

Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral

Native tree seedling growth when fertilized with different amounts of dry sewage sludge and mineral fertilizer

Ary Vieira de Paiva¹, Fábio Poggiani², José Leonardo de Moraes Gonçalves² e Alexandre de Vicente Ferraz³**Resumo**

O tratamento de esgoto urbano vem crescendo ano a ano e com isto aumenta também a produção de lodo de esgoto e a necessidade de seu tratamento e destinação final. Uma das formas de disposição adequada do lodo seria a sua aplicação em plantações florestais, principalmente visando à recuperação de áreas degradadas, como fertilizante e condicionador do solo, bem como na produção de mudas de espécies arbóreas em viveiros. Este trabalho teve como objetivo avaliar comparativamente o crescimento inicial (altura e biomassa) de mudas das espécies nativas aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi), cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L. f.), pau-de-viola (*Cytarexylum myrianthum* Cham) e unha-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link), adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco (granulado) e com fertilizante mineral. As mudas foram mantidas em condições controladas de casa de vegetação. O experimento, instalado em novembro de 2003, teve a duração de 100 dias, obedecendo a delineamento estatístico inteiramente casualizado, com sete tratamentos: testemunha, adubação mineral e diferentes doses de lodo de esgoto, variando de 0 a 20 g dm⁻³ de solo, complementado com potássio, devido à baixa concentração deste elemento no lodo. Os resultados mostraram que a aplicação do lodo de esgoto teve efeito positivo no crescimento das mudas. Foi constatado que a dose mais elevada de lodo propiciou crescimento semelhante ao observado no tratamento com a adubação mineral. As espécies: aroeira, pau-de-viola e unha-de-vaca, típicas do início de sucessão em ecossistemas florestais, tiveram maior crescimento do que a cabreúva-vermelha, espécie considerada de final de sucessão.

Palavras-Chave: Espécies nativas, Crescimento, Mudas, Biomassa, Lodo de esgoto, Biossólido

Abstract

The increasing volume of urban sewage nowadays generates considerable amount of sludge to be disposed of. One environmentally adequate destination could be the application of treated and stabilized sludge (biosolids) to forest plantations as fertilizer and soil conditioner. The purpose of this study was to analyze the feasibility of applying sewage sludge, evaluating its effects on native tree seedlings. The species evaluated were "aroeira-pimenteira" (*Schinus terebinthifolia* Raddi), "cabreúva-vermelha" (*Myroxylon peruiferum* L. f.), "pau-de-viola" (*Cytarexylum myrianthum* Cham), "unha-de-vaca" (*Bauhinia forficata* Link), which are usually planted in forest restoration. Seedlings were cultivated in pots, containing a volume of 4 dm³ of soil, within a greenhouse. The study was developed in the proximity of Campinas, SP, Brazil, and installed in November, 2003. The design was entirely randomized including seven treatments: control; mineral fertilization; and different doses of sewage sludge (biosolids) complemented with potassium, due to the low concentration of this element in the sludge produced by the wastewater treatment plant of Barueri (Metropolitan region of São Paulo city). The results showed that the application of different dosages of biosolids promoted different responses in stem height and biomass production. The treatment with 20 g/dm³ of dry sewage sludge promoted both the highest growth and the highest seedling biomass production, compared to the control treatment. All native tree species treated with the highest dosage of sewage sludge showed a growth similar to that of mineral fertilization. The seedlings of aroeira-pimenteira, pau-de-viola, and unha-de-vaca, all typical species of the initial succession in natural forest ecosystems, grew and produced more biomass than cabreúva-vermelha, a typical species of the final forest succession.

