

CRESCIMENTO INICIAL E FERTILIDADE DO SOLO EM UM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS GRANDIS* FERTILIZADO COM BISSÓLIDO

Luciano Mendes S. Vaz*

José Leonardo de M. Gonçalves**

RESUMO — *O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de bio sólido (5, 10, 15, 20 e 40 t ha⁻¹) em um povoamento de Eucalyptus grandis. O experimento foi instalado na Estação Experimental de Itatinga-ESALQ/USP, Itatinga, SP. Seis meses pós-aplicação do bio sólido, para todos os tratamentos foi observada elevação dos teores de K, Ca e S, e redução das concentrações de Al, Fe e Mn, dependendo da dose de bio sólido aplicada. Treze meses pós-aplicação do bio sólido, foram constatadas elevações do pH e elevação dos teores de P, Ca, K e S na camada 0-5 cm do solo, abaixo desta só os teores de S elevaram-se. Aos vinte e quatro meses de idade do eucalipto, a dose de 10 t ha⁻¹ de bio sólido, com ou sem suplementação de K, resultou num crescimento semelhante ao obtido com a fertilização mineral.*

PALAVRAS-CHAVE: *Resíduos Orgânicos; Bio sólido; Fertilidade do solo, Eucalyptus grandis.*

ABSTRACT — *In order to evaluate the effect of growing rates of biosolids (0, 5, 10, 15, 20 and 40 t ha⁻¹, dry base) on a population of Eucalyptus grandis a trial was established in the Experimental Station of Itatinga of ESALQ/USP, Itatinga, São Paulo. Six months after application of the biosolid, an increase of K, Ca and S, and a reduction of Al, Fe e Mn concentrations were verified for all treatments depending on the rate. Thirteen months after application an increase of pH and P, Ca, K and S*

* Prof. Visitante, DTEC (UEFS). Mestre em Ciências Florestais, ESALQ (USP). E-mail: lucianovaz@yahoo.com
Universidade Estadual de Feira de Santana – Dep. de Tecnologia.
Tel./Fax (75) 224-8056 – BR 116 – KM 03, Campus - Feira de Santana/BA – CEP 44031-460.

** Prof. Associado do Dep. de Ciências Florestais - ESALQ (USP). E-mail: jlmgonca@corpa.ciagri.usp.br

concentrations was verified only in the layer 0-5 cm; below this layer, only S concentration increased. At 24 months of tree age, the application of 10 t ha⁻¹ of biosolid, with or without K added, resulted in a growth rate similar to the chemical fertilized treatment.

KEY WORDS: *Organic waste; Biosolids, Soil fertility; Eucalyptus grandis.*

1 INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos naturais e a problemática dos resíduos sólidos tornaram-se problemas de amplitude global, alertando a sociedade quanto à produção descontrolada de resíduos e aos possíveis tratamentos para esse mal. Pesquisas cada vez mais específicas são realizadas com o intuito de encontrar soluções que contemplem práticas efetivas de minimização na produção e no tratamento dos resíduos gerados. As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) têm como função o tratamento biológico dos resíduos orgânicos com alto teor de umidade, produzidos pela população e indústrias, conhecidos como esgoto. Os biossólidos podem ser definidos como lodos resultantes do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos com características que lhes conferem a possibilidade de reciclagem (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999). A Estação de Tratamento de Barueri (SABESP) atende parte da Cidade de São Paulo, produzindo cerca de 150 t dia⁻¹ de biossólido (60% de umidade), depositados no aterro sanitário Bandeirantes (TSUTYA, 2000).

A utilização do biossólido em povoamentos florestais tem como ponto positivo o fato de que os produtos dessas culturas não são voltados para alimentação humana ou animal, diminuindo, portanto, os riscos de contaminação do homem. Como na maioria dos resíduos sólidos, precauções devem ser levadas em consideração, quanto à localização, forma e dose de aplicação do lodo, evitando a contaminação do solo, nascentes, cursos d'água e lençóis freáticos. O potencial de uso do biossólido está presente em relatos sobre áreas florestais, naturais e plantadas, nos Estados Unidos e em vários países da Europa e Ásia. No Brasil, especificamente sobre este tema, as pesquisas são muito recentes e ainda em andamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LODO DE ESGOTO E BLOSSÓLIDO

O lodo de esgoto enquadra-se como resíduo sólido e, segundo a definição adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT; NBR 10004, 1986): “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam da comunidade e origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente viáveis face a melhor tecnologia disponível.” A CETESB (CETESB, 1999) denomina biossólido como o lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos, com características semelhantes àquelas contidas no manual técnico a que nos referimos no início.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA/ EUA), através de uma regulamentação (EPA, Part 503, 1995), define biossólido como um produto sólido orgânico produzido por processos de tratamento dos esgotos municipais e que pode ser reciclado. Por convenção, o termo biossólido foi aceito pela comunidade científica brasileira, para designar o lodo de esgoto doméstico que tenha passado por uma decomposição microbiológica parcial e que seja passível de utilização, sem criar qualquer impacto negativo para o meio.

2.2 POTENCIAL DE USO DO BLOSSÓLIDO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS

O Brasil possui cerca de 5 milhões de hectares florestados com eucaliptos (65%) e pinus (35%). No Estado de São Paulo, a área florestada abrange 790 mil hectares (70% de eucalipto e 30% de pinus). A grande maioria dos solos usados para fins de florestamentos apresentam avançado estágio de intemperização, sendo de baixa fertilidade. As reservas de nutrientes na forma

de minerais primários são pequenas, a capacidade de troca de cátions é baixa, a capacidade de fixação de P é média a alta, a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases dos solos é muito elevado. Os teores de macro e micronutrientes são considerados baixos ou muito baixos, com grandes implicações sobre os potenciais de uso e manejo dos solos (GONÇALVES *et al.*, 1997). Sob tais condições, as colheitas sucessivas de madeira de espécies com grande capacidade de extração de nutrientes têm grande impacto sobre as baixas disponibilidades e reservas minerais dos solos, caracterizando um fenômeno que é expresso em quedas de produtividade, pois a reposição de nutrientes via fertilização mineral é menor do que a exportação de nutrientes via madeira (GONÇALVES *et al.*, 2000b).

Visando avaliar as alterações nas propriedades físicas do solo com a aplicação do bio-sólido, vários estudos foram realizados, mostrando o potencial do resíduo como agente recondicionador de solos (WEBER & SHAMES, 1984; SILVA *et al.*, 1995; AYUSO *et al.*, 1996 e SORT & ALCANIZ, 1999). A utilização do bio-sólido pode resultar em melhoras significativas nas propriedades químicas do solo, que se refletem no aumento da fertilidade. São relatados aumentos no pH, matéria orgânica, CTC, concentração de macronutrientes, principalmente os íons N, P e Ca (BERTON *et al.*, 1989; MELO *et al.*, 1994; BEVACQUA & MELLANO, 1994; DUTCH & WOSLTENHOLME, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 1995; FOLLE *et al.*, 1995; AYUSO *et al.*, 1996; SHIMP *et al.*, 1996; SILVA *et al.*, 1997; 1997; SKOUSEN & KLINGER, 1998; MIYAZAWA *et al.*, 1999; TSUTYA, 2000 e SUI & THOMPSON, 2000)

A avaliação do bio-sólido como fertilizante orgânico na produtividade de culturas agrícolas anuais e perenes tem sido realizada por diversos pesquisadores em diferentes partes do mundo (HANSEN & JORGENSEN, 1991; HENRY *et al.* e TSUTYA, 2000). No Brasil, vários trabalhos foram realizados em áreas agrícolas com resultados promissores (BERTON *et al.*, 1989; DEFELIPO *et al.*, 1991; MELO *et al.*, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 1995 e DESCHAMPS & SALES, 1996).

