45,0 e 90 Mg.ha⁻¹, Fresquez et al. (1990) verificaram que N, P e K do solo aumentaram linearmente. O pH do solo decresceu linearmente com a aplicação do lodo após a segunda estação de crescimento mas, não aumentou significativamente a solubilidade de Pb e de Cd no solo. As plantas de grama-azul, galleta (*Hilaria jamesii* (Torr.) Benth.) e *Sitanion hystrix* (Nutt.) J.G.Sm, tiveram aumentos significativos e lineares nos níveis de N, P e K dos tecidos e na proteína bruta, com a aplicação do lodo. Os níveis de Cd e de Pb nos tecidos das plantas não aumentaram significativamente. A dosagem de 45 Mg ha⁻¹ promoveu os resultados mais favoráveis, tanto no solo quanto nas plantas.

Silva (1995), estudando os efeitos do uso agrônômico do lodo de esgoto na fertilidade do solo e na qualidade da cana-de-açúcar, verificou que o lodo de esgoto teve efeito de curta duração, restrito apenas ao primeiro ano; atuou como corretivo do complexo coloidal do solo e como fertilizante, fornecendo Ca, P, S e Zn à cana-de-açúcar; e aumentou os teores de metais pesados no solo, cuja ordem de valor não oferecia qualquer risco de passagem à cadeia trófica.

Lourenço et al. (1999) inferiram que as aplicações de lodo não forneceram grandes aportes minerais ao solo. Por ser um material calado, a aplicação desse lodo resultou no aumento do pH e do conteúdo de Ca + Mg solúveis do solo e consequente diminuição de Al + H.

Estudos foram realizados para verificar a ação de lodo de esgoto na reestruturação de um solo e o efeito nas plantas de braquiária e eucalipto. Campos e Alves (2011), verificaram que o uso do lodo de esgoto exerceu efeito benéfico nas propriedades físicas (densidade do solo, porosidade total e macroporosidade) e proporcionou maior rendimento de matérias verde e seca da braquiária além de promover, ainda, maior crescimento das plantas de eucalipto.

Em estudo de campo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Marques (1990), comparando, por dois anos consecutivos, os efeitos da adubação convencional e da aplicação anual de 4, 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (com 72 % de umidade), complementadas com K, sobre a produtividade e a

qualidade industrial da cana-de-açúcar, concluiu que é possível a utilização do lodo na cultura como fertilizante, uma vez que não foram observadas diferenças, entre os tratamentos, para produtividade e características tecnológicas da cana-de-açúcar.

A aplicação de 20, 40, 80 e 160 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (com 92 % de umidade), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, aumentou a produção de matéria seca da cultura do milho (efeito imediato) e da associação aveia ervilhaca (efeito residual), de acordo com as doses, como também aumentou os teores de N e P disponíveis do solo, evidenciando a contribuição do lodo em fornecer nutrientes às plantas (Da Ros et al., 1993).

Silva (1995) avaliou o efeito fertilizante do lodo de esgoto em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Foram aplicados 20 e 40 Mg ha⁻¹ de lodo (com 62 % de umidade), em combinação com adubação NP, NK, PK e NPK, nas doses de 60, 80 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P₂O₅ e K₂O, e sem adubação. As doses de lodo aumentaram linearmente a produtividade de biomassa e de açúcar.

Marques (1996), estudando o efeito da adição de 40, 80 e 160 Mg ha⁻¹ de lodo (com 74 % de umidade), combinado com 50 ou 100 % do adubo NPK recomendado para a cultura da cana-de-açúcar, constatou que a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ com 50 % do adubo NPK promoveu produtividade da cultura semelhante à da adubação NPK convencional. Isso sugere que a utilização do lodo pode acarretar uma economia com fertilizantes minerais.

Trazzi et al. (2012) ao avaliarem a influência da utilização de lodo de esgoto e dejetos bovinos como componente de substrato na qualidade de mudas da espécie florestal, murta-de-cheiro (*Murraya paniculata* (L.) Jack.), observaram que a utilização de lodo de esgoto ou dejetos bovinos na composição do substrato influenciou significativamente as características morfológicas das mudas, existindo uma tendência de crescimento das mudas em altura, diâmetro e biomassa à medida que aumentava a proporção de lodo de esgoto e dejetos bovinos. Para a produção de mudas de *Murraya paniculata*, a utilização de substratos que contenham quantidades maiores que 60% de dejetos bovinos ou lodo de esgoto em mistura com terra de subsolo pode ser recomendada.

A solarização do solo associada à incorporação de lodo de esgoto, cama-de-frango e casca de Pinus (relação C/N = 7, 15, 50, respectivamente) foi testada

por Schoenmaker e Ghini (2000) para o controle de *Pythium* spp. Os tratamentos solarizados apresentaram, em média, nas quatro sementeiras, 86% de emergência, enquanto os não solarizados, 19,2%. Dos tratamentos solarizados, os que receberam a incorporação de cama-de-frango, seguidos pelos tratamentos com lodo de esgoto, apresentaram os melhores resultados.

A mudança do pH em solos incorporados com lodo de esgoto também pode ser responsável pela supressividade para algumas doenças. A elevação do pH induzida pelo lodo de esgoto calado foi responsável pela neutralização do crescimento do fungo *Rhizoctonia solani* em placas de petri (Fortes et al., 2000).

2.5. EFEITO DO BIOSSÓLIDO SOBRE A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

No passado a aplicação de biofóssido no cultivo de leguminosas foi desencorajada por ser considerado que o aproveitamento do nitrogênio fornecido pelo lodo seria pequeno (Angle e Madariaga, 1992). Sendo assim, as pesquisas em sua maioria foram direcionadas para avaliação do uso de biofóssido em culturas que tivessem maior dependência do fornecimento de N mineral. Neste contexto, as pesquisas com lodo no Brasil têm sido conduzidas principalmente com gramíneas. Os resultados encontrados na avaliação do efeito do biofóssido sobre soja e feijão no Brasil, ainda são limitados (Vieira, 2001).

As principais questões discutidas sobre o uso de lodo no solo têm sido o risco de acúmulo excessivo de metais pesados e sais solúveis que possam ser tóxicos para a microbiota do solo, particularmente o rizóbio (Angle e Madariaga, 1992). Dentre os processos microbianos, como o que ocorre na mineralização da matéria orgânica, a fixação de nitrogênio, realizada por um grupo de espécies no solo tem sido mais afetada por níveis moderados de metais no solo (Mcgrath et al., 1994). Sabe-se que *Bradyrhizobium* spp. apresenta maior resistência a metais pesados, no solo, do que *Rhizobium* spp., podendo de fato incrementar seu desenvolvimento em solos que receberam lodo de esgoto (Kinkle et al., 1987).

Castilhos et al. (2001) observaram que a nodulação na soja foi inibida nos tratamentos que continham lodo com quantidades altas de cádmio. No entanto, nos estudos de Vieira et al. (2001) e Araujo (2002), constatou-se que a aplicação de lodo de esgoto estimulou a nodulação, assim como a FBN, estimada por meio

da avaliação da atividade da nitrogenase em ensaios de casa de vegetação. Currie et al. (2003) também demonstraram, em experimento realizado em campo, que a aplicação de lodo de esgoto pode incrementar as taxas de FBN na cultura da soja. Souza et al. (2009) afirmaram que aplicação do lodo de esgoto, em doses de até 6 Mg ha⁻¹, não afeta negativamente a nodulação da soja no período de dois anos. Desse modo, é possível afirmar que efeitos positivos ou negativos sobre a nodulação e a FBN estão relacionados às características do resíduo utilizado.

Estudos com metais pesados e seus efeitos na fixação de N têm sido realizados com os metais na forma de sais, adicionados ao solo, os quais têm apresentado reduções significativas da nodulação e fixação de N em leguminosas (Vigue et al., 1981). Contudo, algumas vezes tem se avaliado a adição de resíduos que contêm metais pesados, no solo e não se verifica efeitos negativos sobre a nodulação e fixação de N (Vieira, 2001). A tolerância intrínseca a metais em *B. japonicum* isolado de solo que não recebeu lodo é excessivamente alta (Kinkle et al., 1987).

Em experimento com leguminosa McGrath et al. (1994) observaram que a aplicação de lodo de esgoto reduziu significativamente a fixação de nitrogênio e o crescimento em trevo branco (*Trifolium repens* L.). Entretanto, avaliando a utilização de lodo de esgoto compostado em solos da Rússia, Selivanovskaya et al. (2001) constataram aumentos da biomassa microbiana, em cerca de quatro vezes e da atividade de fixação de nitrogênio em até 35 vezes em solos que receberam o lodo. Em outra situação foi relatado que o desenvolvimento da soja pode ser incrementado utilizando-se pequenas doses de lodo de esgoto ao solo, principalmente pela presença de fósforo que contribui para o balanço nutricional no solo (Vieira, 2001). A conclusão final de Ferreira e Castro (1995), estudando a nodulação e o desenvolvimento de trevo branco em solo previamente tratado com lodo de esgoto, foi que a inoculação de sementes proporcionou aumento de nodulação e produção de matéria seca, sendo considerada benéfica para a cultura.

3. TRABALHOS

Efeito do biossólido sobre a nodulação e nutrição do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.)

Effect of biosolids on nodulation and nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Artigo redigido conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias

RESUMO

O biossólido é um resíduo tratado obtido em Estações de Tratamento de Esgoto. A utilização deste resíduo é uma prática altamente promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Esta pesquisa foi realizada para avaliar os efeitos da aplicação do biossólido sobre o caupi, em casa de vegetação, em Argissolo amarelo distrófico, em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados constituído por seis doses de biossólido (0; 2,75; 5,5; 11; 22; 44 g L⁻¹) e uma dose de adubação química, com cinco repetições. Houve acréscimo nos teores foliares de P e Ca em todas as doses. Nas doses acima de 5,5 g L⁻¹ apresentou aumento nos teores foliares de N, Mg, K, S e Mo. Nas doses acima de 22 g L⁻¹ de biossólido, foram superiores os teores foliares de Zn, Cu e matéria seca da parte aérea. Houve decréscimo nos teores foliares de B, Ni e Mn. Para teores de Fe e matéria seca de raiz não houve diferença comparados à dose 0.

Palavras-chave: lodo de esgoto, teor de nutrientes, sustentabilidade.

ABSTRACT

Biosolids is a treated residue from waste water treatment plants. The use of biosolids is a highly promising practice for the development of sustainable agricultural systems. This research was carried out to evaluate effects of biosolids application on Cowpea under greenhouse conditions, on dystrophic Ultisol, in Campos dos Goytacazes, State of Rio de Janeiro, Brazil. An experimental design adopted was randomized blocks constituted of six doses of biosolid (0; 2.75; 5.5; 11; 22; 44 g L⁻¹) and one dose of chemical fertilization with five replications. There was an increase in the foliar concentrations of P and Ca in all doses. At doses above 5.5 g L⁻¹ biosolids doses there was an increase in foliar concentrations of N, Mg, K, S and Mo. At doses above 22 g L⁻¹ of biosolids doses showed higher for foliar concentrations of Zn, Cu, number of nodules and dry matter of shoots. There was a decrease in foliar concentrations of B, Ni and Mn. For contents of Fe and root dry matter there was no difference compared to a dose 0.

Key words: Sewage sludge, leaf nutrient content, sustainability

INTRODUÇÃO

A utilização de lodo de esgoto ou bio sólido na agricultura brasileira não está amplamente difundida. Mas, com o aumento na geração desse resíduo, proporcionalmente ao crescimento populacional e às evidências científicas do aumento na produtividade de diferentes culturas, resultantes do seu uso, têm-se incentivado o aproveitamento agrícola desse material como fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas (ROS et al., 1991). Além disto, quando tratado com cal, age como corretivo da acidez do solo (BERTON et al., 1989), proporciona melhorias na fertilidade do solo (ADANI et al., 2007) e aumenta a produtividade agrícola (NASCIMENTO et al., 2004). Isto devido, geralmente, à elevação do pH e do poder tampão, à redução da acidez trocável, ao aumento na disponibilidade de nutrientes (VIEIRA; CARDOSO, 2003), à melhoria da capacidade de troca catiônica e no estímulo à atividade microbiana do solo (ANDREOLI et al., 2001).

Por outro lado, como apresenta composição química muito variada, cada bio sólido deve ser avaliado quanto ao seu valor agrônomo e aos potenciais impactos de sua aplicação, para que atenda aos critérios técnicos e de segurança à saúde e ao ambiente, estabelecidos para o uso agrícola deste tipo de resíduo, como indicado na resolução CONAMA N 375 (Ministério do Meio Ambiente, 2006).

O caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), conhecido vulgarmente como feijão-de-corda ou macáçar, é uma leguminosa de ampla distribuição mundial, estando presente principalmente nas regiões tropicais do globo, pois estas têm características edafoclimáticas semelhantes às do seu provável centro de origem, a África.