Keywords: Native tree species, Growth, Seedlings, Biomass, Sewage sludge, Biosolids

¹Professor Adjunto II do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre – UFAC BR 364 - Km 4 - Distrito Industrial - Rio Branco, AC - 69915-900 - E-mail: aryvieira1@hotmail.com

²Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 09 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: fpoggian@esalq.usp.br; jlmgonca@esalq.usp.br

³Mestrando em Recursos Florestais na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 09 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: avferraz@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

Sabe-se que o maior contribuinte à poluição orgânica dos corpos d'água é o esgoto doméstico e, assim, seu tratamento sanitário torna-se cada vez mais uma medida indispensável à recuperação da qualidade das águas. Com a implantação acelerada de estações de tratamento de esgoto (ETEs) no Brasil, visando atender à legislação ambiental, pode-se prever um considerável aumento na produção de lodo de esgoto urbano, resíduo de difícil gerenciamento e que exige estudos para sua disposição final de maneira adequada (FERNANDES, 2000). Nos países mais desenvolvidos o lodo de esgoto estabilizado (biossólido) vem sendo utilizado na agricultura e nos plantios florestais como fonte de matéria orgânica, de macro e micronutrientes e condicionador de solos pobres e desestruturados.

Existe, portanto, uma grande possibilidade de uso do lodo de esgoto nos plantios florestais, visto que o condicionamento do solo e a nutrição adequada são fatores fundamentais para o estabelecimento e pleno desenvolvimento das árvores, principalmente as de espécies nativas, geralmente exigentes em nutrientes. Segundo Melo *et al.* (2001), o lodo de esgoto contém os nutrientes necessários para o desenvolvimento dos vegetais, podendo atender em grande parte à necessidade das árvores. Assim sendo, sua composição chama a atenção para o seu uso potencial na agricultura e na atividade florestal, como condicionador do solo e substituto dos fertilizantes minerais (POGGIANI *et al.*, 2006). É um resíduo que pode alterar as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, sua porosidade e sua capacidade de retenção de água. Altera também as características químicas, elevando o nível de fertilidade, promovendo o crescimento dos microrganismos do solo, fundamentais para o metabolismo dos nutrientes e sua reciclagem (SILVA *et al.*, 2008).

A aplicação de lodo de esgoto na agricultura e silvicultura foi estudada por diversos pesquisadores, como Gouin e Walker (1977), Riekerk (1981), Stone e Powers (1989), Battistel *et al.* (1993), Henry *et al.* (1993), Harrison *et al.* (1993), Labrecque *et al.* (1995), Deschamps *et al.* (1996), Romanov (1997), Wen *et al.* (1997), Ilhenfeld *et al.* (1999), Tsutiya (2000), Gonçalves *et al.* (2000b), Ludovice (2000), Guedes (2000), Melo *et al.* (2001), Pedrosa *et al.* (2003), Trigueiro *et al.* (2003), Bonnet *et al.* (2002), dentre outros. Segundo Poggiani *et al.* (2000), o

lodo de esgoto pode apresentar certas vantagens em relação à adubação mineral, principalmente em plantios de ciclo longo. Guedes (2005) observou os efeitos positivos da aplicação do lodo de esgoto, condicionado com cal hidratada e cloreto férrico na ETE de Barueri da SABESP, em eucaliptos plantados na Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ em Itatinga, SP. Até o presente, o condicionamento do lodo de esgoto com cal e cloreto férrico, devido à sua simplicidade e baixo custo, tem sido escolhido pela maioria das estações de tratamento. Entretanto, o condicionamento do lodo pode ser realizado também com a adição de polímeros, (polieletrólitos), que atuam como agregantes das partículas de matéria orgânica (MIKI *et al.*, 2001). O lodo de esgoto assim tratado, melhora suas características como fertilizante, reduzindo a possibilidade de eventuais desequilíbrios nutricionais nas plantas cultivadas. De acordo com Ludovice (2000), o potencial agrônomico do lodo é inquestionável, mas sua utilização em áreas agrícolas produtivas deve ser feita de maneira cuidadosa de modo a não provocar danos à saúde pública, ao meio ambiente ou prejuízos financeiros ao agricultor. Neste sentido, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), através de resolução específica (No 375-06) definiu as normas sobre o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. A SABESP, a partir de 2002, visando facilitar a disposição do biossólido na agricultura, deu início ao procedimento de secagem térmica do lodo de esgoto produzido na ETE Barueri. A operação de secagem térmica é uma alternativa para a diminuição do peso e do volume dos lodos, com conseqüente diminuição dos custos de transporte e disposição final. A secagem é considerada também um processo de melhoria da qualidade do lodo, visto que pode eliminar a presença de microrganismos patogênicos e, ao mesmo tempo, preservar a matéria orgânica presente no lodo, aspecto de fundamental importância para sua utilização em sistemas agroflorestais (DAVID, 2002).