Dentre os efeitos da aplicação do bio-sólido são relatados: aumentos significativos no diâmetro e altura das árvores,

disponibilização de nutrientes, (principalmente de N, P, Ca e K), aumento na produtividade do sítio florestal e na biomassa (McNAB & BARRY, 1985; PHILLIPS *et al.*, 1986; McDONALD *et al.*, 1994; DUTCH *et al.*, 1994; HENRY *et al.*, 1994; POLGLASE & MYERS, 1995; e RIDDEL- BLACK *et al.*, 2000).

A fertilização de povoamentos florestais com biossólido tem, como ponto positivo, o fato de que os produtos que se cultivam nos mesmos não são voltados para alimentação humana ou animal, diminuindo, portanto, os riscos de contaminação do homem. Contudo, cuidados especiais devem ser tomados em relação à localização, forma e dose de aplicação do lodo, para não ocorrer a contaminação do solo, nascentes, cursos d'água e lençóis freáticos (GONÇALVES *et al.*, 2000a).

O potencial de aplicação de biossólido em áreas florestais é grande, em função das seguintes razões: a) As florestas ocupam extensas áreas, e eventuais diminuições no uso de fertilizantes minerais podem constituir substanciais reduções de custos na produção florestal; b) Amplas áreas florestais sofrem de deficiências ou desbalanços nutricionais, especialmente N e P. A carência de nutrição adequada é um dos principais fatores limitantes da produtividade florestal em todo o mundo; c) As áreas florestais, de um modo geral, são localizadas em sítios bem drenados e não estão sujeitas a enchentes periódicas; d) A maioria das florestas, sobretudo as plantadas, não estão associadas à produção de alimentos, o que permite a aplicação regular de biossólido com baixos riscos à saúde pública; e e) Os ecossistemas florestais têm alguns atributos desejáveis para receber o biossólido, tais como, (i) há grande produção e distribuição de carbono orgânico em seus componentes, capazes de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e metais pesados, (ii) as taxas de infiltração no solo geralmente são altas, minimizando o potencial de arrastamento de constituintes indesejáveis do biossólido via escoamento superficial e (iii) a grande quantidade de raízes, perenes, explorando amplo volume do solo, permite absorver nutrientes e metais pesados durante todo o ano (regiões tropicais) ou parte do ano (regiões temperadas).

Alguns inconvenientes causados pelo biossólido devem ser apontados, pois podem limitar sua aplicação, tais como: a)

em algumas regiões ou países, florestas são usadas como áreas de visitação pública e recreação, expondo os visitantes a contaminações, principalmente por patógenos; e b) metais pesados podem ser absorvidos por cogumelos e sementes comestíveis, elevando os riscos de contaminação da fauna e de usuários da floresta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

As pesquisas foram conduzidas na Estação Experimental de Itatinga, ESALQ/USP, município de Itatinga - SP (23°00' LS, 48°52' LO e altitude de 750 m), distando, aproximadamente, 220 km da Cidade de São Paulo. O tipo de solo ocorrente na área do experimento caracteriza-se como um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, distrófico, relevo plano. Nas Tabelas 1 e 2, são apresentados alguns atributos químicos e físicos do solo. A vegetação natural da região é o cerrado e suas condições edafoclimáticas e florísticas são representativas de extensos blocos de florestas homogêneas plantadas no planalto ocidental paulista. O clima é caracterizado como Cwa, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual da área é de aproximadamente, 1600 mm, com 57% concentrada nos meses de dezembro a março. Não há déficit hídrico.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos testados foram os seguintes: 1. Testemunha absoluta – sem adubação e sem aplicação de biofósforo; 2. Adubação mineral – 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (a lanço em área total), 110 kg ha⁻¹ de 0-45-0 (sulco de plantio), 150 kg ha⁻¹ de 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha⁻¹ de 20-0-20 (45 dias pós-plantio aplicado em meia lua ao redor da muda), 180 kg ha⁻¹ de 16-0-32 + 0,3% B + 0,5% de Zn (6 meses pós-plantio aplicado numa faixa de 40 cm na entrelinha de plantio) e 240 kg ha⁻¹ de 16-0-32 + 0,3% B + 0,5% de Zn (12 meses pós-plantio aplicado numa faixa de 40 cm na entrelinha de plantio);

3. 05 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; 4. 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), sem suplementação de K; 5. 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; 6. 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K e P (sulco de plantio); 7. 15 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; 8. 20 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; 9. 40 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K.

Na instalação do experimento, os tratamentos 3, 5, 6, 7, 8 e 9 receberam suplementação de K (KCl, 60% de K₂O), até que as quantidades de K contidas no biossólido somadas às do fertilizante potássico fossem iguais a do tratamento 2 (125 kg ha⁻¹ de K). O tratamento 6 recebeu suplementação de P (superfosfato triplo), de modo que a quantidade de P contida no biossólido somadas à do fertilizante fosfatado fosse igual à do tratamento 2. Em meados de julho de 1998, foi feita a aplicação de biossólido, em faixas (2 m de largura), nas entrelinhas, 50 cm distante das linhas de plantio na superfície.

A espécie indicadora utilizada foi o *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, procedente de Coff's Harbour, Austrália. O plantio com mudas resultantes de sementes foi realizado em março de 1998, utilizando espaçamento 3,0 x 2,0 m. Para a instalação das parcelas utilizou-se o delineamento experimental do tipo blocos ao acaso, com 9 tratamentos e 4 repetições. Cada parcela experimental foi composta por 100 plantas, distribuídas em 10 linhas, com 10 plantas em cada linha. Somente as 36 plantas centrais foram consideradas nas avaliações dendrométricas, as demais, deixadas como bordadura dupla. Considerando uma área de 6 m² por planta, cada parcela ocupou uma área de 600 m², o que totaliza 2,2 ha de área experimental.

3.3 BIOSSÓLIDO

Trata-se de um resíduo produzido por digestão aeróbica (fase de decantação) e anaeróbica (fase final no digestor). Antes de ser desidratado nas prensas hidráulicas, passa por um processo de adensamento e higienização com: cloreto férrico (100 kg de FeCl₃ t⁻¹ de biossólido) e cal extinta (250 kg de cal extinta t⁻¹ de biossólido). Devido ao tratamento que

recebe e à concentração de coliformes fecais, esse bio-sólido é classificado como do tipo B (CETESB, 1999); apresenta densidade de coliformes fecais inferior a 2×10^{-6} NMP g ST⁻¹ (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais). É um resíduo orgânico (30% de matéria orgânica em média), umidade em torno de 60%, pH próximo a 11. Observam-se elevados teores de N, P, Ca, Fe, Zn e S (Tabela 3).

3.4 MONITORAMENTO DA FERTILIDADE DO SOLO

As características químicas do solo foram determinadas para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm de profundidade, avaliando-se os parâmetros pH, carbono orgânico, P, Ca, Mg, K, S e Al trocáveis, H+Al, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (T), segundo metodologia descrita por RAIJ *et al.* (1987). Os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foram analisados, segundo a metodologia descrita por LINDSAY & NORVELL (1978).