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste, onde concentra a maior produção do país, com 84% da área plantada e 68% da produção nacional;

e região Norte do país e está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. No Estado do Rio de Janeiro, os principais municípios produtores são Cachoeiras de Macacú, na Região Serrana; Magé, na Região Metropolitana; e São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Cardoso Moreira, localizados na Região Norte. Nesta Região, a cultura vem ganhando importância na agricultura de base familiar, onde os pequenos produtores com baixos recursos tecnológicos obtêm uma importante fonte de alimento e renda. (GUEDES et. al., 2010).

A prática da inoculação com bactérias diazotróficas capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) para a cultura do feijão-caupi, não é muito utilizada no Brasil, em razão de os solos conterem elevada população de rizóbios nativos capazes de nodular a cultura (ZILLI et al., 2004; SOARES et al., 2006; LEITE et al., 2009), gerando respostas inconsistentes com relação à essa prática de manejo. Essa variabilidade de resposta à inoculação pode estar relacionada com a baixa especificidade para nodulação do feijão-caupi, como também à densidade e habilidade competitiva de rizóbios nativos (SILVA et al., 2012).

De acordo com Faria et al. (2004), a adição de biofertilizante ao solo pode estimular a nodulação e fixação simbiótica de N_2 no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), aumentando a sobrevivência e multiplicação dos rizóbios no solo. Estes autores afirmam que a aplicação de fertilizante nitrogenado no feijão pode ser substituída por quantidade adequada de lodo de esgoto.

Desse modo, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a nutrição e a nodulação na cultura do feijão-caupi, cultivado com doses crescentes de biofertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação na Unidade de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (UAp), coordenadas geográficas de 21°45'47'' de latitude Sul e 41°17'12'' de longitude Oeste, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes-RJ. Os tratamentos (T) foram constituídos por seis doses de biofertilizante e uma dose de adubação mineral. Assim, T1, T2, T3, T4, T5 e T6 receberam 0,00; 2,75; 5,50; 11,00; 22,00 e 44,00 g L⁻¹ de lodo compostado, respectivamente. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados com cinco repetições.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos com volume interno de 10 L preenchidos com uma amostra da camada de 0 – 20 cm de um Argissolo Amarelo Distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006) (Quadro 1). Cada vaso conteve duas plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

Quadro 1 – Valores das características químicas de material do solo por ocasião da instalação do experimento (2013), em Campos dos Goytacazes, RJ.

Característica	Valor encontrado	Classificação
pH	4,9	Baixo
P* (mg dm⁻³)	6	Médio
K* (mg dm⁻³)	83	Bom
Ca (cmol_c dm⁻³)	1,2	Baixo
Mg (cmol_c dm⁻³)	1,3	Bom
Al (cmol_c dm⁻³)	0,5	Baixo
H + Al (cmol_c dm⁻³)	3,8	Médio
Na (cmol_c dm⁻³)	0,04	---
S.B. (cmol_c dm⁻³)	2,8	Médio
T (cmol_c dm⁻³)	6,6	Médio
t (cmol_c dm⁻³)	3,3	Médio
MO (g dm⁻³)	25,5	Médio
C (%)	1,48	Médio
m (%)	15	Baixo
V (%)	42	Médio
Fe (mg dm⁻³)	26	Médio
Cu (mg dm⁻³)	0,4	Baixo
Zn (mg dm⁻³)	2,4	Muito bom
Mn (mg dm⁻³)	7	Médio

* Extrator Carolina do Norte

Foi utilizado o biossólido proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Campos dos Goytacazes/RJ. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes (Quadro 2).

Quadro 2 – Características químicas do biossólido por ocasião da instalação do experimento (2013), em Campos dos Goytacazes, RJ.

Característica	Valor encontrado
pH	6,5
N (g kg⁻¹)	19,60
P₂O₅(g kg⁻¹)	8,36
K₂O (g kg⁻¹)	1,22
N (g kg⁻¹)	19,60
Ca (g kg⁻¹)	75,19
Mg (g kg⁻¹)	21,84
S (g kg⁻¹)	23,30
C (g kg⁻¹)	132,0
Fe (mg kg⁻¹)	43648
Cu (mg kg⁻¹)	188
Mn (mg kg⁻¹)	266
Zn (mg kg⁻¹)	433
B (mg kg⁻¹)	33,67
U (%)	35,5

O solo foi peneirado, após, foi feita a distribuição nos vasos e o tratamento com adubação mineral recebeu 0,92 g de Super Simples por vaso, conforme recomendação da EMBRAPA (2013) e os demais tratamentos seguiram com as incorporações do composto de lodo nas doses estipuladas e em seguida foi feita uma irrigação para atingir 70% da capacidade de campo.

Após, foi efetuada a inoculação das sementes de caupi com *Bradyrhizobium japonicum*, fornecidos pela EMBRAPA Agrobiologia, utilizando a metodologia sugerida por esta empresa. Logo em seguida, foi feita a semeadura do feijão-caupi, cv. Poços de Caldas, 8 sementes por vaso, com espaçamento de 5 cm entre uma semente e outra.

Aos 15 dias da semeadura fez-se o desbaste deixando-se duas plantas por vaso.

Por ocasião do início da floração (45 dias após a semeadura), todas as plantas foram coletadas. Foram retirados os nódulos das raízes e armazenados em sacos de papel identificados e colocados em geladeira. Posteriormente, foi contado o número de nódulos e estes foram transferidos para estufa com circulação de ar forçada (65 °C), até atingir massa constante, após estarem secos, foram pesados.

A parte aérea foi separada da raiz e, posteriormente, levada à estufa com circulação de ar forçada (65 °C), até atingir massa constante sendo, então pesados.

Em seguida as partes aéreas (caule + folhas) foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 malhas por polegada e analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UENF. Foram determinados os teores de N orgânico, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Fe, Cu, B, Mo e Ni.

Os teores de N, P e K foram determinados a partir do extrato da digestão sulfúrica. O N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler (JACKSON, 1965). O P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio. O K por emissão em espectrofotômetro. Os demais nutrientes foram determinados pelo extrato da digestão nítricoperclórica. O B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni e Zn, foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O S foi quantificado por turbidimetria, utilizando BaCl_2 e goma arábica (MALAVOLTA et al., 1997).

Os dados coletados foram submetidos à análise estatística descritiva com seus intervalos de confiança por meio do sistema estatístico SAEG (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O caupi apresentou menor número de nódulos nas doses de biossólido de 22 e 44 g L^{-1} enquanto, as demais doses utilizadas não diferiram da dose 0 g L^{-1} e da testemunha com adubação mineral (Figura 1).

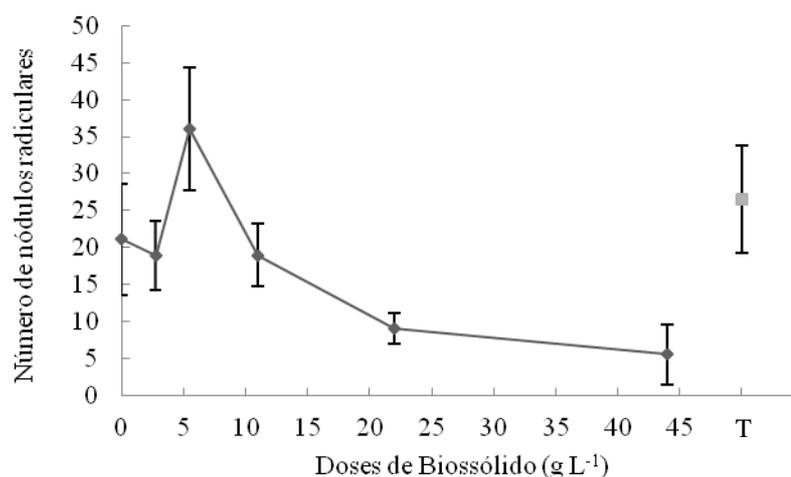


Figura 1 – Número de nódulos radiculares do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

As plantas de feijão-caupi apresentaram decréscimo da matéria seca dos nódulos radiculares nas dosagens de 22 e 44 g L^{-1} de biossólido (Figura 2). A testemunha com adubação mineral apresentou a maior matéria seca, em média 0,12 g de nódulos por planta que foi aproximadamente quatro vezes superior à dose zero, enquanto os demais tratamentos não diferiram desta dose.

O número de nódulos e a matéria seca dos nódulos são indicadores usuais de nodulação (FERREIRA; CASTRO, 1995) e a presença de nódulos menores e em pequena quantidade pode ser um indicativo de condições ambientais adversas (VARGAS et al., 2004). Lobo et al. (2012) constataram que a aplicação de lodo de esgoto estimulou a nodulação em soja, assim como a FBN,

porém acima da dosagem de 17 Mg ha⁻¹ de lodo houve decréscimo. Pelegrin et al. (2009) afirmaram que, com o aumento da dose de N em feijão comum, ocorreu uma diminuição da nodulação (número e matéria seca dos nódulos); isto demonstra que o excesso de N pode inibir a nodulação e acredita-se que devido a isto o tratamento que recebeu a maior dose de lodo compostado apresentou menor número e matéria de nódulos.

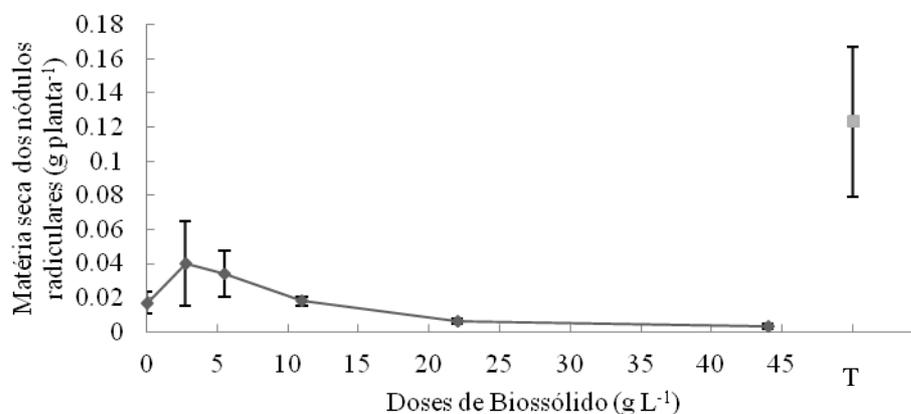


Figura 2 – Matéria seca dos nódulos radiculares do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A produtividade de matéria seca da parte aérea nas doses de 2,75 a 22 g L⁻¹ foi maior que os demais tratamentos, sendo similar ao tratamento com adubação mineral (Figura 3). Pelegrin et al. (2009) ao adubarem o feijão com adubo nitrogenado, observaram que até nas doses mais altas houve um decréscimo na produção de matéria seca. Estes autores afirmam ainda que em geral, as respostas do feijão à adubação nitrogenada têm sido bastante variáveis quanto à produção de matéria seca da parte aérea, sendo observados efeitos positivos (CARVALHO et al., 2001) ou sem efeitos significativos (SORATTO et al., 2006).

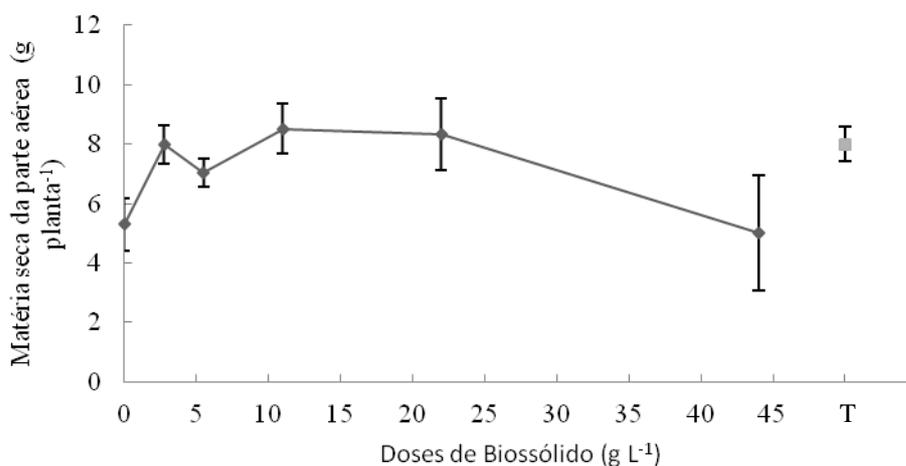


Figura 3 – Matéria seca da parte aérea do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A matéria seca radicular não diferiu em nenhum tratamento da dose 0 g L⁻¹. Observa-se que a adubação mineral foi maior que a dose zero (Figura 4). Segundo Thorburn et al. (2011), há efeitos negativos na produção de biomassa vegetal devido ao N adicionado ao solo, além disso os autores destacam que altas doses podem aumentar o custo de produção e os danos ambientais, promover a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, em virtude de perdas por erosão e lixiviação.