Portanto, foi objetivo desta pesquisa estudar o crescimento das mudas de quatro espécies arbóreas nativas, frequentemente utilizadas em plantios visando à restauração florestal, em resposta à aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto seco (granulado) produzido na ETE de Barueri (Região Metropolitana de São Paulo) em comparação com a adubação mineral convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características da casa de vegetação

O experimento foi instalado no interior de uma casa de vegetação, situada no município de Campinas, SP, a 650 m de altitude e coordenadas geográficas de 22° 50' 13" de latitude e 47° 06' 83" de longitude. A estufa foi construída por estrutura metálica e recoberta com filme de polietileno transparente com 200 micras de espessura e revestida lateralmente com tela de nylon do tipo sombrite, propiciando um sombreamento de 30% em toda sua extensão, ocupando uma área de 9 metros de largura por 12 m de comprimento, totalizando 110 m². Foi dotada de sistema de irrigação por micro aspersão, com alimentação de água por meio de sistema de recalque, controlado por programador horário eletromecânico, permitindo controle fino da quantidade de água administrada.

Características do experimento

O experimento consistiu no plantio de mudas de espécies florestais nativas em potes de polietileno, contendo 4,0 dm³ do solo, dispostos sobre bancadas no interior da casa de vegetação. As mudas foram acompanhadas por um período de 100 dias, no período de novembro de 2003 a fevereiro de 2004. Este período foi considerado adequado para a observação das mudas na fase inicial de crescimento, sem que houvesse deformação ou atrofia de suas raízes contidas nos potes, o que poderia resultar em desequilíbrio entre o crescimento da parte aérea e radicular das mudas.

Foram cultivadas quatro espécies nativas em potes, contendo como substrato o solo previamente tratado com calcário agrícola e que receberam os seguintes tratamentos: T0 - tratamen-

to testemunha absoluta (sem lodo e sem adubo mineral); T0+fertilização mineral - tratamento com adubação mineral completa (Gonçalves *et al.* 2000a). Os demais tratamentos (T1; T2; T3; T4 e T5) foram constituídos por diferentes doses de lodo de esgoto gerado na ETE de Barueri da SABESP (seco termicamente à temperatura de 105 °C - granuloso) suplementadas com potássio (KCl), para igualar a quantidade deste nutriente à suprida no tratamento com adubo mineral (Tabela 1). Neste sentido, observa-se nesta tabela que as quantidades de potássio (KCl) adicionadas ao solo contido nos potes decrescem à medida que aumentam as doses de lodo. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando 112 potes, incorporando nos tratamentos as diferentes doses de lodo e, comparativamente, o adubo mineral.

Coleta e preparação do solo para o plantio das mudas

O solo utilizado foi o coletado na região rural do município de Campinas, em área próxima ao local do experimento, sendo classificado pela nomenclatura antiga como Podzólico Vermelho Amarelo, textura média arenosa (PRADO, 1997) e atualmente caracterizado como Argissolo Vermelho Amarelo, PVA 20, distrófico A moderado (OLIVEIRA, 1999), cujas características de fertilidade encontram-se na Tabela 2, sendo que a análise granulométrica indicou os seguintes resultados: areia 68 %; silte 12 %; Argila 20 %. O solo foi coletado da camada superficial, entre 0 e 10 cm de profundidade, após a remoção da vegetação e dos detritos orgânicos, transportado para o interior da estufa e peneirado, tendo sido preparado um volume suficiente para enchimento dos potes. Os potes de polietileno rígido possuíam um diâmetro de 16,5 cm na base e de 21,5 cm

Tabela 1. Tratamentos com diferentes doses de lodo de esgoto seco (biossólido) aplicadas ao solo e com adubação mineral.

Table 1. Treatments with different dosages of dry sewage sludge (biosolids) added to the soil and with mineral fertilizer.