Para a amostragem de solo, coletaram-se 10 amostras simples em um transecto diagonal, na área útil da parcela, compreendendo uma faixa de 2 m de largura no centro das entrelinhas, onde foi aplicado o bio-sólido. Estas amostras originaram uma amostra composta, que foi seca em estufa de circulação forçada de ar (45°C) até apresentarem o seu peso constante. Em seguida, foram peneiradas em malha de 2 mm. As amostragens e determinações químicas foram feitas aos seis e 13 meses pós-aplicação do bio-sólido na área.

3.5 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL

O crescimento em altura, o diâmetro à altura do peito (DAP) e a sobrevivência das árvores foram avaliados semestralmente. Nos 36 m² centrais de cada parcela, foi derrubada uma árvore, com o diâmetro à altura do peito (DAP) médio, para as avaliações de volume sólido de madeira o qual foi estimado pela fórmula de Smallian: $VT = (T^2 + B^2) \times L \times C$, onde VT = volume total do tronco (m³); L = comprimento de cada segmento do tronco onde mediu-se a espessura (m); T = raio do topo do

tronco (cm); B = raio da base do tronco (cm) e C = 0,0001570796 (constante).

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para testar possíveis diferenças entre as médias dos tratamentos avaliados, quanto aos atributos químicos do solo e concentrações foliares, foi utilizada a análise de variância (ANOVA). Uma vez detectada diferença utilizou-se posteriormente o Teste de Tukey para a comparação das médias. Os dados relativos ao crescimento das árvores foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o software Sigma Plot 4.0 (Jandel Scientific). Como variável dependente, foi utilizado o volume sólido de madeira e, variável independente, as doses crescentes de biossólido.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFEITO DO BIOSSÓLIDO NA FERTILIDADE DO SOLO

Seis meses pós-aplicação do biossólido em faixas (2 m), nas entrelinhas de plantio do eucalipto, sem incorporação, não foram constatadas alterações do pH e dos teores de P, Mg, Zn, Cu e B nas camadas analisadas. Observou-se elevação dos teores de K, Ca e S e tendência ou redução das concentrações de matéria orgânica (MO), Al, Fe e Mn (Tabelas 4 e 5). Aos 13 meses pós-aplicação, foram constatadas consideráveis elevações do pH e dos teores de P, Ca, K e S na camada 0-5 cm. Os teores de Ca, Zn e Cu foram maiores com doses de 5 a 10 t ha⁻¹, decrescendo a partir da dose de 15 t ha⁻¹. Os teores de MO, B e Mn, para a maioria dos tratamentos, não sofreram alterações. Abaixo dessa camada, só os teores de S elevaram-se, aos seis e 13 meses pós-aplicação do biossólido (Tabelas 5 e 7).

Para as duas épocas de amostragem do solo, com a elevação das doses de biossólido, ocorreu redução dos teores de MO. As maiores reduções foram observadas aos seis meses

pós-aplicação para as maiores doses: 20 e 40 t ha⁻¹. Segundo STEVENSON (1986), a adição de material orgânico ao solo pode estimular a decomposição de húmus, devido ao aumento da atividade microbiana. As maiores reduções nos primeiros meses pós-aplicação devem estar associadas às maiores disponibilidades de frações de C, facilmente decomponíveis.

Seis meses pós-aplicação do bio sólido, não foi constatada alteração dos teores de P na camada 0-5 cm. De forma diferente, sete meses após, foi constatada considerável elevação dos teores de P: os teores elevaram-se de 6 mg dm⁻³, na testemunha, a 25 mg dm⁻³, no tratamento que recebeu 40 t ha⁻¹ de bio sólido (Tabelas 4 e 6). Diversos trabalhos relatam aumentos na concentração de P no solo após a aplicação de bio sólido (BERTON, 1989; DUTCH & WOSLTENHOLME, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 1995; FOLLE *et al.*, 1995 e MARTINS *et al.*, 1997), devido à mineralização do P-orgânico contido nesse produto (TEDESCO *et al.*, 1992 e TSAI & ROSSETO, 1992).

A aplicação de 10 t ha⁻¹ de bio sólido, sem suplementação de K, elevou o teor deste nutriente, de 0,8 (testemunha) para 1,1 mmol_c dm⁻³ de solo, seis meses após a aplicação, na camada de 0-5 cm (tratamento 4) (Tabela 4), atingindo a faixa de concentração considerada adequada para o crescimento de eucalipto (GONÇALVES *et al.*, 1996). Neste caso, somente o K disponível do bio sólido elevaria a fertilidade do solo a níveis suficientes para atender a demanda do eucalipto, que é bem inferior ao da maioria das culturas agrícolas (RAIJ *et al.*, 1996).

Aos 13 meses, não foram verificadas diferenças entre tratamentos, quanto ao pH, podendo ser atribuído ao comportamento dos erros padrões das médias, que se apresentaram bem maiores; apenas nos tratamentos que receberam bio sólido (Tabela 4), refletindo a maior variabilidade espacial. Alguns autores (PHILLIPS *et al.*, 1986; BERTON *et al.*, 1989 e MARTINS *et al.*, 1997) têm relatado aumentos de pH no solo em tratamentos onde o bio sólido é incorporado ao solo.

Supondo que o elevado pH e concentração de Ca do bio sólido pudessem ser prejudiciais ao crescimento inicial das mudas, inicialmente optou-se pela aplicação do resíduo em

faixas nas entrelinhas de plantio. Diante dos resultados obtidos neste trabalho, supõe-se que a aplicação do bio sólido a lanço ou em faixas, sobre as linhas de plantio, sem incorporação, não deva causar injúrias ou desbalanços nutricionais às mudas.

A concentração de Ca no solo, nos tratamentos que receberam bio sólido, foi maior que no tratamento que só recebeu fertilização mineral, 13 meses pós-aplicação (Tabela 3). As alterações foram pequenas seis meses pós-aplicação (Tabela 4). O aumento no teor de Ca está associado à sua alta concentração no bio sólido, 95 g kg^{-1} (Tabela 3), originada no processo de tratamento deste resíduo com cal extinta (CaO), para higienização e adensamento do produto. A utilização desse tipo de bio sólido como fonte de Ca tem sido preconizada por alguns autores (PHILLIPS, 1986; BERTON, 1989; MELO & MARQUES, 2000 e TSUTYA, 2000). Em função desses resultados, deduz-se que, com a aplicação de doses iguais ou maiores do que 10 t ha^{-1} de bio sólido, a suplementação de Ca via calagem ou outras fontes é dispensável. Existe uma forte implicação econômica, quanto as técnicas no manejo de plantações de eucaliptos, porque esta cultura demanda e exporta grandes quantidades de Ca, além disso, há grandes extensões de solo empobrecidos pela exportação de Ca, após sucessivas colheitas de madeira, sem reposição via calagem (GONÇALVES *et al.*, 2000b).

Quanto aos decréscimos das disponibilidades de Cu, Zn e Mn no solo (Tabelas 5 e 7), com o aumento da dose de bio sólido, supõe-se que sejam, em grande parte, devido às reações precipitações ocasionadas pelas mudanças de pH e formação de quelatos com os componentes húmicos do solo e/ou adsorção pelas frações minerais ou orgânicas do solo (TISDALE *et al.*, 1985; MELLO *et al.*, 1989; SPOSITO, 1989; BARROS & NOVAIS, 1990 e MYAZAWA *et al.*, 1999).