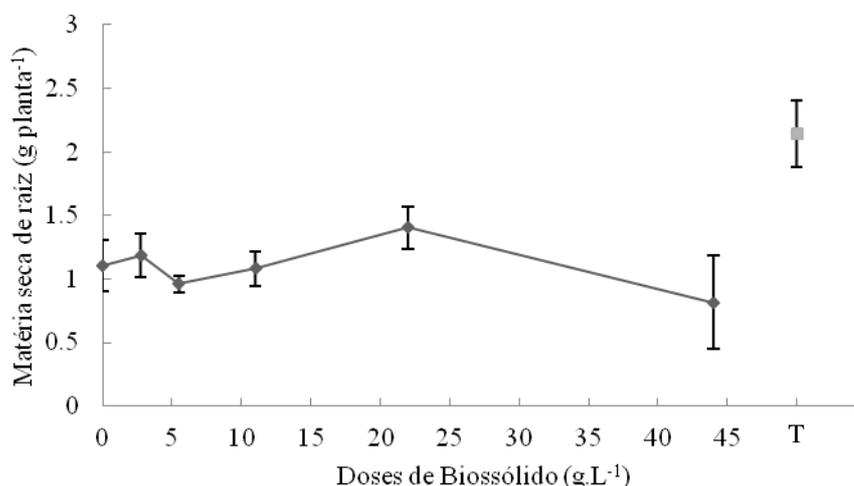


Figura 4 – Matéria seca radicular no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

Observa-se que os tratamentos com as doses de 5,5, 22 e 44 g L⁻¹ apresentaram os maiores valores de teor de N na parte aérea do caupi (Figura 5). Deve-se salientar que para todos os tratamentos, exceto a testemunha com adubação mineral, esses teores ficaram acima do nível crítico de N para a cultura do feijão, que é de 30 a 50 g kg⁻¹, conforme Malavolta et al. (1997). Esses níveis de suficiência de N na parte aérea do feijão têm sido verificados em solos mais férteis ou com populações de rizóbio nativo abundantes e de elevada eficiência simbiótica (SORATTO et al., 2006; FARINELLI et al., 2006). Por outro lado, em solos mais pobres em N e com baixas populações de rizóbios com eficiência simbiótica elevada, o efeito da aplicação de fertilizantes nitrogenados tem proporcionado teores foliares superiores aos verificados nas plantas-testemunha, sem adubação nitrogenada (MERCANTE et al., 2006).

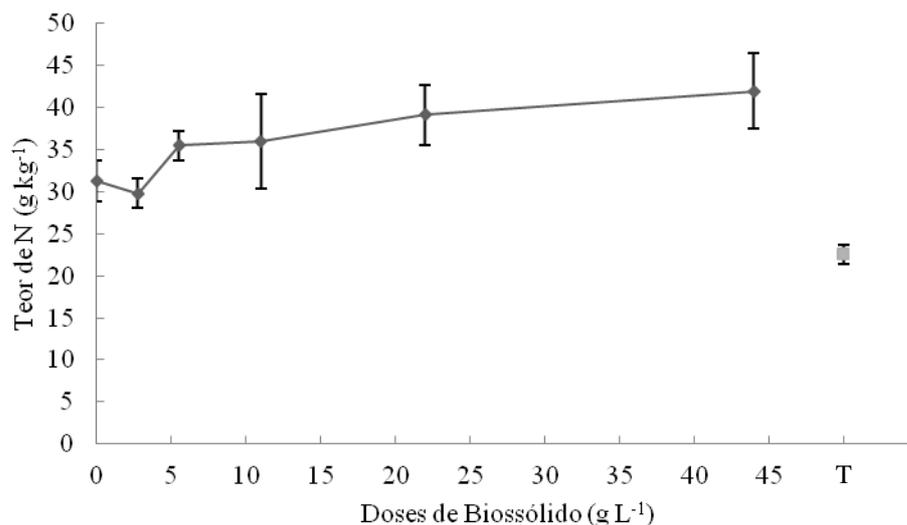


Figura 5 – Teor de nitrogênio (N) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

Os teores de metais pesados nas plantas de feijão-caupi (Figuras 6, 7, 8 e 9) ficaram abaixo dos limites tóxicos (SCHIMIDT, 1997; BERTI e JACOBS, 1996), motivo pelo qual não foram observados sintomas de fitotoxicidade em nenhum dos tratamentos. O ferro (Fe) e o zinco (Zn) foram os elementos com as mais altas concentrações no resíduo (Quadro 2). Apesar do potencial de toxicidade do Zn, o mesmo esteve abaixo do teor considerado fitotóxico (500 mg kg^{-1}) (CHANEY e RYAN, 1993).

Na Figura 6, observa-se que o teor de Zn foi maior na dose de 22 g L^{-1} , não diferindo da maior dose (44 g L^{-1}). Já na Figura 6, observa-se que nenhum tratamento se destacou, apresentando resultados semelhantes à dose 0 g L^{-1} .

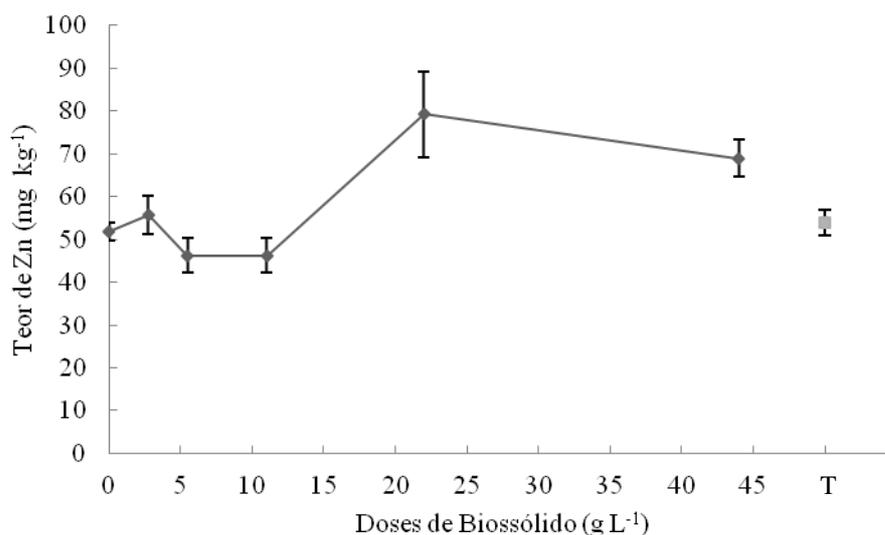


Figura 6 – Teor de zinco (Zn) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

O Fe, apesar de ser o metal em maior concentração no biossólido (Quadro 2), apresentou teores foliares semelhantes ao tratamento que não recebeu nenhuma dosagem de biossólido, indicando encontrar-se no resíduo em formas de baixa disponibilidade, como, por exemplo, óxidos de ferro. Estes resultados, estão em concordância ao encontrado por Nascimento et al. (2004). Segundo Chang et al. (1987), estes resultados podem ser explicados pelo fato de as quantidades de metais absorvidas por plantas cultivadas em solos com adição de lodo de esgoto serem geralmente inferiores a 1 % da quantidade fornecida pelo resíduo.

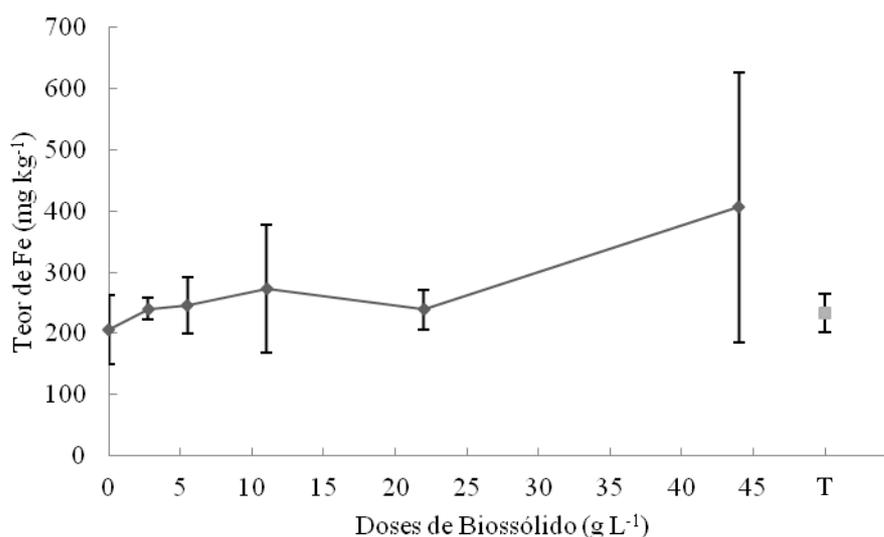


Figura 7 – Teor de ferro (Fe) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

O teor de Cu apresentou maior valor com a dose de 22 g L⁻¹. As concentrações foliares de Cu diminuíram com a maior dose, comprovando a capacidade do biossólido de imobilizar o íon através da possível interação com a matéria orgânica e pela competição com o Ca e Mg (NASCIMENTO et al., 2004).

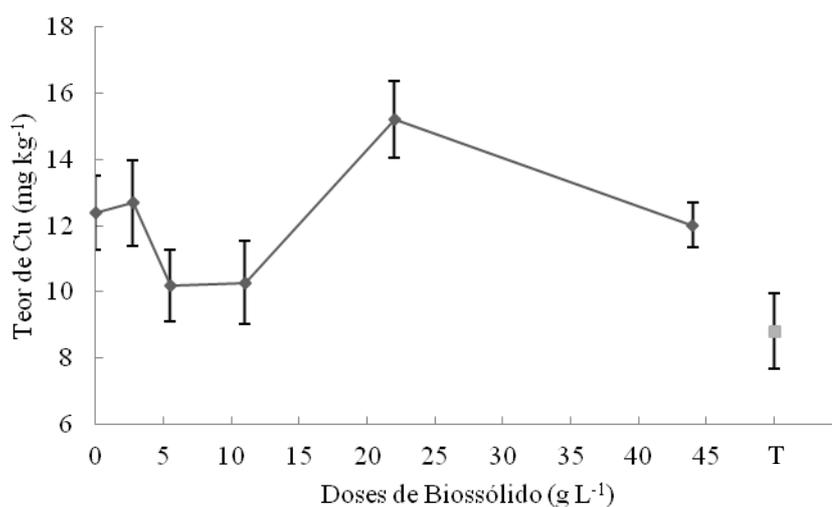


Figura 8 – Teor de cobre (Cu) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A aplicação de lodo de esgoto promoveu aumento do teor de Mg nas plantas de caupi nas doses acima de 5,5 g L⁻¹ (Figura 9). Acredita-se que o aumento na concentração foi devido a melhor disponibilidade com a aplicação do resíduo, lodo de esgoto (RIBEIRINHO et al, 2012). Segundo Melo e Marques (2000), estudos demonstraram que a adição de lodo aumenta a concentração de Mg nas folhas de cana-de-açúcar, milho e sorgo.

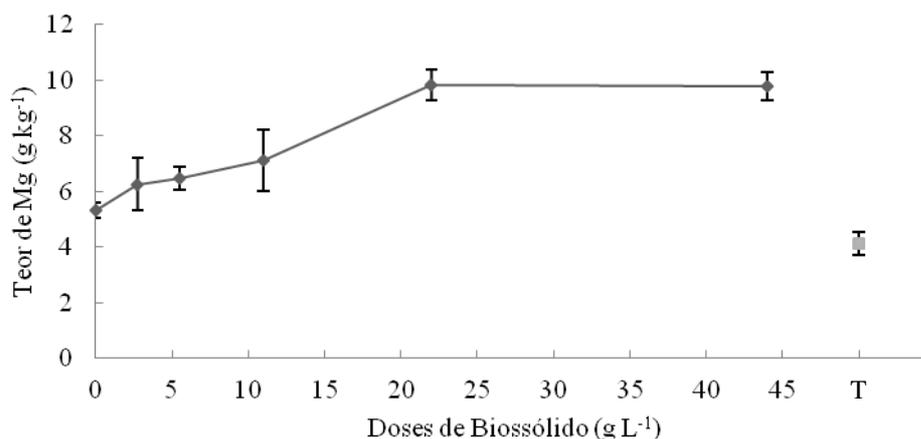


Figura 9 – Teor de Magnésio (Mg) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

Quanto ao P, os teores de todas as doses foram maiores que a dose 0 g L⁻¹, ou seja, o que demonstra o elevado potencial do lodo de esgoto (material orgânico) em fornecer nutrientes às plantas, principalmente N, corroborando com os resultados de Chiba et al. (2009) (Figura 10).