Tratamentos	Solo	Lodo de esgoto		Potássio (KCl)	Calcário	Micronutr.*	Nitrogênio (Uréia)	Fósforo (P ₂ O ₅)
	litros pote ⁻¹	g dm ⁻³	g pote ⁻¹					
Testemunha (T0)	4	0	0	0	2,5	0	0	0
1.25 g dm ⁻³ (T1)	4	1,25	5	0,65	2,5	0	0	0
2.5 g dm ⁻³ (T2)	4	2,5	10	0,64	2,5	0	0	0
5.0 g dm ⁻³ (T3)	4	5	20	0,6	2,5	0	0	0
10.0 g dm ⁻³ (T4)	4	10	40	0,54	2,5	0	0	0
20.0 g dm ⁻³ (T5)	4	20	80	0,42	2,5	0	0	0
Fert. mineral	4	0	0	0,67	2,5	0,4	0,8	1,5

* Coquetel de micronutrientes na forma de óxidos silicatados "Fritas".

Tabela 2. Caracterização do solo utilizado no experimento.
Table 2. Characterization of the soil used in the experiment.

pH	M.O	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³							%	mg dm ⁻³				
4,3	15	2	4	2	12	4	4	31	18	49	18	0,10	0,3	26	30,7	1,2
MB	MB	MB	B	MB	A	B						B	M	A	A	M

O nível de fertilidade foi interpretado conforme Raij *et al.* (1986), sendo MB = muito baixo; B = baixo, M = médio; A = alto.

entre as bordas superiores, com 17 cm de altura, oferecendo volume útil de 4 litros. Em seguida, aplicou-se calcário agrícola na quantidade descrita na Tabela 1, que foi homogeneizado com o solo, conforme Van Raij *et al.* (1986).

Dos sete tratamentos adotados, cinco foram constituídos por aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto seco termicamente (granulado), cujas características químicas estão descritas na Tabela 3, suplementado com potássio, nas quantidades descritas na Tabela 1. Deve ser assinalado que as concentrações de metais pesados no lodo esgoto seco utilizado observaram os limites permitidos pela Norma P 4.230 da CETESB (TSUTIYA, 2001). O tratamento com fertilização mineral foi constituído por adição ao solo de calcário agrícola PRNT 90 % e adubação mineral completa com macro e micronutrientes, conforme expresso na Tabela 1. A testemunha foi constituída apenas pelo solo corrigido com calcário agrícola. O lodo de esgoto foi adicionado superficialmente em cada pote, com incorporação rasa.

A definição das doses de lodo de esgoto aplicadas em cada pote foi calculada em função do teor de nitrogênio necessário para fornecer 150 g de N na composição de 1000 litros de substrato, conforme recomendado por Gonçalves *et al.* (2000a). Optou-se, portanto, pela aplicação de doses de lodo seco, variando entre 5 a 80 g por pote.

A suplementação mineral com KCl foi definida para o fornecimento total de 100 g de K₂O por 1000 litros de substrato (Gonçalves *et al.* 2000a). A dose de fósforo para a adubação mineral foi definida para fornecimento total de 700 g de P₂O₅ para 1000 litros de substrato na forma de superfosfato triplo. A quantidade de calcário foi definida tendo como base os resultados da análise de fertilidade de uma amostra composta do solo utilizado para compor o substrato. O calcário foi administrado 30 dias antes da aplicação da fonte dos demais nutrientes, conforme recomendado por Gonçalves *et al.* (2000a). A água foi aplicada, considerando a umidade relativa do ar e o estágio de desenvolvimento das mudas, sendo mantida próxima à capacidade de campo. O excesso de água também foi evitado para minimizarem-se as perdas de nutrientes por lixiviação. As características da água de irrigação utilizada são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3. Caracterização físico-química do lodo de esgoto seco (granulado) adicionado ao solo no experimento.

Table 3. Physical-chemical characterization of the dry sewage sludge added to the soil in the experiment.