Caso a incorporação do bio sólido fosse realizada, provavelmente as alterações dos atributos relativos à fertilidade do solo seriam maiores, devido a maior solubilização e reação do bio sólido no solo. Contudo, a incorporação de resíduos culturais ou outros insumos não tem sido praticada na maioria dos grandes empreendimentos florestais. Atualmente, tem sido amplamente

recomendado o cultivo mínimo do solo, com intuito de prevenir sua degradação física, química e biológica, que não prevê revolvimento do solo (GONÇALVES *et al.*, 2000b).

5.2 CURVA DE RESPOSTA À APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO

A elevação das doses de biossólido, de 0 a 40 t ha⁻¹, resultou numa resposta quadrática em termos de produtividade de madeira com casca (Figura 1). Aos 17 meses de idade, 13 meses pós-aplicação do biossólido, o crescimento em volume elevou-se de 1,9 para 7,2 m³ ha⁻¹, quando se compara a testemunha com o tratamento que recebeu 40 t ha⁻¹. Tal efeito é atribuído, principalmente, ao biossólido. Por exemplo, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K (tratamento 4), resultou num crescimento semelhante àquele obtido com essa mesma dose, com suplementação de K. A aplicação dessa dose de biossólido, independente da suplementação potássica, elevou os níveis de K do solo, os quais ficaram dentro da faixa considerada adequada para essa cultura.

Do exposto acima, configura-se a evidência de que a disponibilidade de K no biossólido pode ser suficiente para o crescimento do eucalipto, pelo menos na fase juvenil. Aos 24 meses de idade, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, com ou sem suplementação de K, resultou num crescimento semelhante ao obtido com apenas aplicação de fertilização mineral.

Comparando o crescimento das árvores nas duas idades, constata-se que a resposta à aplicação de biossólido eleva-se com a idade, refletindo, principalmente, efeitos benéficos devidos à elevação da disponibilidade de nutrientes, oriundos da solubilização e mineralização de componentes deste resíduo, bem como a um maior volume de exploração do solo pelas raízes, o que aumenta o acesso a esses nutrientes.

O tratamento que recebeu 10 t ha⁻¹ biossólido mais suplementação de P (tratamento 6) foi o que resultou em maior resposta, tanto aos 17 como aos 24 meses de idade, alcançando índices de crescimento de 139% e 32% superiores àquele obtido no tratamento 5 (10 t ha⁻¹ de biossólido mais K, sem suplementação de P) nestas idades (Figura 1).

Em plantações de eucaliptos, sobretudo no estágio juvenil de crescimento (primeiros dois anos), quando ocorre a expansão da área foliar, a fertilização fosfatada tem sido a mais responsiva e usada. Esse efeito é atribuído às baixas concentrações de P nos solos usados para fins de florestamento, abaixo do nível crítico, como no presente estudo. Pelo menos duas razões principais podem ser apontadas para a não-resposta ao P contido no bio-sólido: (i) o P está presente em formas não ou lentamente disponíveis e (ii) a aplicação do bio-sólido foi superficial, nas entrelinhas, a 0,5m das linhas de plantio, distante das raízes, o que dificultou a absorção do resíduo.

O maior crescimento do tratamento que recebeu bio-sólido mais suplementação de P na base (sulco de plantio), indica que essa é uma alternativa para elevar as respostas às aplicações desse resíduo em plantações de eucalipto. Os custos com a aplicação do bio-sólido devem ser equiparados ou superados com os benefícios advindos do aumento de produtividade e com a economia de fertilizantes, sobretudo as fontes de N, Ca, Zn e B.

O tratamento 2, que recebeu fertilização mineral, foi 27% inferior ao tratamento 6 (10 t ha⁻¹ de bio-sólido + K e P) aos 17 meses (Figura 1). Ou seja, este percentual de acréscimo de produtividade no tratamento 6 é atribuído a outras propriedades do bio-sólido, que não aos efeitos dos nutrientes K e P.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As avaliações aos seis e treze meses do solo, com a elevação das doses de bio-sólido, observou-se redução dos teores de MO na camada 0-5cm, sendo as maiores reduções verificadas na primeira época de amostragem para as maiores doses: 20 e 40 t ha⁻¹.

A disponibilidade de P assimilável elevou-se, consideravelmente, com o tempo de contato do bio-sólido com o solo, em todos os tratamentos que receberam o resíduo.

O teor de K na camada de 0-5 cm de solo alcançou níveis considerados adequados para o crescimento de eucalipto, no

tratamento em que o elemento não foi corrigido (10 Mg ha⁻¹).

A nítida elevação da concentração de Ca no solo nos tratamentos que receberam biossólido foi constatada treze meses pós-aplicação.

Aos 24 meses de idade, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, com ou sem suplementação de K, resultou num crescimento semelhante ao obtido com a aplicação de fertilização mineral.

A resposta à aplicação de biossólido elevou-se com a idade, refletindo os efeitos benéficos do resíduo que elevou a disponibilidade dos nutrientes para as árvores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Fórum nacional de normatização: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.

AYUSO M. et al. Evaluation of urban Wastes for agricultural Use. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 42, n.1, p. 105 -111, 1996.

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

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 de Solo**, v. 13, p. 187-192, 1989.

BEVACQUA, R.F.; MELLANO, V.J. Cumulative effects of sludge compost on crop yields and soil properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 3/4, p. 395-406, 1994.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação (Manual técnico)**. São Paulo: CETESB, 1999. 35 p.

DEFELIPO, B.V. et al. Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 389-393, 1991.

DUTCH, J.; WOLSTENHOLME, R. The effects of sewage sludge to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1/3, p. 151-163, 1994.

FISKELL, J.G.A.; NEARY, D.G.P.; COMEFORD, N.B. Slash pine and understory interception of micronutrients mineralize from sewage sludge applied to a sandy, acidic forest soil. **Forest Ecology and Management**, v. 37, p. 27-36, 1990.

FOLLE, F. et al. Effect of Sludge Treatment, Heavy Metal, Phosphate Rate, and pH on Soil Phosphorus. **Communication of Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, n. 9/10, p. 1369-1381, 1995.

GONÇALVES, J.L.M., et al. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMRGO, O.A., (Ed). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. São Paulo: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000a. p.179-196 .

GONÇALVES, J.L.M., et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000b. p. 3-57.

GONÇALVES, J.L.M., et al. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: Nambiar, S. & Brown, A., (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Camberra: ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, 1997. p. 379-418.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas & Fundação IAC, 1996. p. 245-259.

GONÇALVES, J.L.M.; et al. Níveis críticos de fósforo no solo na parte aérea de eucaliptos na presença e ausência de calagem. **Revista Árvore**, v. 10, n. 1, p. 91-104, 1986.

HANSEN, P.E.; JORGENSEN, S.E. **Introduction to Environmental Management**. Amsterdam: Elsevier, 1991. 403 p.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v. 60, n. 1/3, p. 137-149, 1994.

Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.151-174, jan./jun. 2002

ILLERA, V., et al. Short-term effects of biosolid and municipal solid waste applications on heavy-metal distribution in a degraded soil under a semi-arid environment. **The Science of the Total Environment**, v. 255, p. 29-44, 2000.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society American Journal**, v.42, p.421-428, 1978.

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

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry**. Boca Raton: Lewis. 1994. 811 p.