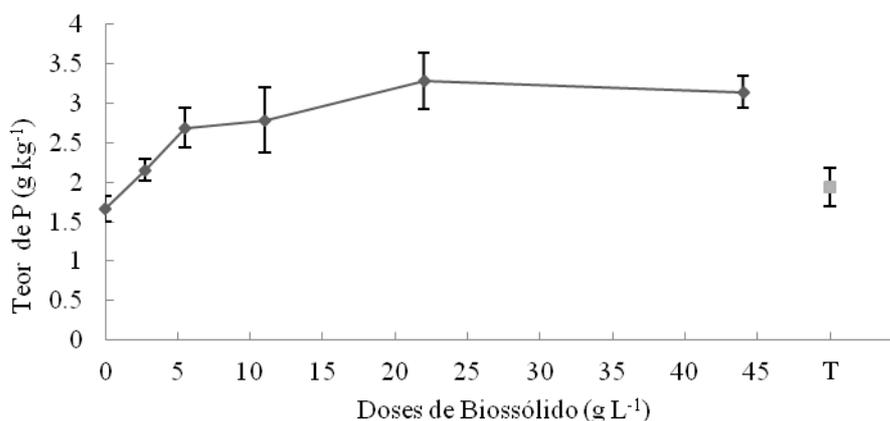


Figura 10 – Teor de Fósforo (P) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

Em relação ao teor de K nas plantas, somente a aplicação de 5,5 g L⁻¹ de biossólido proporcionou maior teor em relação à dose zero e adubação mineral. Enquanto, as demais doses resultaram em teor de K semelhante à dose zero. Por outro lado, a adubação mineral resultou em

decréscimo neste teor foliar. Observa-se que na figura 8, os teores de Mg foram maiores nas doses acima de 5,5 g L⁻¹, isto indica que, possivelmente, ocorreu efeito antagônico entre estes nutrientes, pois competem pelos mesmos sítios de absorção nas raízes (OLIVEIRA et al., 2001).

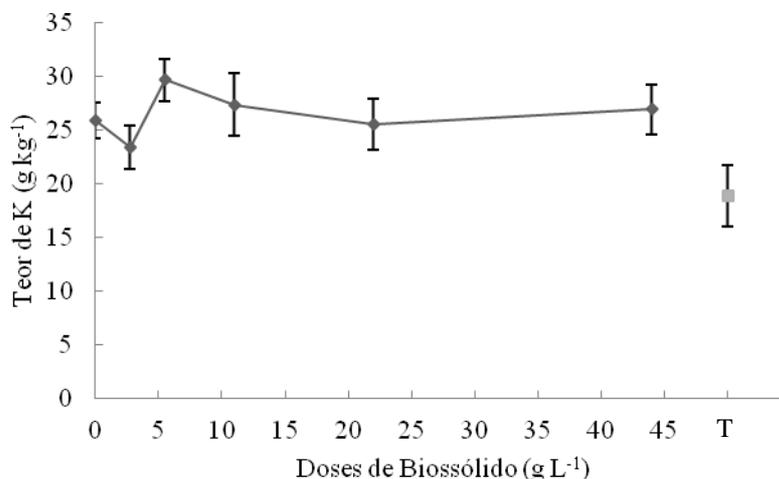


Figura 11 – Teor de Potássio (K) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

A aplicação de biofósforo não promoveu aumento nos teores de níquel (Ni) nas plantas (Figura 12), isto seria um indicativo, de que a dose de biofósforo aplicada não resultou em um aporte desse metal em níveis suficientes para que fosse absorvido pelas plantas e se acumulasse nas folhas e no caule, o que poderia provocar efeitos deletérios no desenvolvimento vegetal, tais resultados encontrados corroboram com Chiba et al. (2009) com aplicação de 8,2 Mg ha⁻¹ de biofósforo.

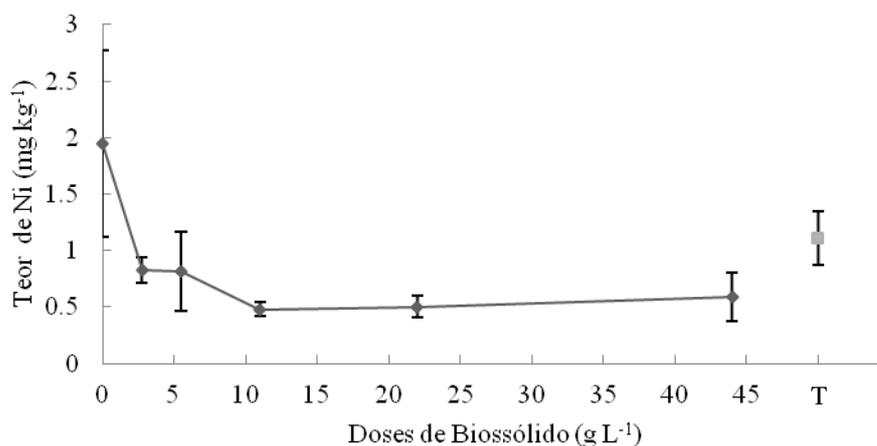


Figura 12 – Teor de Níquel (Ni) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

Em relação à absorção de manganês (Mn), pode-se observar que os teores de todos os tratamentos ficaram abaixo da dose zero e adubação mineral (Figura 13). Tal fato pode ser explicado pela disponibilidade de Mn no solo, que depende principalmente do pH, do potencial de

oxirredução, do teor de matéria orgânica e do equilíbrio com outros cátions. A aplicação de resíduo com pH alcalino e calagem, induz a oxidação do Mn^{2+} a um estado de maior valência e menor solubilidade, pela elevação do pH. A complexação com a matéria orgânica pode também explicar a diminuição na disponibilidade do elemento pela calagem (BORKERT et al., 2001).

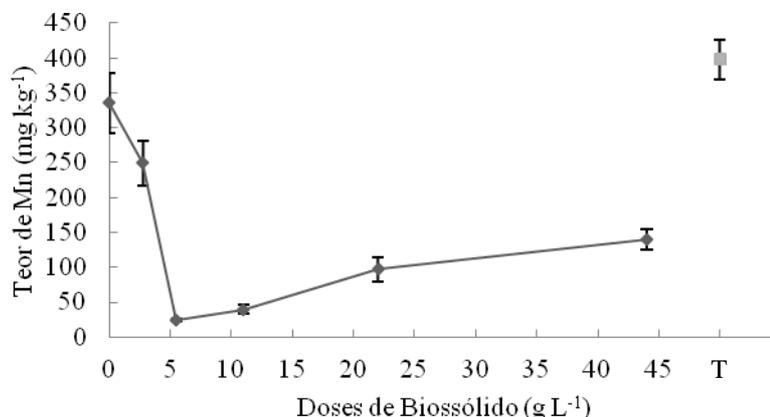


Figura 13 – Teor de manganês (Mn) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

As doses acima de 5,5 g L⁻¹ de biossólido, foram os tratamentos com maiores teores de enxofre comparado à dose 0 g L⁻¹ e à adubação mineral (Figura 14). De acordo com Rheinheimer et al. (2005), solos com baixos teores de MO podem apresentar baixa disponibilidade de S, limitando o desenvolvimento vegetal. Como os solos brasileiros, de maneira geral, possuem baixos teores de MO, a adição de resíduos com alto teor orgânico, como o lodo de esgoto, pode ser importante para o fornecimento de S. A origem do S nos lodos de esgotos é atribuída à decomposição de proteínas das fezes humanas, à presença de surfactantes e ao S resultante da queima de combustíveis fósseis (SÍGOLO; PINHEIRO, 2010).

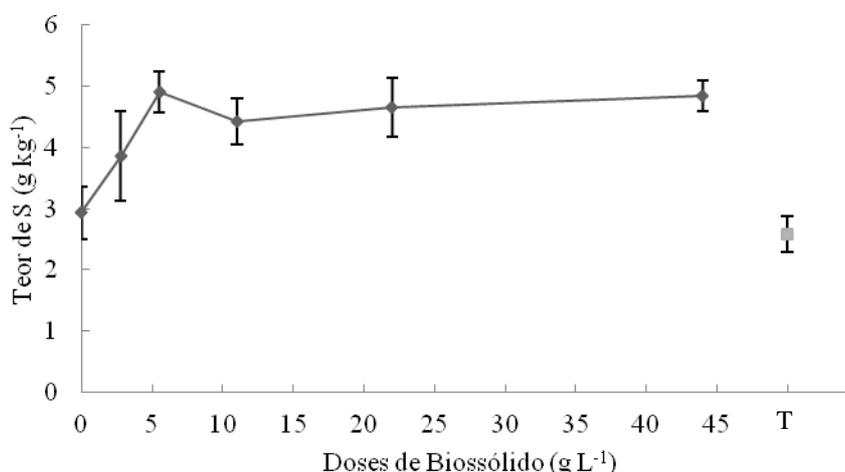


Figura 14 – Teor de enxofre (S) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A aplicação de doses de lodo de esgoto apresentou acréscimo no teor de cálcio nas plantas do feijão-caupi (Figura 15). Este resultado é reflexo não só do Ca fornecido via lodo de esgoto, mas também ao efeito positivo que o resíduo imprime no solo no sentido de aumentar a quantidade de cargas negativas do solo, aumentando a CTC deste e consequentemente, retendo maior quantidade de cátions, neste caso o Ca^{2+} , proporcionando ambiente propício à planta para absorver este nutriente (ROMEIRO et al., 2014).

Oliveira et al. (1995) verificaram aumentos na absorção de Ca, Mg e K por plantas de sorgo com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. O mesmo efeito foi relatado por Simonete et al. (2003) ao trabalharem com milho cultivado em um argissolo tratado com doses crescentes deste material.

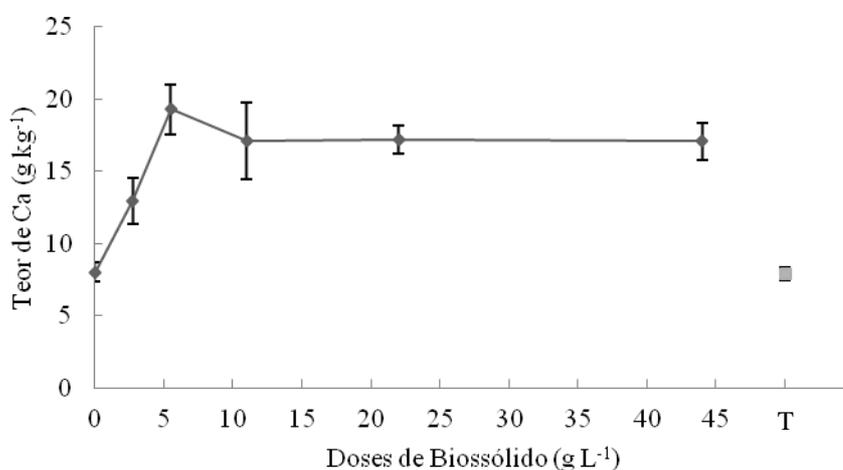


Figura 15 – Teor de cálcio (Ca) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A aplicação de doses de biossólido acima de 5,5 g L⁻¹ resultou em aumento nos teores de molibdênio (Mo). O molibdênio se destaca por ser constituinte estrutural de pelo menos duas enzimas relacionadas ao metabolismo do N, a nitrogenase e a nitrato redutase (Oliveira *et al.*, 1996). Diversos estudos indicam que o fornecimento de Mo ao feijão resulta em plantas com melhor desenvolvimento e maior produção de vagens por planta e de rendimento de grãos (Ferreira et al., 2003; Fernandes *et al.* 2005).

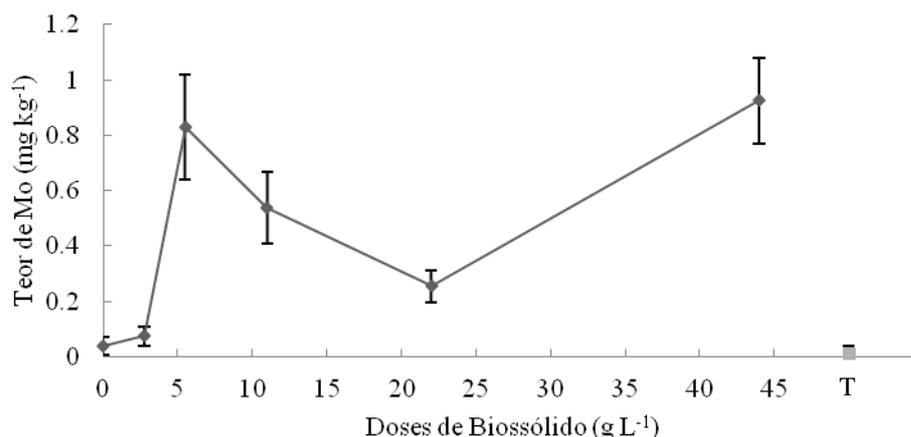


Figura 16 – Teor de molibdênio (Mo) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

A dose de 22 g L⁻¹ de biofósforo reduziu o teor de boro (B) nas plantas de feijão-caupi (Figura 17). Tal resultado pode ser explicado considerando que sua mobilidade é considerada baixa ou muito limitada no floema, e sua concentração é maior nas folhas mais velhas (Malavolta, 2006).