Parâmetros	Unidade	Amostra ⁽¹⁾
pH (água-relação 1:5)		7,0
Umidade 65°C	g kg ⁻¹	60,61
C orgânico	g kg ⁻¹	333,89
Matéria orgânica total	g kg ⁻¹	564,6
Condutividade	mS/cm	3,68
N kjeldahl	g kg ⁻¹	39,64
P	g kg ⁻¹	17,01
K	g kg ⁻¹	1,88
Ca	g kg ⁻¹	32,67
Mg	g kg ⁻¹	4,11
Na	g kg ⁻¹	0,73
S	g kg ⁻¹	6,8
Mn	mg kg ⁻¹	4113
Fe	mg kg ⁻¹	38283
Al	mg kg ⁻¹	27821
Zn	mg kg ⁻¹	3037
Ni	mg kg ⁻¹	316
Cu	mg kg ⁻¹	848
Cr total	mg kg ⁻¹	700
Pb	mg kg ⁻¹	191
Cd	mg kg ⁻¹	<0,1 ⁽²⁾
As	mg kg ⁻¹	<0,1 ⁽²⁾
Hg	mg kg ⁻¹	<0,1 ⁽²⁾
Mo	mg kg ⁻¹	<0,1 ⁽²⁾
Se	mg kg ⁻¹	<0,1 ⁽²⁾

⁽¹⁾Valores expressos com base em matéria seca à 65°C; à exceção do pH e condutividade elétrica que são expressos com base em matéria úmida.

⁽²⁾Concentração abaixo do nível de determinação do método analítico utilizado.

Tabela 4. Caracterização físico-química da água utilizada para irrigação das mudas.

Table 4. Physical-chemical characterization of the water used for seedling irrigation.

Parametro	Unidade	Padrão ¹	Amostra	
Salinidade				
Condutividade elétrica	dS/m	0-3	0,17	normal
Cations e Ânions				
Cálcio	meq/l	0-20	52	alto
Magnésio	meq/l	0-5	2,6	normal
Sódio	meq/l	0-40	19	normal
Cloreto	meq/l	0-30	3	normal
Sulfatos	meq/l	0-20	6,4	normal
Outros Nutrientes				
Nitrato	mg/l	0-10	5,8	normal
Fósforo	mg/l	0-2	0,01	normal
Potássio	mg/l	0-2	1,1	normal
Alcalinidade		6-8,5	7,8	normal

¹Valores adaptados de Ayers e West Cot (1991)

A variação da temperatura interna da casa de vegetação foi acompanhada com termômetro de máximas e mínimas do tipo capela, colocado no interior da estufa, tendo sido observadas a temperatura máxima de 36,46°C, a mínima de 16,50°C e a média de 26,48°C. Observaram-se variações de temperaturas diurnas e noturnas típicas da região durante o verão.

Caracterização das espécies florestais utilizadas

Foram utilizadas espécies arbóreas nativas usualmente utilizadas na recuperação de áreas degradadas e em arborização urbana. Suas mudas foram obtidas junto a um viveiro comercial da região, retiradas de lotes cujos indivíduos possuíam características homogêneas em altura e vigor, produzidas por semente e cultivadas em tubetes de 56 cm³. Neste contexto, as espécies escolhidas foram:

Aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). Espécie de porte arbóreo da família Anacardiaceae, podendo atingir 5 a 10 m de altura, com arquitetura de copa arredondada. Tronco tortuoso, de 30 a 60 cm de diâmetro, com casca grossa e fissurada. Apresentando porte pequeno, é indicada para arborização de calçadas de ruas estreitas e sob rede elétrica (LORENZI, 1998). Planta perenifolia, heliófita e pioneira;

Cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L. f.). Espécie arbórea da família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, podendo atingir de 10 a 20 m de altura, com tronco de 60 a 80 cm de diâmetro. Planta decídua, heliófita ou esciófita, indiferente às condições físicas do solo, característica da floresta latifoliada semidecídua. Ocorre tanto no interior da mata primária densa, como nas formações secundárias (LORENZI, 1998), sendo considerada como de final de sucessão (KAGEYAMA, 1992);