McNAB, W.H.; BERRY, C.R. Distribution of aboveground biomass in three pine species planted on a devastated site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. **Forest Science**, v.31, n. 2, p. 373-382, 1985.

MELLO, F.A.F., et al. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1989. 400 p.

MELO, W.J. ; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., (Ed). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. São Paulo, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MELO, W.J., et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 449-455, 1994.

MIYAZAWA, M., Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (Org.). **Reciclagem de Biossólido: Transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR, 1999. p. 204-225.

NOVAIS, R.F., et al. Níveis críticos de fósforo para o eucalipto. **Revista Árvore**, v.6, p. 29-37, 1982.

OLIVEIRA, F.C., et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p.360-367, 1995.

Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.151-174, jan./jun. 2002

PAGE, A. L.; MILLER, P. H.; KEENEY, D. F. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, SSSA, 1982. 1159 p.

POLGLASE, P. J.; MYERS, B. J. Tree Plantations for Recycling Effluent and Biosolids in Australia. In: ELDRIGE, K. G.; CROWE, M. P.; OLD, K. M. (Ed.). THE JOINT AUSTRALIAN/JAPANESE WORKSHOP HELD IN AUSTRALIA, 1., Sidney, 1996. **Proceedings**. Calligwood: CSIRO, 1996. p. 100-109.

RAIJ, B. van, et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van, et al (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas & Fundação IAC, 1996. 285p.

RIEKERK, H. Effects of Sludge Disposal Drainage Solution of Two Forest. **Soil Forest Science**, v. 27, n. 4, p.792-800, 1981.

SANTOS, H.F. dos; GUIMARÃES, M.O.; GIUSTI, P.E.A. Uso do lodo de Ete's em reflorestamentos. In: ENCONTRO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS DA SABESP (AESABESP), 7., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SANEAS, 1997. p.1-27

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SILVA, F.C. da. **Uso agrônômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade de cana-de-açúcar**. 1995. 165f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SIMS, R.E.H. Utilisation of waste organic matter. **Journal Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.58, p. 91-95, 1996.

SKOUSEN J.; KLINGER, C. Sewage sludge land application program in West Virginia. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.48, n. 2, p. 145-151, 1998.

SORT, X.; ALCANIZ, J.M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. **Soil & Tillage Research**, v.49, p. 337-345, 1999.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soil**. New York: Oxford University, 1989. 277 p.

STEVENSON, F.J. **Cycles of Soil**. Canada : Jhon Wiley & Sons, 1986. 380 p.

SUI, Y.; THOMPSON, M.L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. **Soil Science Society American Journal**, v. 64, p. 164-169, 2000.

TEDESCO, M.J. , et al. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: GENESIS, 1999. 159-196 p.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. USA: Macmillan, 1985. 754 p.

TSAI, S.M.; ROSSETO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. ; NEVES, M.C.P., (Org.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 231-242 p.

TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., (Ed). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. São Paulo: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1995. EPA/832-B93-005. **A guide to the biosolids: Risk Assessments for the EPA Part 503**. Fed. Reg. 144 p.

WEBBER, M. D.; SHAMES, A. Land utilization of sewage: a discussion paper. **Expert committee on soil and water management**. Toronto, 1984. 48 p.

ANEXOS

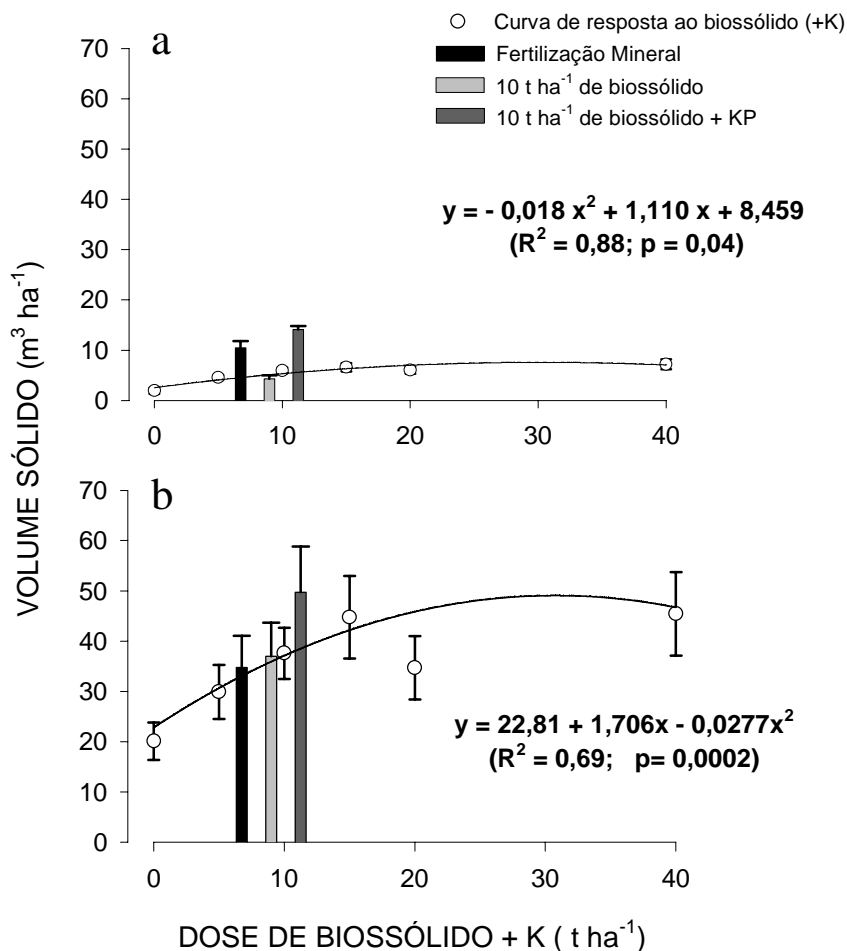


Figura 1- Curva de resposta a doses crescentes de biofósforo, com suplementação de K, respostas a aplicações de 10 t ha⁻¹ de biofósforo sem suplementação de K e com suplementação de K e P e, resposta à fertilização mineral sem biofósforo dos povoamentos de *Eucalyptus grandis* com a) 17 meses e b) 24 meses de idade

Tabela 1 - Análise física* do solo

Profundidade	Areia			Silte	Argila
	Areia grossa	Areia fina	Total		
Cm			g kg ⁻¹		
0 - 30	532	241	773	59	168
30 - 60	495	266	761	49	190
60 - 90	496	278	774	29	197

* Análise realizada segundo metodologia apresentada por CAMARGO et al. (1986).

Tabela 2 - Alguns atributos do solo por ocasião da instalação do experimento

Prof.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	T	V	m
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmolc dm ⁻³				%	%
0-5	3,6	56	2	0,9	3	2	92	19	6	97	5	79
5-10	3,8	18	1	0,9	2	2	53	12	5	59	10	68
10-20	3,8	15	1	0,9	4	1	45	10	5	50	11	65
		Cu	Zn	Mn	Fe	S-SO₄²⁻	B					
		mg dm ⁻³										
0-5		0,5	0,5		2,4		123		12,8			0,2
5-10		0,6	0,3		0,5		76		13,9			0,2
10-20		0,7	0,3		0,4		67		26,6			0,2

*Análise realizada segundo metodologia apresentada por RAIJ et al. 1987.