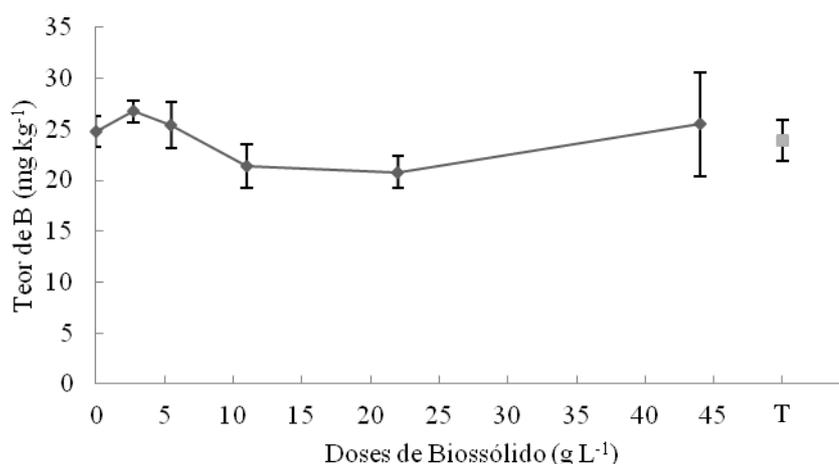


Figura 17 – Teor de boro (B) no feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biofósforo e testemunha com adubação mineral (T)

CONCLUSÃO

Houve acréscimo nos teores foliares de P e Ca em todas as doses. Nas doses acima de 5,5 g L⁻¹ houve acréscimo nos teores foliares de N, Mg, K, S e Mo. Nas doses acima de 22 g L⁻¹ de biofósforo, foram superiores os teores foliares de Zn, Cu e matéria seca da parte aérea. Houve decréscimo nos teores foliares de B, Ni e Mn. Para teores de Fe e matéria seca de raiz não houve diferença comparando com a dose 0.

REFERÊNCIAS

- ADANI, F.; GENEVINI, P.; RICCA, G.; TOMBONE, F.; MONTONERI, E. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application. *Waste Management*, v. 27, n. 03, p.319-324, 2007.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções. 2.ed. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2001.
- BERTI, A.M. e JACOBS, L.W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. *Journal of Environmental Quality*, v.25, p.1025-1032, 1996.
- BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.187-192, 1989.
- BORKERT, C.M. et al. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafós, p. 151-185, 2001.
- CARVALHO, M.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; SANTOS, N.C.B. & BASSAN, D.A.Z. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p.617-624, 2001.
- CHANEY, R.L. e RYAN, J.A. Toxic metals and toxic organics compounds in MSW-composts: research results on phyto-availability, bioavailability, fate, etc. In: HOITINK, H.A. e KEENER, H.M., eds. Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects. *Worthington: Renaissance Publ.*, p.451-506, 1993.
- CHANG, A.C.; HINESLY, T.D.; BATES, T.E.; DONER, H.E.; DOWDY, R.H. & RYAN, J.A. Effects of long-term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A.L.; LOGAN, T.G. e RYAN, J.A. Land application of sludge. *Chelsea, Lewis Publishers*, p.53-66, 1987.
- CHIBA, M.K; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. *Acta Sci.Agron*, 31:495-501, 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 306p. 2006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro*, 1.ed. Rio de Janeiro, CNPS-Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 420p. 2013.
- FARIA, R. V.; TSAI, S.M.; TEIXEIRA, M.A.; Efeito do lodo de esgoto no crescimento e fixação simbiótica do N₂ em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Jaguariúna, 2004.

- FERNANDES, F. A.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. S.; ROMANINI JUNIOR, A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F. Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum*, v. 27, n.1, p.7-15. 2005.
- FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; CARDOSO, A. A.; REZENDE, P. C.; FONTES, P. C. R.; VIEIRA, C. Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. *Acta Scientiarum*, v. 25, n.1, p.65-72, 2003.
- FERREIRA, E. M.; CASTRO, I. V. Nodulation and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) in soils previously treated with sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 27, p. 1177–1183, 1995.
- GUEDES R.E.; RUMJANEK N.G.; XAVIER G.R.; GUERRA J.G.M.; RIBEIRO R.L.D. Consórcios de caupi e milho em cultivo orgânico para produção de grãos e espigas verdes. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.28, p.174-177. 2010.
- JACKSON, C. M. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1965.
- LEITE, J.; SEIDO, S.L.; PASSOS, S.R.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V. Biodiversity of rhizobia associated with cowpea cultivars in soils of the lower half of the São Francisco river valley. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p.1215-1226, 2009.
- LOBO, T.F.; FILHO, H.G.; CARDOSO, E.J.B.N.; ALMEIDA, L. de S.; JUNIOR, N.N. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.33, n.4. 2012.
- MALAVOLTA, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v.1, 638p., 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. *Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato*, Piracicaba, 201p., 1997.
- 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, p.109-141, 2000.
- MERCANTE, F.M.; OTSUBO, A.A.; LAMAS, F.M. Inoculação de *Rhizobium tropici* e aplicação de adubo nitrogenado na cultura do feijoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. Fertbio 2006: A busca das raízes. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. CD-ROM. (Documentos, 82).
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.385-392, 2004.

- OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.
- OLIVEIRA, F. C.; KIEHL, J. de C.; ANDRADE, C.A., TEIXEIRA, C.F.A. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360-367, 1995.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA; L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In.: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O (Eds). *Cultura do feijoeiro comum do Brasil*. Piracicaba: POTAFÓS. p 169-221, 1996.
- PELEGRIN, R. de; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I.M.N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.219-226, 2009.
- RHEINHEIMER, D. S; ALVAREZ, J. W. R; FILHO, B.D.S.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, p.562-569, 2005.
- RIBEIRINHO, V.S.; MELO, W. J. de; SILVA, D. H. da; FIGUEIREDO, L. A.; MELO, G. M. P. de. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 166-173, abr./jun. 2012.
- ROMEIRO, J. C. T.; FILHO, H. G.; MOREIRA, L. L. Q. Absorção de N, P, K, Ca e Mg por laranjeiras 'Pêra' fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 82-93, janeiro-março, 2014.
- ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTAM, C. A.; FRIES, M. R. Lodo de esgoto: Efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, p.257-261, 1991.
- SCHIMIDT, J.P. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, 26:4-10, 1997.
- SÍGOLO, J. B.; PINHEIRO, C. H. R. Lodo de esgoto da ETE Barueri – SP: Proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. *Geologia USP. Série Científica*, v.10, p.39-51, 2010.
- SILVA, M. de F. da; SANTOS, C.E. de R.S.; SOUSA, C.A.; ARAÚJO, R. de S.L.; STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. do V.B.; Nodulação e eficiência da fixação do N₂ em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online], vol.36, n.5, p. 1418-1425, 2012.
- SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. de C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.
- SOARES, A.L.L.; FERREIRA, P.A.A.; PEREIRA, J.P.A.R.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e

diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:803-811, 2006.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.259-265, 2006.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; CARVALHO, A. M.; LOBO-BURLE, M.; HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília, DF: Embrapa, 2004. p. 97-128.

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

ZILLI, J.E.; VALISHESKI, R.R.; FREIRE-FILHO, F.R.; NEVES, M.C.P.; RUMJANEK, N.G. Assessment of cowpea rhizobium diversity in cerrado areas of northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 35, p.281-287, 2004.

EFEITO DE DOSES DE BIOSSÓLIDO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI (*Vigna Unguiculata* L.)

Effect of biosolid doses on the Cowpea (*Vigna Unguiculata* L.) productivity

Artigo redigido conforme normas da Revista Ciência e Agrotecnologia

ABSTRACT

Biosolids is a treated residue from waste Sewage Treatment. The use of this waste is a highly promising for practical developing sustainable agricultural systems. This research was conducted to evaluate the effects of biosolids application on cowpea plants in a greenhouse, in yellow dystrophic Ultisol, in Campos, RJ. The experimental design was randomized blocks consisting of six doses of sewage sludge (0, 2.75, 5.5, 11, 22, 44 g L⁻¹) and a dose of chemical fertilizer, with five replicates. The application of biosolids at rates between 11 and 22 g L⁻¹, caused an average increase of 78% in the amount of dry matter in the shoots of cowpea. Biosolids at doses 2.75, 11 and 44 g L⁻¹ resulted in an increase of 2.2 pods per plant both in relation to dose 0 as mineral fertilizer. As the weight of 1000 seeds doses 2.75, 11 and 22 g L⁻¹ resulted in an average of approximately 50 g more than the zero dose that were similar to chemical fertilizers. Productivity increased by 36.9 and 85.9% compared to 0 dose with doses of 2.75 and 11 g L⁻¹, respectively.

Key words: *Vigna unguiculata*, sewage sludge, sustainability

RESUMO

O bioossólido é um resíduo tratado obtido em Estações de Tratamento de Esgoto. A utilização deste resíduo é uma prática altamente promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Esta pesquisa foi realizada para avaliar os efeitos da aplicação do bioossólido sobre o Caupi, em casa de vegetação, em Argissolo amarelo distrófico, em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados constituído por seis doses de bioossólido (0; 2,75; 5,5; 11; 22; 44 g L⁻¹) e uma dose de adubação química, com cinco repetições. A aplicação do bioossólido nas doses entre 11 e 22 g L⁻¹, promoveu aumento médio de 78 % na quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-caupi. O bioossólido nas doses 2,75; 11 e 44 g L⁻¹ resultou em aumento de 2,2 vagens por planta tanto em relação à dose 0 quanto à adubação

mineral. Quanto ao peso de 1000 sementes as doses 2,75; 11 e 22 g L⁻¹ resultaram, em média, em aproximadamente 50 g a mais que a dose zero e foram semelhantes à adubação mineral. O peso total de sementes aumentou em 36,9 e 85,9 % em relação à dose 0 com as doses de 2,75 e 11 g L⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, lodo de esgoto, sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A cultura do caupi [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] vem crescendo de importância no estado do Rio de Janeiro, onde é exclusivamente cultivada por pequenos agricultores de base familiar. Os principais municípios produtores são Cachoeiras de Macacú e Magé, na Região Litorânea, e São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Cardoso Moreira, localizados na Região Norte (Guedes et al., 2010).

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste, onde concentra a maior produção do país, com 84% da área plantada e 68% da produção nacional e região Norte do país e está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. O feijão-caupi contribui com 10,4 % da produção de feijão total (feijão-caupi + feijão-comum) no país (Brasil, 2014).

Os estudos com lodo de esgoto, subproduto gerado nas estações de tratamento de esgotos urbanos, indicam que ele possui nutrientes tais como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros que são essenciais às plantas, e rico em matéria orgânica, e atua como condicionador do solo, melhorando sua estrutura. Quando tratado e processado, o lodo recebe o nome de biossólido e adquire características que permitem sua utilização agrícola de maneira racional e ambientalmente segura (Barbosa & Tavares Filho, 2006).

De acordo com Nascimento et al. (2004), são evidentes os resultados positivos apresentados por culturas como soja, trigo, milho, feijão e girassol, com a aplicação de lodo de esgoto. Por outro lado, como apresentam composição química muito variada, cada biossólido deve ser avaliado quanto ao seu valor agrônômico e aos potenciais impactos de sua aplicação, para que atenda aos critérios técnicos e de segurança à saúde e ao ambiente, estabelecidos para o uso agrícola deste tipo de resíduo, como relatado na resolução CONAMA N° 375 (Ministério do Meio Ambiente, 2006).

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação dos efeitos da aplicação de doses do biossólido sobre a produtividade do feijão-caupi.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação na Unidade de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (UAp), coordenadas geográficas de 21°45'47'' de latitude Sul e 41°17'12'' de longitude Oeste, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes-RJ. Os tratamentos (T) foram constituídos por seis doses de biossólido e uma dose de adubação mineral. Assim, T1, T2, T3, T4, T5 e T6 receberam 0,00; 2,75; 5,50; 11,00; 22,00 e 44,00 g. L⁻¹ de lodo compostado, respectivamente. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados com cinco repetições.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos com volume interno de 10 L, preenchidos com uma amostra da camada de 0 – 20 cm de um Argissolo Amarelo Distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006) (Quadro 1), contendo duas plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.)(Walp.)).

Quadro 1 – Valores das características químicas de material do solo por ocasião da instalação do experimento (2013), em Campos dos Goytacazes, RJ.

Característica	Valor encontrado	Classificação
pH	4,9	Baixo
P* (mg dm ⁻³)	6	Médio
K* (mg dm ⁻³)	83	Bom
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,2	Baixo
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,3	Bom
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,5	Baixo
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	3,8	Médio
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,04	---
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	2,8	Médio
T (cmol _c dm ⁻³)	6,6	Médio
t (cmol _c dm ⁻³)	3,3	Médio
MO (g dm ⁻³)	25,5	Médio
C (%)	1,48	Médio
m (%)	15	Baixo
V (%)	42	Médio
Fe (mg dm ⁻³)	26	Médio
Cu (mg dm ⁻³)	0,4	Baixo
Zn (mg dm ⁻³)	2,4	Muito bom
Mn (mg dm ⁻³)	7	Médio

* Extrator Carolina do Norte

Foi utilizado o biossólido proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Imperial da cidade de Campos dos Goytacazes/RJ. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Campos dos Goytacazes (Quadro 2).

As análises bacteriológicas de *Salmonella* e Coliformes fecais no biossólido foram feitas de acordo com a norma técnica L5.218 e L5.202, respectivamente (CETESB, 1993) no Laboratório de Sanidade Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro em Campos dos Goytacazes. Já as análises de metais pesados foram realizadas no Laboratório de Ciências Ambientais na mesma universidade.

Quadro 2 – Valores das características químicas do biossólido por ocasião da instalação do experimento (2013), em Campos dos Goytacazes, RJ.