Tabela 3 - Atributos químicos e físicos (elementos totais, base seca - 65° C) do biossólido tipo B produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, SABESP/ SP

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
C (g kg ⁻¹)	114,0	S (g kg ⁻¹)	6,0
N (g kg ⁻¹)	26,6	Fe (mg kg ⁻¹)	39200
Relação C:N	4,3	Zn (mg kg ⁻¹)	1500
P (g kg ⁻¹)	9,5	Mn (mg kg ⁻¹)	300
K (g kg ⁻¹)	1,3	Cd (mg kg ⁻¹)	21
Ca (g kg ⁻¹)	95,0	Pb (mg kg ⁻¹)	200
Mg (g kg ⁻¹)	3,0	Umidade (%)	60
Na (g kg ⁻¹)	0,5	pH	10,6

Tabela 4 - Atributos químicos* do solo (média ± erro padrão), camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas entrelinhas do povoamento, seis meses após a aplicação do biossólido. Médias na mesma coluna e profundidade, seguidas de letras iguais não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey

Prof	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	T	S- SO ₄ ²⁻
Cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmolc. dm ⁻³				mg dm ⁻³
1. Testemunha											
0-5	3,6 (0)	43 (8)	2 a (0,5)	0,8 (0)	2 b (0)	2 (0,5)	92 (11,5)	20 (2)	6 b (1)	80 (12)	17 b (1,5)
5-10	3,8 (0)	18 (2)	1 (0)	0,9 (0)	4 (1,5)	2 (0,5)	54 (2,5)	12 (0,5)	6 ab(1,5)	59 (3)	20 c (0,6)
10-20	3,8 (0)	16 (1)	1 (0)	0,9 (0)	4 (0,5)	1 (0)	45 (2,5)	10 (0,5)	6 (0,5)	50 (2,5)	29 cd (0,4)
2. Adubação Mineral											
0-5	3,5 (0)	42 (6,5)	1 b (0)	1,0 (0)	4 b (1)	2 (0,5)	94 (17)	19 (3)	6 b (1)	101 (16)	18 b (2,9)
5-10	3,9 (0)	28 (8)	1 (0)	1,0 (0)	2 (0,5)	1 (0)	58 (4)	12 (0,5)	4 ab(0,5)	62 (4)	20 c (2,7)
10-20	3,8 (0)	16 (2)	1 (0)	0,9 (0)	2 (0,5)	1 (0)	45 (4)	9 (1)	4 (0,5)	49 (4)	23 cd (2,3)
3. 5 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	3,8 (0)	44 (7,5)	2 ab (1)	1,0 (0)	3 b (0,5)	2 (0,5)	78 (18,5)	13 (3)	6 b (1)	84 (19)	21 b (1,4)
5-10	3,9 (0)	20 (1)	2 (0,5)	1,0 (0)	4 (1)	1 (0)	52 (3)	10 (1)	5 ab (1)	57 (3)	27 c (0,2)
10-20	3,8 (0)	16 (0,5)	1 (0)	1,0 (0)	2 (0,5)	1 (0)	45 (1)	9 (0,5)	4 (0,5)	49 (1)	33 bcd (0,3)
4. 10 t ha⁻¹ de bios.											
0-5	3,7 (0)	27 (3,5)	1 ab (4)	1,1 (0)	4 b (0,5)	2 (0,5)	64 (3,5)	13 (2)	7 b (0,5)	70 (3,5)	28 b (1,6)
5-10	3,9 (0)	16 (1)	1 (0)	0,9 (0)	2 (0,5)	1 (0)	46 (0,5)	10 (0,5)	4 b (0,5)	49 (1)	39 c (0,7)
10-20	3,8 (0)	13 (1)	1 (0)	1,0 (0)	2 (0,5)	1 (0)	41 (3)	9 (0)	4 (0,5)	45 (3,5)	57 bcd (0,5)
5. 10 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	4,0 (0)	54 (1,5)	1 b (1)	1,1 (0)	4 b (0,5)	2 (0,5)	69 (13)	13 (3,5)	8 b (0,5)	77 (13)	45 ab (1,2)
5-10	3,7 (0)	29 (8)	4 (2,5)	1,0 (0)	4 (1)	1 (0,5)	61 (11)	14 (2,5)	5 ab (1)	68 (10)	58 bc (1,6)
10-20	3,8 (0)	18 (1,5)	2 (1)	0,9 (0)	6 (2,5)	2 (1)	51 (2)	11 (1)	8 (3)	59 (3,5)	71 abc (0,9)
6. 10 t ha⁻¹ de bios. + KP											
0-5	3,8 (0)	35 (6)	1 ab (0)	1,1 (0)	4 b (2)	1 (0,2)	84 (12)	14 (4)	7 b (2,5)	90 (11)	21 b (0,9)
5-10	3,8 (0)	18 (2)	1 (0)	1,2 (0)	3 (1)	1 (0)	58 (5)	12 (1)	5 ab (1)	62 (4,5)	41 c (0,2)
10-20	3,8 (0)	15 (1)	1 (0)	1,0 (0)	2 (0,5)	1 (0)	56 (4,5)	11 (2)	4 (0,5)	60 (4)	50 cd (0,2)
7. 15 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	3,8 (0)	50 (12)	1 b (0)	1,2 (0)	4 b (1)	2 (0,4)	94 (24)	13 (9)	8 b (1,5)	101 (2)	42 ab (0,8)
5-10	3,8 (0)	23 (3,5)	1 (0)	0,9 (0)	4 (1,5)	2 (0,5)	66 (3,5)	12 (1)	7 ab (1,5)	72 (4,5)	51 bc (0,6)
10-20	3,8 (0)	14 (2)	1 (0)	1,0 (0)	2 (0,5)	2 (0,5)	52 (1)	10 (2)	5 (0,5)	58 (6)	66 bed (0,7)
8. 20 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	4,0 (1)	31 (5)	2 ab (1)	1,0 (0)	5 b (0,5)	2 (3)	40 (8)	11 (3)	8 b (0,5)	66 (3)	74 a (1)
5-10	3,8 (0)	18 (1)	1 (0)	0,9 (0)	8 (2,5)	2 (0)	54 (5,5)	10 (1,5)	10 a (2,5)	64 (2,5)	80 ab (0,8)
10-20	3,8 (0)	17 (1,5)	1 (0)	1,0 (0)	4 (0,5)	1 (0,5)	56 (3,5)	11 (1)	5 (1)	61 (2)	95 ab (0,6)
9. 40 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	4,3 (1)	30 (1)	2 ab (1)	0,9 (0)	11 a (1,5)	2 (0)	66 (19,5)	9 (3)	15 a (0,5)	80 (5)	74 a (1,1)
5-10	4,3 (1)	21 (4)	1 (1)	1,7 (0)	8 (1,5)	2 (0)	47 (10,5)	8 (2,5)	10 ab (1)	56 (31)	108 a (0,7)
10-20	3,8 (1)	17 (0,5)	1 (0)	1,1 (0)	4 (0,5)	2 (0)	44 (6,5)	8 (2,5)	7 (0)	50 (1,5)	113 a (0,6)

*Análise realizada segundo metodologia apresentada por RAIJ et al. (1987).

Tabela 5 - Micronutrientes do solo* (média \pm erro padrão), camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas entrelinhas do povoamento, seis meses após a aplicação do biossólido. Médias na mesma coluna e profundidade, seguidas de letras iguais não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey

PROF	Cu	Zn	Mn	Fe	B
cm	mg dm⁻³				
1. Testemunha					
0-5	0,5 (0)	0,5 (0)	2,5 a (08)	130,2 ab (11,9)	0,22 (0)
5-10	0,6 (0)	0,3 (0)	0,9 (0,2)	74,8 (4,9)	0,17 (0)
10-20	0,7 (0)	0,3 ab (0)	0,5 (0,1)	66,5 (3,3)	0,17 (0)
2. Adubação química					
0-5	0,6 (0)	0,5 (0)	1,4 ab (0,5)	141,2 a (22,9)	0,19 (0)
5-10	0,6 (0,1)	0,3 (0)	0,7 (0,2)	92,0 (2,2)	0,16 (0)
10-20	0,7 (0)	0,2 ab (0)	0,4 (0)	79,8 (18,1)	0,16 (0)
3. 5 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	0,8 (0,1)	1,1 (0,3)	1,3 ab (0,3)	120,0 abc (11,3)	0,17 (0)
5-10	0,8 (0)	0,5 (0,1)	0,6 (0,1)	80,2 (2)	0,15 (0)
10-20	0,8 (0)	0,3 a (0,1)	0,4 (0)	67,0 (2,5)	0,13 (0)
4. 10 t ha⁻¹ de bios.					
0-5	0,7 (0,1)	0,8 (0,4)	0,9 ab (0,2)	105,5 abc (13)	0,17 (0)
5-10	0,7 (0)	0,2 (0)	0,6 (0)	73,5 (5,6)	0,14 (0)
10-20	0,7 (0)	0,2 ab (0)	0,4 (0)	68,0 (4,4)	0,08 (0)
5. 10 t ha⁻¹ de bios + K					
0-5	0,7 (0,1)	2,5 (1,1)	1,6 ab (0,3)	103,0 abc (9,2)	0,14 (0)
5-10	0,7 (0)	0,5 (0,1)	0,7 (0,2)	75,8 (12,7)	0,15 (0)
10-20	0,7 (0)	0,2 ab (0)	0,4 (0,1)	64,2 (7,2)	0,12 (0)
6. 10 t ha⁻¹ de bios. + KP					
0-5	0,6 (0)	0,5 (0,2)	1,0 ab (0,2)	83,2 bc (7,1)	0,16 (0)
5-10	0,7 (0,1)	0,2 (0,1)	0,6 (0,1)	59,5 (2)	0,14 (0)
10-20	0,6 (0,1)	0,1 b (0)	0,8 (0,4)	57,2 (2)	0,11 (0)
7. 15 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	0,6 (0,2)	1,7 (1,3)	1,6 ab (0,8)	87,8 abc (6)	0,15 (0)
5-10	0,6 (0,1)	0,3 (0,1)	0,6 (0,1)	64,2 (4,6)	0,18 (0)
10-20	0,6 (0,1)	0,1 b (0)	0,4 (0)	49,5 (5,4)	0,10 (0)
8. 20 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	0,7 (0,1)	0,3 (0,5)	0,4 b (0,4)	72,5 c (7,6)	0,18 (0)
5-10	0,7 (0)	0,2 (0,1)	0,4 (0)	62,5 (6,6)	0,12 (0)
10-20	0,6 (0)	0,2 ab (0)	0,4 (0)	56,2 (4,4)	0,11 (0)
9. 40 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	0,7 (0)	0,8 (0)	1,4 ab (0,3)	79,5 bc (8,7)	0,18 (0)
5-10	0,7 (0)	0,5 (0)	0,8 (0,2)	56,5 (5,9)	0,13 (0)
10-20	0,7 (0)	0,2 ab (0)	0,5 (0,2)	48,8 (11)	0,11 (0)

*Análise realizada segundo metodologia apresentada por LINDSAY & NORVELL (1978).

Tabela 6 - Atributos químicos do solo* (média ± erro padrão), camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas entrelinhas do povoamento, treze meses após a aplicação do biossólido. Médias na mesma coluna e profundidade, seguidas de letras iguais não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey

PROF cm	pH	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al mmol. dm ⁻³	Al	SB	T	S-SO ₄ ²⁻ mg dm ⁻³
1. Testemunha											
0-5	3,6 (0,3)	43 (5)	6 b (1)	0,3 b (0)	1 c (0,2)	1 (0,2)	91 ab (11)	18 a (4)	2 c (0,5)	98 (13)	4 b (0,6)
5-10	3,7 ab(0,1)	36 (5)	5 b (1)	0,5 ab (0,1)	4 b (1)	1 (0,2)	77(10)	14 ab (2)	6 ab (1)	82 ab (7)	6 bc (1)
10-20	3,7 bc (0)	25 ab (4)	4 (1)	0,1 c (0)	3 b (0,6)	1 ab (0,2)	54(4)	11 (1)	4 bc (0,7)	57 (4)	6 cd (1)
2. Adubação Mineral											
0-5	3,0 (0,2)	47 (7)	6 b (1)	0,4 ab (0,1)	12 bc(2,4)	1 (0,2)	131 a (10)	20 a (2)	4 c (0,7)	111 (9)	4 b (0,6)
5-10	3,6 b (0,1)	36 (7)	5 b (1)	0,3 ab (0)	2 b (0,5)	1 (0,2)	80 (10)	17 a (2)	3 b (0,7)	82 ab (7)	4 c (0,6)
10-20	3,7 c (0)	25 ab (7)	3 (1)	0,1 c (0)	1 b (0,2)	0 b (0)	56 (4)	12 (1)	2 c (0,4)	57 (4)	3 d (0,5)
3. 5 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	3,8 (0,3)	46 (5)	12 ab (3)	0,6 a (0,1)	24 bc (6)	1 (0,2)	71 b (9)	8 ab (1)	26 abc(6)	100 (9)	6 ab (1)
5-10	3,9 ab (0,1)	32 (5)	20 ab (5)	0,5 a (0,1)	20 ab (5)	1 (0,2)	61 (8)	7 b (1)	21 ab (5)	78 ab (7)	7 abc (1)
10-20	3,9 abc (0)	24 ab (5)	6 (1)	0,3 bc (0,1)	7 ab (1)	1 a (0,2)	49 (4)	9 (1)	9 abc (2)	70 (6)	8 bcd (1)
4. 10 t ha⁻¹ de bios.											
0-5	3,8 (0,3)	56 (4)	15 ab (3)	0,4 ab (0)	24 bc (5)	2 (0,3)	97 ab (12)	14 ab(3)	27 abc (7)	108 (14)	6 ab (0,9)
5-10	3,9 ab (0,1)	38 (4)	24 a (6)	0,4 ab (0,1)	24 a (6)	1 (0,2)	60 (8)	11 ab (1)	26 a (6)	81 ab (7)	9 abc (1,4)
10-20	3,9 abc (0)	26 ab (3)	4 (1)	0,3 abc (0,1)	8 ab (2)	1 ab (0,2)	49 (4)	10 (1)	7 bc (1)	54 (4)	10 abcd(1,6)
5. 10 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	4,1 (0,3)	58 (4)	14 ab (2)	0,4 ab (0)	62 a (4)	2 (0,3)	77 ab (10)	7 ab (1)	48 a (12)	113 (15)	7 ab (1)
5-10	3,9 ab (0,1)	40 (4)	12 ab (3)	0,2 ab (0)	9 ab (2)	1 (0,2)	75 (10)	12 ab (1)	10 ab (2)	102 a (9)	6 bc (1)
10-20	4,0 a (0,1)	28 a (5)	8 (1)	0,1 bc (0)	9 ab (2)	1 ab (0,2)	55 (4)	10 (1)	10 ab (2)	67 (5)	10 abcd(1,6)
6. 10 t ha⁻¹ de bios. + KP											
0-5	3,8 (0,3)	62 (3)	16 ab (3)	0,4 ab (0)	9 c (2)	1 (0,2)	67 b (8)	13 ab (3)	10 bc (3)	119 (16)	8 a (1)
5-10	3,8 ab (0,1)	43 (4)	8 ab (2)	0,4 ab (0,1)	13 ab (3)	1 (0,2)	84 (11)	14 ab (2)	15 ab (4)	97 a (8)	10 ab (1)
0-20	3,9 abc (0)	25 ab (4)	6 (1)	0,4 ab (0,1)	7 ab (1)	1 a (0,2)	62 (5)	12 (1)	8 abc (1)	70 (6)	10 abcd(1,6)
7. 15 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	3,9 (0,3)	44 (2)	11 b (2)	0,4 ab (0)	6 c (1)	1 (0,2)	62 b (8)	14 ab (3)	7 c (2)	104 (14)	8 ab (1,2)
5-10	4 ab (0,1)	32 (2)	13 ab (3)	0,5 a (0,1)	16 ab (4)	1 (0,2)	59 (8)	11 ab (2)	17 ab (4)	72 ab (6)	8 abc (1,6)
10-20	4,0 a (0,1)	18 b (2)	5 (1)	0,2 bc (0)	3 b (1)	1 ab(0,2)	45 (4)	9 (1)	4 bc (1)	48 (4)	16 ab (1,6)
8. 20 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	3,9 (0,3)	40 (2)	12 ab (2)	0,4 ab (0)	39 ab (8)	1 (0,2)	80 ab (10)	13 ab (3)	41 ab (10)	107(14)	9 a (1,2)
5-10	3,9 ab (0,1)	35 (2)	13 ab (3)	0,2 b (0)	9 ab (2)	1 (0,2)	59 (8)	12 ab (1)	22 ab (5)	62 b (5)	11 ab (1,8)
10-20	4 ab (0,1)	22 ab (2)	7 (1)	0,3 bc (0,1)	6 ab (1)	1 ab (0,2)	51 (4)	10 (1)	7 bc (1)	60 (5)	15 abc (2,4)
9. 40 t ha⁻¹ de bios. + K											
0-5	4,1 (0,3)	40 (2)	25 a (4)	0,3 b (0)	26 bc (6)	2 (0,2)	57 b (7)	1,5 b (0)	30 abc (8)	100 (13)	4 b (0,6)
5-10	4,1 a (0,1)	37 (2)	12 ab (3)	0,4 ab (0,1)	24 a (6)	1 (0,3)	60 (8)	11 ab (1)	26 a (6)	82 ab(7)	14 a (2,3)
10-20	4,0 a (0,1)	22 ab (2)	8 (1)	0,6 a (0,1)	13 a (3)	1 ab (0,2)	49 (4)	10 (1)	15 a (3)	60 (5)	18 a (2,9)