Característica	Valor encontrado
pH	6,5
P₂O₅(g kg⁻¹)	8,36
K₂O (g kg⁻¹)	1,22
Ca (g kg⁻¹)	75,19
Mg (g kg⁻¹)	21,84
S (g kg⁻¹)	23,30
C (g kg⁻¹)	132,0
Fe (mg kg⁻¹)	43648
Cu (mg kg⁻¹)	188
Zn (mg kg⁻¹)	433
Mn (mg kg⁻¹)	266
B (mg kg⁻¹)	33,67
U (%)	35,5

De acordo com o resultado das análises bacteriológicas, o lodo apresentou presença de *Salmonella* e assim foi classificado como impróprio para uso na agricultura, segundo o CONAMA N^o 375/2006. Detectada a presença de *Salmonella*, o lodo foi solarizado com a utilização de coletores solares ou solarizador de acordo com Pedroza et al. (2010), que obtiveram a eliminação de 99,9 % de patógenos com o tratamento térmico e Martins et al. (2003), que com o uso do solarizador obtiveram temperaturas do substrato entre 60 a 80°C.

O solo foi peneirado e em seguida foi feita irrigação para atingir 70% da capacidade de campo. Posteriormente, foi feita a distribuição nos vasos do solo peneirado e o tratamento com adubação mineral, que recebeu 0,92 g de Super Fosfato Simples por vaso, conforme recomendação EMBRAPA (2013) para feijão comum e os demais tratamentos seguiram com as incorporações do composto de lodo nas doses estipuladas.

Depois, foi efetuada a inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, fornecidos pela EMBRAPA Agrobiologia, utilizando a metodologia sugerida por esta empresa. Logo em seguida, foi feita a semeadura do feijão-caupi, cv. Poços de Caldas, com espaçamento de 5 cm entre uma semente e outra, semeando-se 8 sementes por vaso.

Aos 15 dias da semeadura, mantiveram-se duas plantas por vaso, que foram conduzidas até a produção de grãos.

A produção e os componentes de produtividade do feijão-caupi foram avaliados por meio das seguintes variáveis: número de vagens por planta, peso de 1000 sementes, comprimento das vagens, número de sementes por vagem, pesos da matéria seca de raiz, parte aérea e relação peso da parte aérea/peso raiz. Para a determinação da fitomassa, o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada (65 °C), até atingir massa constante.

Os dados coletados foram submetidos à análise descritiva com seus intervalos de confiança calculados utilizando-se o programa computacional estatístico SAEG (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do bio sólido nas doses entre 11 e 22 g L⁻¹, promoveu aumento médio de 78 % na quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-caupi (Figura 1) em relação à dose zero de bio sólido. A produção de matéria seca da parte aérea das plantas, indicativo do efeito nutricional proporcionado pela adição do bio sólido no solo de cultivo, foi influenciada positivamente e o rendimento em matéria seca aumentou com a aplicação do lodo nas doses acima de 11 g L⁻¹ (Figura 1). As maiores doses (11, 22 e 44 g L⁻¹) apresentaram rendimentos de matéria seca superiores à adubação mineral. Logo, com a aplicação de 11 g L⁻¹ observa-se maior peso de matéria seca da parte aérea, comparando-se com as doses mais baixas e a adubação mineral. Além disto, 11 g L⁻¹ não diferiu das doses maiores.

Estes resultados foram condizentes com Barbosa et al. (2007), que observaram maior disponibilidade de nutrientes no solo, proporcionada pela aplicação do lodo de

esgoto, o que levou a maior crescimento de plantas de milho safrinha, com maior produção de matéria seca e, conseqüentemente, aumento na produtividade.

As médias de matéria seca obtidas nas doses entre 11 e 22 g L⁻¹ foram acima das obtidas por Nascimento et al. (2004), que ao cultivar milho e feijão-caupi em vasos em dois diferentes tipos de solos, obtiveram 5,1 e 3,6 g vaso⁻¹ para Espodossolo e Argissolo, respectivamente. Estes autores também afirmam que o ganho de matéria seca com a aplicação de biossólido aumentou, embora abaixo da obtida pela fertilização mineral.

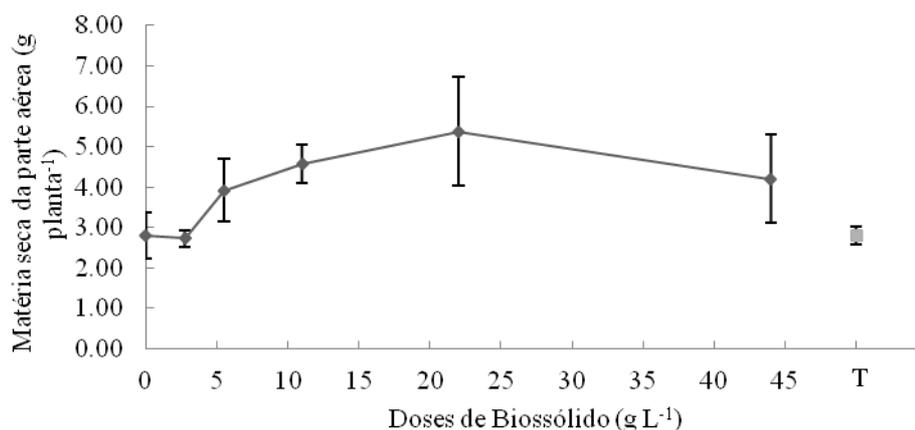


Figura 1 – Matéria seca da parte aérea do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

Em relação à matéria seca de raiz, as doses 5,5 e 11 g L⁻¹ diferiram da dose 0 g L⁻¹, e apresentaram resultado similar à dose 22 g L⁻¹. Foi observado que as doses 5,5, 11 e 22 g L⁻¹ resultaram em peso da matéria seca da raiz semelhante ao obtido pela adubação mineral (Figura 2). Taylor & Arkin (1981) relataram que o crescimento radicular das plantas, em geral, é controlado por fatores genéticos; entretanto, pode ser afetado por fatores físicos e químicos do solo. Segundo Miller (1986), as raízes estão sujeitas à falta ou ao excesso de água, à deficiência de oxigênio, à variação da temperatura, à deficiência ou ao desequilíbrio de nutrientes, além de impedimentos físicos e presença de elementos tóxicos.

As doses mais altas (22 e 44 g L⁻¹) não diferiram da dose 0 g L⁻¹(Figura 2). Tal resultado pode ser explicado pelo fato de o experimento ser instalado sobre um Argissolo, e possivelmente, devido às características químicas, físicas, mineralógicas e de fertilidade deste solo, que afetaram o crescimento das plantas. Os maiores teores de argila, de óxidos e de matéria orgânica presentes neste solo, certamente, permitiram que alguns nutrientes fossem adsorvidos, diminuindo a disponibilidade e os riscos de toxidez desses elementos para as plantas, quando comparadas com as crescidas em um Latossolo (Oliveira et al., 2005).

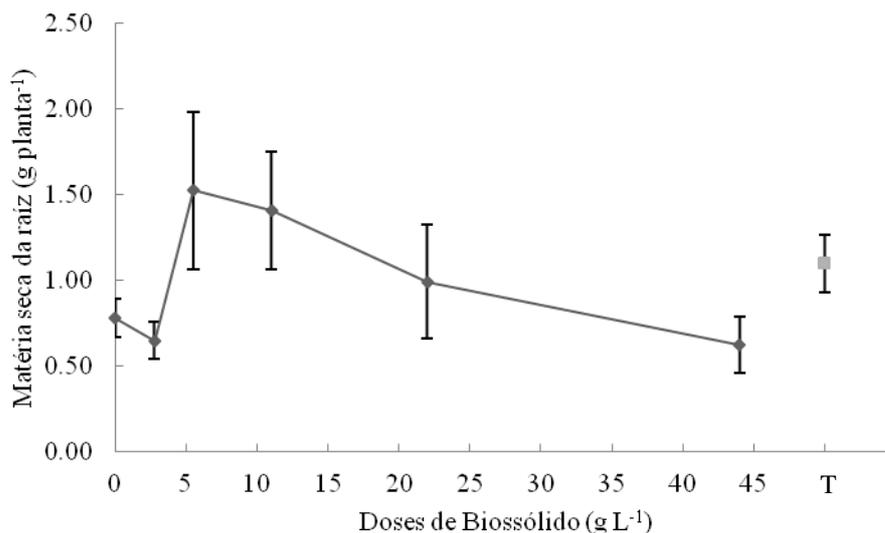


Figura 2 – Matéria seca da raiz do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

A relação parte aérea/raiz apresentou maior razão na dose de 44 g L⁻¹ em comparação ao tratamento que não recebeu o resíduo e ao tratamento com adubação mineral. Isto indica que esta maior dose de biossólido afetou negativamente mais o sistema radicular (Figura 2) que a parte aérea (Figura 3).

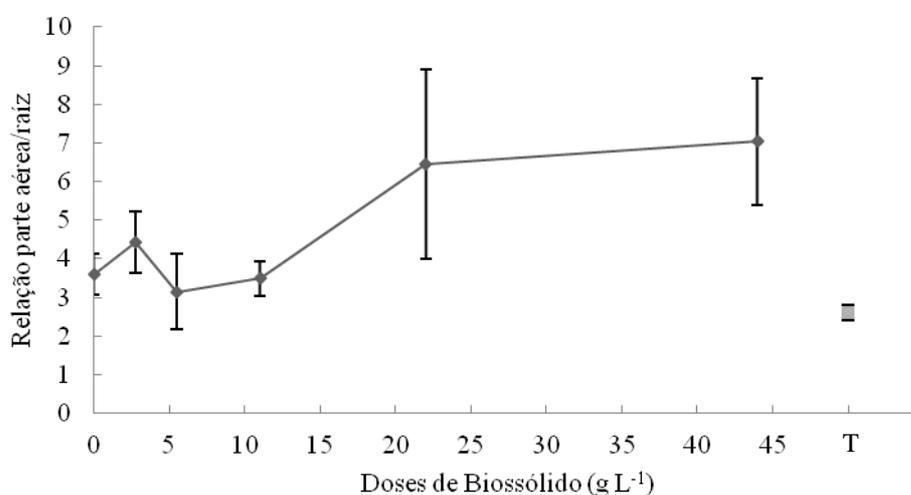


Figura 3 – Relação parte aérea/raiz do feijão-caupi em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

O biossólido nas doses 2,75, 11 e 44 g L⁻¹ resultou em aumento de 2,2 vagens por planta tanto em relação à dose 0 quanto à adubação mineral (Figura 4 A). No entanto, na maior dose de biossólido (44 g L⁻¹) houve decréscimo de 2,5 sementes por vagem e em relação à dose zero e à adubação mineral (Figura 4 B).

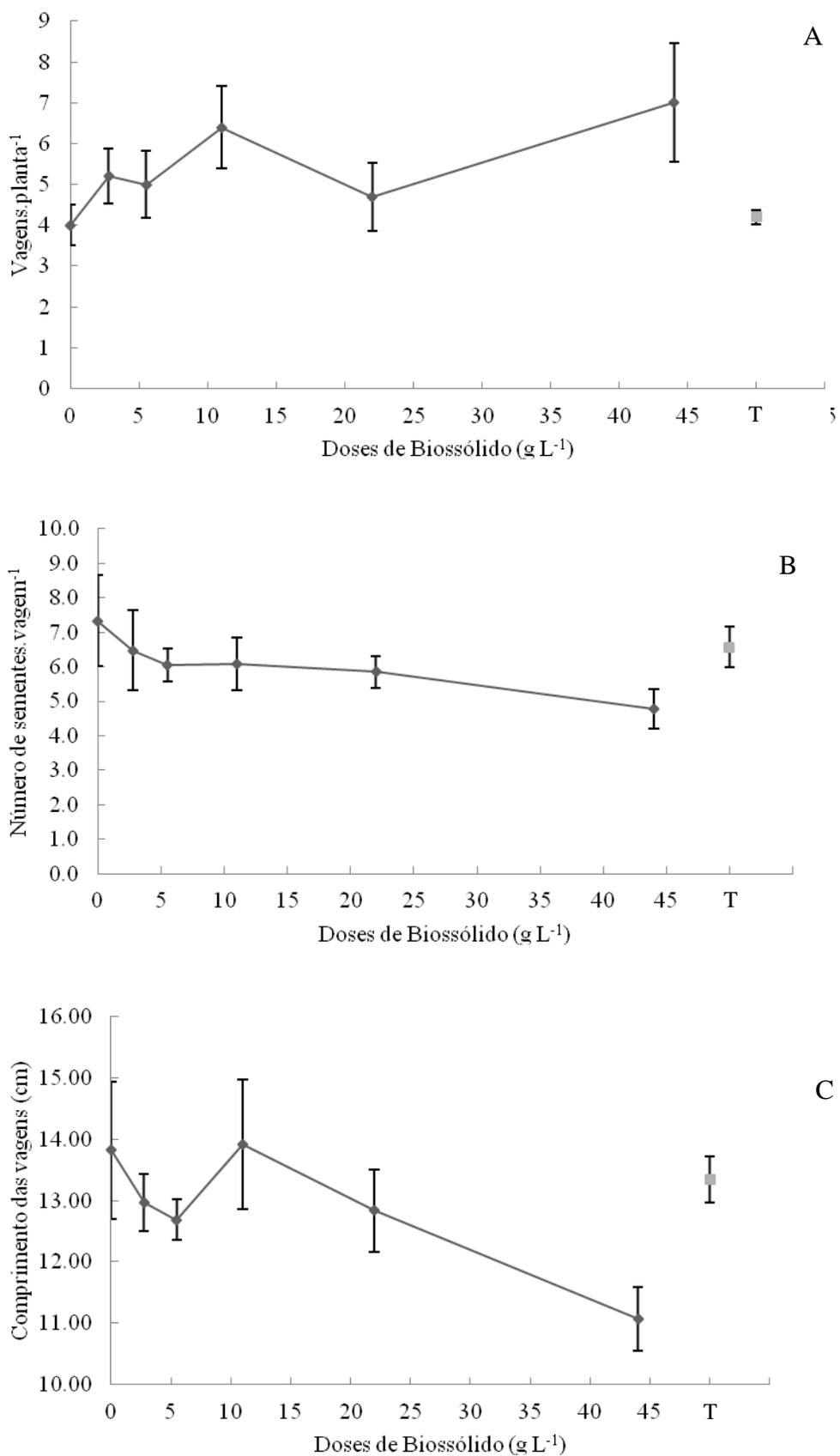


Figura 4 – Vagens por planta (A), número de sementes por vagens (B) e comprimento das vagens (C) em resposta a diferentes doses de biofertilizante e testemunha com adubação mineral (T)