*Análise realizada segundo metodologia apresentada por RAIJ et al. (1987).

Tabela 7 - Micronutrientes no solo* (média ± erro padrão), camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas entrelinhas do povoamento, treze meses após a aplicação do biossólido. Médias na mesma coluna e profundidade, seguidas de letras iguais não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey

PROF cm	Cu	Zn	Mn	Fe	B
mg dm ⁻³					
1. Testemunha					
0-5	0,8 bc (0,1)	0,2 b (0,1)	1,2 b (0,1)	155,0 (18)	0,2 a (0)
5-10	1,0 (0,1)	0,2 c (0)	1,4 (0,2)	103,9 (9)	0,3 (0)
10-20	1,4 a (0,1)	0,4 b (0,1)	0,6 bc (0,1)	93,0 (12)	0,1 (0)
2. Adubação química					
0-5	1,0 abc (0,2)	0,5 b (0,1)	1,6 b (0,2)	122,6 (14)	0,2 ab (0)
5-10	1,0 (0,1)	0,3 c (0)	1,7 (0,2)	92,9 (6)	0,2 (0)
10-20	1,0 ab (0,1)	0,2 b (0)	1,7 a (0,2)	99,0 (12)	0,2 (0)
3. 5 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	1,9 ab (0,3)	4,6 a (1,3)	2,3 b (0,3)	138,0 (16)	0,1 ab (0)
5-10	1,6 (0,2)	0,9 bc (0,1)	1,3 (0,2)	93,7 (8)	0,2 (0)
10-20	1,2 ab (0,1)	0,9 ab (0,2)	0,5 bc (0,1)	74,0 (9)	0,2 (0)
4. 10 t ha⁻¹ de bios.					
0-5	1,5 ab (0,3)	2,6 ab (0,7)	2,3 b (0,3)	139,0 (16)	0,2 a (0)
5-10	1,5 (0,1)	3,1 a (0,5)	1,7 (0,2)	101,0 (9)	0,2 (0)
10-20	1,1 ab (0,1)	0,8 ab (0,2)	0,7 bc (0,1)	76,1 (9)	0,2 (0)
5. 10 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	2,2 a (0,4)	3,5 ab (1,0)	0,9 b (0,1)	125,3 (15)	0,3 a (0)
5-10	1,2 (0,1)	1,7 b (0,3)	1,3 (0,2)	146,4 (13)	0,2 (0)
10-20	1,1 ab (0,1)	1,5 a (0,3)	1,1 ab (0,2)	102,7 (13)	0,2 (0)
6. 10 t ha⁻¹ de bios. + KP					
0-5	1,2 abc (0,2)	2,5 ab (0,7)	6,1 a (0,7)	173,6 (20)	0,2 a (0)
5-10	1,2 (0,1)	0,9 bc (0,1)	1,4 (0,2)	130,1 (11)	0,1 (0)
10-20	1,0 ab (0,1)	0,3 b (0,1)	0,7 bc (0,1)	102,4 (13)	0,2 (0)
7. 15 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	1,0 abc (0,2)	2,0 b (0,6)	2,0 b (0,2)	179,0 (21)	0,2 a (0)
5-10	1,1 (0,1)	1,8 b (0,3)	1,6 (0,2)	101,6 (9)	0,2 (0)
10-20	0,9 b (0,1)	0,4 b (0,1)	0,4 c (0,1)	72,2 (9)	0,2 (0)
8. 20 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	1,0 abc (0,2)	2,0 ab (0,6)	1,7 b (0,2)	160,0 (19)	0,2 a (0)
5-10	1,0 (0,1)	1,3 bc (0,2)	1,3 (0,2)	111,2 (1)	0,2 (0)
10-20	1,0 ab (0,1)	0,7 ab (0,1)	0,7 bc (0,1)	62,4 (8)	0,1 (0)
9. 40 t ha⁻¹ de bios. + K					
0-5	0,16 c (0)	2,6 ab (0,7)	1,5 b (0,2)	136,3 (16)	0,0 (0)
5-10	1,4 (0,1)	1,8 b (0,3)	0,8 (0,1)	116,3 (10)	0,2 (0)
10-20	1,0 ab (0,1)	0,7 b (0,1)	0,4 c (0,1)	88,9 (11)	0,2 (0)

*Análise realizada segundo metodologia apresentada por LINDSAY & NORVELL (1978).