Ao se levar em consideração outros componentes, como o rendimento de matéria seca da parte aérea, verifica-se na dose 11 g L⁻¹ que também houve destaque (Figura 1) e, segundo Lobo et al. (2012) afirmam que há correlação positiva entre a produção de matéria seca com a produção final de grãos; é, portanto, possível pressumir que as plantas mais produtivas em um desses atributos, também o será no outro.

O comprimento das vagens (Figura 4 C) decresceu aproximadamente 20 % na maior dose de bio sólido (44 g L⁻¹). Assim, esta dose resultou em vagens menores e com menor número de sementes (Figura 4B). Isto indica algum efeito tóxico do bio sólido nesta dose maior, assim como também já verificado sobre a relação parte aérea/raiz que ficou aumentada (Figura 3).

Quanto ao peso de 1000 sementes as doses 2,75, 11 e 22 g L⁻¹ resultaram, em média, 50 g a mais que a dose zero e foram semelhantes à adubação mineral (Figura 5 A).

O peso total de semente aumentou em 36,9 e 85,9 % em relação à dose 0 com as doses de 2,75 e 11 g L⁻¹, respectivamente, apesar da 11 g L⁻¹ não diferir das doses 22 e 44 g L⁻¹ (Figura 5B).

A adubação mineral resultou em acréscimo 22,6% em relação à dose zero de bio sólido. Já as doses 2,75 e 11 g L⁻¹ tiveram rendimento de grãos 11,7 e 51,7 % maior que a testemunha com adubação mineral (Figura 5 B).

Os aumentos de peso total de sementes por planta, causados pela dose de 11 g L⁻¹, certamente, estão relacionados pelos aumentos no peso da matéria seca da raiz (Figura 2) e número de vagens por planta (Figura 4 A). Gadioli & Neto (2004) ao avaliarem, em condições de campo, o rendimento do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) adubados com doses crescentes de lodo de esgoto (0; 2,5; 5 e 10 Mg ha⁻¹) obtiveram aumentos do rendimento de grãos à medida que foram maiores as doses de lodo no solo.

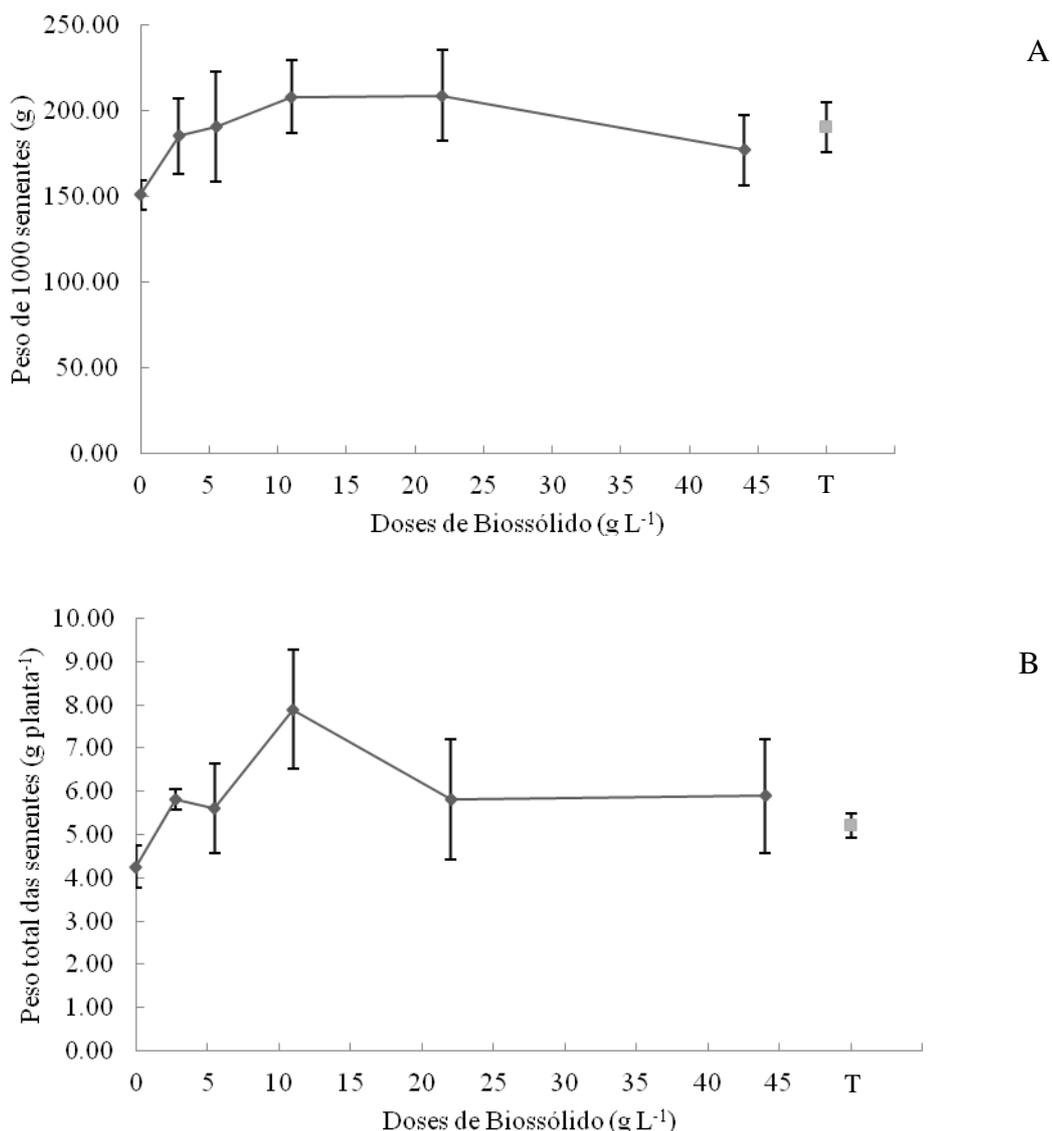


Figura 5 – Peso de 1000 sementes (A) e peso total das sementes (B) em resposta a diferentes doses de biossólido e testemunha com adubação mineral (T)

CONCLUSÃO

A dose de 11g L⁻¹ de biossólido resultou em maior peso total de sementes de feijão-caupi, assim como maiores pesos da matéria seca da parte aérea e da raiz, número de vagens por planta e peso de 1000 sementes.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do biossólido: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 04, p. 565-580, 2006.

- Barbosa, G.M.C.; Tavares Filho, J.; Brito, O.R.; Fonseca, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.601-605, 2007.
- BRASIL, IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. [Acessado em 15 de abril de 2014].
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação** – Manual Técnico, P4.230, 32p. 1993. Mimeografado.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306p., 2006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**, 1.ed. Rio de Janeiro, CNPS-Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 420p., 2013.
- GADIOLI, J.L., NETO, P.F. Rendimento de milho e de feijão preto cultivado em solo acrescido de lodo de esgoto. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, Paraná, v.21, n. 21, 2004.
- GUEDES R.E.; RUMJANEK N.G.; XAVIER G.R.; GUERRA J.G.M.; RIBEIRO R.L.D. Consórcios de caupi e milho em cultivo orgânico para produção de grãos e espigas verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, p.174-177, 2010.
- LOBO, T.F.; FILHO, H.G.; CARDOSO, E.J.B.N.; ALMEIDA, L. de S.; JUNIOR, N.N. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.4, 2012.
- MARTINS, M.V.V., SILVEIRA, S.F., CARVALHO, A.J.C. de, SOUZA, E.F. de. Erradicação de escleródios de *Sclerotium rolfsii* em substratos tratados em coletores solares, em Campos dos Goytacazes-RJ. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 421-424, dezembro, 2003.
- MILLER, D.E. Root systems in relation to stress tolerance. **HortScience**, Califórnia, v.21, p.963-970, 1986.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no375/2006, de 29/8/2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>. [Acessado em 29 setembro de 2011].

- NASCIMENTO, C.W.A., BARROS, D.A.S., MELO, E.E.C., OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijão após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.385-392, 2004.
- OLIVEIRA, C. de, SOBRINHO, N.M.B do A., MARQUES, V. dos S., MAZUR, V. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.109-116, 2005.
- PEDROZA, M.M., VIEIRA, G.E.G., SOUSA, J.F. de., PICKLER, A. de C., LEAL, E.R.M., MILHOMEN, C. da C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.11, n.16, p.89-188, 2010.
- TAYLOR, D.; ARKIN, G.F. Root zone modification fundamentals alternatives. In: TAYLOR, H.M.; ARKIN, G.F. (Ed.). *Modifying the root environment to reduce crop stress*. St. Joseph: ASAE, p.3-16, 1981.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

A utilização do bio sólido é uma prática altamente promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Esta pesquisa foi realizada para avaliar os efeitos da aplicação do bio sólido sobre o caupi, em casa de vegetação, em Argissolo amarelo distrófico, em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados constituído por seis doses de bio sólido (0; 2,75; 5,5; 11; 22; 44 g L⁻¹) e uma dose de adubação química, com cinco repetições. No primeiro experimento, as plantas foram colhidas e analisadas quando atingiram 50 % de florescimento. Houve acréscimo nos teores foliares de P e Ca em todas as doses. Nas doses acima de 5,5 g L⁻¹ houve aumento nos teores foliares de N, Mg, K, S e Mo. Nas doses acima de 22 g L⁻¹ de bio sólido, apresentaram superior para teores foliares de Zn, Cu, número de nódulos e matéria seca da parte aérea. Houve decréscimo nos teores foliares de B, Ni e Mn. Para teores de Fe e matéria seca de raiz não houve diferença comparando com a dose 0. Já no segundo experimento as plantas foram conduzidas até o final do ciclo fenológico. As doses de bio sólido entre 11 e 22 g L⁻¹, promoveram aumento médio de 78 % na quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-caupi. O bio sólido nas doses 2,75, 11 e 44 g L⁻¹ resultou em aumento de 2,2 vagens por planta tanto em relação à dose 0 quanto à adubação mineral. Quanto ao peso de 1000 sementes as doses 2,75, 11 e 22 g L⁻¹ resultaram, em média, em aproximadamente 50 g a mais que a dose zero e foram semelhantes à adubação mineral. A produtividade aumentou em 36,9 e 85,9 % em relação à dose 0 com as doses de 2,75 e 11 g L⁻¹, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Junior, A.S., Santos, A.A. dos, Sobrinho, A.C., Bastos, E.A., Melo, F. de B., Viana, F.M.P., Freire Filho, F.R., Carneiro, J. da S., Rocha, M. de M., Cardoso. M.J., Silva, P.H.S. da, Ribeiro, V.Q. (2002) Cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Terezina - PI: Embrapa meio Norte, Boletim técnico 110 p.
- Albiach, R.; Canet, R.; Pomares, F.; Ingelmo, F. (2001) Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 109-114.
- Angle, J. S.; Madariaga, G. M.; Heger, E. A. (1992) Sewage sludge effects on growth and nitrogen fixation of soybean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 41, p. 231-239.
- Barros, I.T; Andreoli, C.V; Souza Junior, I.G.de; Costa, A.C.S. da. Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.6, p.630–638, 2011.
- Bastos, R.K.X; Mara, D.D. Avaliação de Critérios e Padrões de Qualidade Microbiológica de Esgotos Sanitários Tendo em Vista sua Utilização na Agricultura. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Rio de Janeiro, 19 a 23/09/93.
- Berton, R.S.; Camargo, O.A.; Valadares, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n.1 3, p.187-192, 1989.
- Berton, R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, cap. 16, p.259-268.

- Bettiol, W.; Camargo, O. A. Lodo de esgoto na agricultura: potencial de uso e problemas. Instituto de Educação Tecnológica, 2003. <http://www.ietec.com.br>. 22 Set 2011.
- Bettiol, W.; Camargo, O.A. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349p.
- Camargo, O.A.; Alleoni, L.R.F.; Casagrande, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.89-124.
- Campos, F. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. *Ciência Rural*, v.41, p.796-803, 2011.
- Capizzi-Banas, S.; Schwartzbrod, J. (2001) Irradiation of *Ascaris ova* in sludge using an electron beam accelerator. *Water Research*, Amsterdam, v.35, n.9, p.2256-2260.
- Castilhos, D.D.; Guadagnin, C.A.; Silva, M.D. Da; Leitzke, V.W.; Ferreira, L.H.; Nunes, M.C. (2001) Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.7, p.121-124.
- Castiñeiras, T. M. P. P.; Martins, F. S. V. Infecções por helmintos e enteroprotzoários. Centro de Informação em Saúde para Viajantes – CIVES. <http://www.cives.ufrj.br/informes/helmintos/>. 26 setembro de 2011.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação – Manual Técnico, P-4.230, 1999. 32p. Mimeo.
- Chagas, W.F. Estudo 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. Rio de Janeiro, 2000. 89p. Dissertação (mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz.
- Chaney, R.L. Public health and sludge utilization. *Biocycle*, v.30, p.68-73, 1990.
- Chiba, M.K. (2005) Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 142f.
- CONAM/DF – Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal. Resolução no 03/2006, de 18/7/2006. *Diário Oficial do Distrito Federal* no 138, de 20/7/2006, p.10.

- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no375/2006, de 29/8/2006. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>. 29 Set. 2011.
- Crompton, D.W.T. How much human helminthiasis is there in the world? *Journal of Parasitology, Lawrence*, v.85, p.379-403, 1999.
- Currie, V.C.; Angle, J.S.; Hill, R.L. (2003) Biosolids application to soybeans and effects on input and output of nitrogen. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.97, p.345-351.
- Da Ros, C.O.; Aita, C.; Ceretta, C.A. e Fries, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:257-261, 1993.
- Dynia, J.F.; Boeira, R.C; Souza, M.D. de. Nitrato no perfil de um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho sob aplicações seqüenciais de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). *Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. cap. 5, p.79-90.
- Ehlers, J.D., Hall, A.E. Cowpea *Vigna unguiculata* L. Walp. (1997) *Field Crops Research*, 53 (1-3):187-20.
- Epstein, E. (2003) *Land application of sewage sludge and biosolids*. 1.ed. London, New York, Washington: Lewis Publishers. 220p.
- Fernandes, F.; Coelho, L.O.; Nunes, C.W; Silva, S.M.C.P. Aperfeiçoamento da Tecnologia de Compostagem e Controle de Patógenos. *SANARE: Revista Técnica da SANEPAR*. V.5, n.5. 1996.
- Ferreira, T.L. Utilização de lodo de esgoto na Implantação de cafezal em latossolo Vermelho distrófico. Piracicaba, 2005. 89p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônômico de Campinas – IAC.
- Ferreira, E. M.; Castro, I. V. (1995) Nodulation and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) in soils previously treated with sewage sludge. *Soil Biol. Biochem.* v. 27, p. 1171-1183.
- Fonseca, M. R.; Fernandes, A. R.; Silva, G. R.; Brasil, E. C. (2010) Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 53, n. 2, p. 195-205.
- Fortes, N.L.P.; Fortes Neto, J.C.; Silva, J.C., (2000) A indução da supressividade à *Rhizoctonia solani* em solos tratados com diferentes fontes de matéria orgânica. *Summa Phytopathologica*, v.26, n.1, p.140.
- Freire, F.M., Ribeiro, V.Q., Rocha, M. de M., Silva, K.J.D e, Nogueira, M do S. da R., Rodrigues, E.V. (2011) *Feijão-Caupi no Brasil Produção, melhoramento genético, avanços e desafios*, 1 ed. Teresina: Embrapa Meio Norte, 29-92p.

- Freire Filho, F.R., Ribeiro, V.Q., Barreto, P.D., Santos, A.A (2005) Melhoramento Genético. In: Freire Filho, F.R., Lima, J.A.A., Ribeiro, V.Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 29-92p.
- Fresquez, P.R.; Frangis, R.E.; Dennis, G.L. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.19, n.2, p.324-329, 1990.
- Gadioli, J.L., Neto, P.F. (2004) Rendimento de milho e de feijão preto cultivado em solo acrescido de lodo de esgoto. *Sanare - Revista Técnica da Sanepar*, v.21, n. 21.
- Galdos, M.V.; De Maria, I.C.; Camargo, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577, 2004.
- Guedes, M.C. Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, 2005. 168p. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Guedes, R.E. (2008) Bases para o Cultivo Orgânico de Feijão-Caupi [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] no Estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Seropédica - RJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 93p.
- Gonçalves, A.C; Schwantes, D; Coelho, G.F; Nacke, H; Strey, L; Montovani, P.A.B. Efeito da aplicação de biossólido na disponibilidade de nutrientes e metais pesados no milho. *Revista de estudos ambientais (Online)*, v.14, n.3, p.77-87, 2012.
- Hue, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science* , v.152, p.463-471, 1991.
- Joost, R.E.; Olsen, P.J.; Jones, J.H. Revegetation and Minesoil Development of Coal Refuse Amended with Sewage Sludge and Limestone. *Journal Environmental Quality* , v.16, n.1, 1987. p.65-68.
- King, L.D.; Morris, H.D. Land disposal of liquid sewage sludge: II. the effect on soil pH, manganese, zinc, and growth and chemical composition of rye (*Secale cereale* L.). *Journal Environmental Quality*, Madison, v.1, n.4, p.425-429, 1972.
- Kinkle, B. K.; Angle, J. S.; Keyser, H. H. (1987) Long-term effects of metal -rich Appl. Environ. Microbiol., v. 53, p. 315-319.
- Labrecque, M.; Teodorescu, T.I.; Daicle, S. Effect wasterwater sludge on grwnth and heavy metal bioaccumulation os two *Salix* species. *Plant and Soil*, v.17, n.1/2, p.303-316, 1995.

- Lemainski, J., Silva, J. E. da. (2006) Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.10, p.1477-1484, out.
- Logan, T. J.; Lindsay, B. J.; Goins, L. E.; Ryan, L. A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 26, p. 534-550, 1997.
- Lopes, J. C.; Ribeiro, L. G.; Araújo, M. G.; Beraldo, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, 2005.
- Lourenço, R.S.; Anjos, A.R. dos; Libardi, P.L. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de Bracatinga (*mimosa scabrella* benth.). Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 38, p. 39-65, 1999.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto no 4.954, de 14/1/2004. <http://www.planalto.gov.br>. 18/10/2011.
- Mcgrath, S. P.; Chang, A. C.; Page, A. L.; Witter, E. (1994) Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. Environmental Reviews, v. 2, p. 108-118.
- Marques, M.O. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990. 168p. (Tese de Doutorado).
- Marques, M.O. Incorporação de “resíduo orgânico” em solo cultivado com cana-de-açúcar. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1996. 111p. (Tese de Livre Docência).
- Melo, W. J.; Marques, M. O. (2000). 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, p.109-141.
- Melo, W. J.; Marques, M. O.; Melo, V. P. (2001) O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. Biossólidos na Agricultura. São Paulo: Sabesp, p. 289-359.
- Metcalf Eddy. (1991) Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse. 3.ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc. International Edition, Civil Engineering Series, 1334p.
- Miki, M. J.; Andrigueti, E. J.; Sobrinho, P. A. (2001) Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgoto. In: TSUTIYA, M. T. et al. Biossólidos na Agricultura. São Paulo: SABESP, p. 41-87
- Nogueira, T.A.R; Sampaio, R.A; Fonseca, I.M.; Ferreira, C.S; Santos, S.E; Ferreira, L.C; Gomes, E; Fernandes, I.A. Metais pesados e patógenos em

- milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande v.11, n.3, p.331–338, 2008.
- Oliveira, F.C. (2000) Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. 247 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Oliveira, F.C. Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto. Piracicaba, 1995. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Oliveira, F.C.; Mattiazzi, M.E.; Marciano, C.R.; Rossetto, R. (2002) Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.505-519.
- Paixão Filho, J. L. da. Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira. Piracicaba, 2012. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.
- Pedroza, J.P., Haandel, A.C.V., Beltrão, N.E. de M., Dionísio, J.A. (2003) Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.483-488.
- Roque, O.C.C. Sistemas Alternativas de Tratamento de Esgotos Aplicáveis as Condições Brasileiras – Tese de Doutorado em Saúde Pública, FIOCRUZ – Rio de Janeiro, 1997. 153 p.
- Santos Filho, A.S.; Tourinho, L.C.N. .Caracterizações analíticas de lodo e interpretação para fins agrícolas e florestais. I - Propriedades físicas e químicas. *Floresta*, Curitiba, v.12, n.1, p.44-48, jun. 1981a.
- Santos Filho, A.S.; Tourinho, L.C.N. Caracterizações analíticas de lodo e interpretação para fins agrícolas e florestais. II - Composição química total. *Floresta*, Curitiba, v.12, n.2, p.28-35, dez. 1981b.
- Schoenmaker, I. A.; Ghini, R. Associação da solarização do solo e fontes de matéria orgânica para o controle de *Pythium* spp. em pepino. *Fitopatologia Brasileira*, v.25, p.375-376, 2000.
- Selivanovskaya, S. Y.; Latypova, V.Z.; Kiyamova, S.N.; Alimova, F.K. (2001) Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 86, p. 145-153.
- Sellschop J.P.F. (1962) Cowpeas: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Field Crop Abstracts*, Slough, 15 (4): 259-266.

- Silva, F.C. Uso agronômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1995. 159p. Tese doutorado.
- Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Sharma, R.D. (2002a) Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.487-495.
- Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Sharma, R.D. (2002b) Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II. Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.497-503.
- Silva, F.C.; Boaretto, A.E.; Berton, R.S.; Zotelli, H.B.; Pexe, C.A.; Mendonça E. (1998) Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.1, p.1-8.
- Silva, R. P.; Santos, C. E.; Lira Júnior, M. A.; Stamford, N. P. (2008) Efetividade de estirpes selecionadas para feijão caupi em solo da região semi-árida do sertão da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 2, p. 105-110.
- Socol, V. T.; Paulino, R. C.; Castro, E. A.; Tracz, J. (1997) Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. *Sanare, Revista Técnica da SANEPAR*, Curitiba, v.8, n.8, p.24-32.
- Sousa, J.T. et al. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do Semi-Árido Nordeste. *Engenharia Sanitária Ambiental*, Rio de Janeiro, v.10, p.260-265, 2005.
- Souza, C.A. de, Reis Jr, F.B. dos., Mendes, I. de C., Lemainski, J., Silva, J.E. (2009) Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.44, n.10, p.1319-1327.
- Sui, Y; Thompson, M.L.; Shang, C. Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.63, p.1174-1180, 1999.
- Tasso Jr., L.C., Marques, M.O., Franco, A., Nogueira, G. de A., Nobile, F.O de., Camilotti, F., Silva, A. R da. (2007) Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.276-283.
- Trannin, I. C de B., Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S. (2008) Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.223–230.
- Trazzi, P.A.; Caldeira, M.V.W.; Colombi, R.; Gonçalves, E.O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 621 - 630, 2012.

- Tsutiya, M. T. (2001) Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTYA, M. T. et al. Biossólidos na Agricultura. São Paulo: Sabesp, p. 89-131.
- Tyler, L.D.; McBride, M.B. Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel and Zinc in organic mineral soils columns. *Soil Science*, v.134, p.198- 205, 1989.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency (1999). A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93-005, 1999. 195p. Mimeografado.
- Valadares, R. de N., Moura, M. da C.C.L., Silva, A.F.A. da, Silva, L.S. da Vasconcelos, M. da C. da C. de A., Silva, R.G. (2010) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de porte ereto/semi-ereto nas Mesorregiões Leste e Sul maranhense ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, 6 (2): 21-27.
- Vieira, R. F. (2001) Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. *Biology Fertility of Soils*, v. 34, p. 196-200.
- Vieira, R.F.; Tanaka, R.T.; Tsai, S.M.; Pérez, D.V.; Silva, C.M.M. de S. (2005) Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.919-926.
- Vilarinho, A.A., Rocha, M. de M., Freire Filho, F.R., Silva, G.C. (2012) BRS ITAIM – Cultivar de Feijão-caupi com Grãos Tipo Fradinho. Embrapa Roraima. Boa Vista, RR, Comunicado Técnico 58, 5p.
- Vigue, G. T.; Pepper, I. L.; Bezdicek, D. F. (1981) The effects of cadmium on nodulation and nitrogen fixation by dry beans. *J. Environ. Qual.*, v. 10, p. 87-90.
- Wang, M. (1997) Land application of sewage sludge in China. *The Science of the Total Environment*, v.197, p. 149-160.