Pau-de-viola (*Cytarexylum myrianthum* Cham). Espécie arbórea da família Verbenaceae, com altura de 8 a 20 metros, tronco de 40 a 60 cm de diâmetro. Pioneira de crescimento rápido, decídua, heliófita, seletiva higrófila, característica das matas de galeria e pluvial atlântica. Também é considerada espécie secundária inicial por outros autores como Gonçalves *et al.* (2000a) ou pioneira antrópica (Kageyama *et al.*, 1994). Neste trabalho foi adotada a classificação de espécie secundária inicial (LORENZI, 1998);

Unha-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). Espécie de porte arbóreo da família Leguminosae, subfamília Cercideae (SOUZA, 2005), com copa pequena

entre 5 a 9 metros de altura, com tronco tortuoso de 30 a 40 cm de diâmetro. Planta decídua ou semidecídua, heliófita, pioneira, característica da floresta pluvial atlântica (LORENZI, 1998).

Medições de altura e determinação da biomassa

A altura total das mudas foi medida no momento do plantio e posteriormente aos trinta, sessenta e cem dias, após a instalação do experimento, utilizando uma régua de aço inox milimetrada (Lee Tools). Cem dias após o início do experimento, realizou-se separadamente a coleta do material para determinação da biomassa seca dos diferentes componentes das plantas. As folhas foram colhidas e acondicionadas em sacos de papel devidamente etiquetados com o número do tratamento. Em seguida, o material remanescente em cada pote, constituído pelos caules e raízes, foi retirado cuidadosamente e lavado com água corrente e água destilada. Os caules e as raízes de cada uma das mudas foram acondicionados em sacos de papel e etiquetados com o número dos respectivos tratamentos. Imediatamente, este material foi encaminhado ao Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, para secagem em estufa com temperatura controlada em 65 °C, onde permaneceu até atingir peso constante. Em seguida, realizou-se a pesagem do material em balança eletrônica de precisão Marte AS 2000 (sensibilidade de 0,01g) e o registro dos dados de peso de matéria seca dos três componentes das mudas: folhas, caules e raízes.

Análise estatística dos dados

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância – ANOVA. Após a constatação de diferenças significativas entre tratamentos, realizou-se a comparação de médias através do teste Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico BioEstat - Versão 3.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento em altura

As mudas de todas as espécies apresentaram aumento no crescimento em altura como resposta à aplicação do lodo de esgoto e à fertilização mineral. A Figura 1 evidencia o crescimento da aroeira-pimenteira em função dos diferentes tratamentos. Observa-se aos sessenta e aos cem dias de idade o crescimento diferenciado, quando se compara a testemunha aos tratamentos com 10

e 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto seco e com a adubação mineral. Sendo a aroeira-pimenteira uma espécie pioneira antrópica e de crescimento rápido, esta resposta positiva já era esperada. Neste sentido, Gonçalves *et al.* (2000a) apontam que as espécies nativas dos estágios iniciais de sucessão apresentam taxas de crescimento superiores às de final de sucessão. Consequentemente, quanto maiores as taxas de crescimento, maiores as demandas por nutrientes, principalmente na fase inicial do crescimento (PAIVA, 2005). Isto corrobora os resultados encontrados nesta pesquisa.

A cabreúva-vermelha apresentou resposta mais acentuada para os tratamentos correspondentes a 10 e 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto em comparação à adubação mineral (Figura 2). Este resultado poderia ser explicado pelo fato desta espécie ser típica dos estágios mais avançados

da sucessão florestal. Neste caso as mudas no sub-bosque, em condições de baixa luminosidade, apresentam geralmente um crescimento lento, tendo como fonte de nutrientes a matéria orgânica resultante da decomposição da serapilheira. Rezende *et al.* (1999) consideram que as espécies florestais caracterizadas como “de final de sucessão” (Clímax), diferentemente das pioneiras, seriam mais eficientes na utilização do fósforo quando suprido através de fontes de lenta solubilidade, como por exemplo, através do processo de ciclagem da serapilheira. No caso deste experimento, o fósforo seria suprido pela decomposição do lodo de esgoto.

O pau-de-viola apresentou um maior crescimento para o tratamento com adubação mineral, seguido pela dose com 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto (Figura 3).

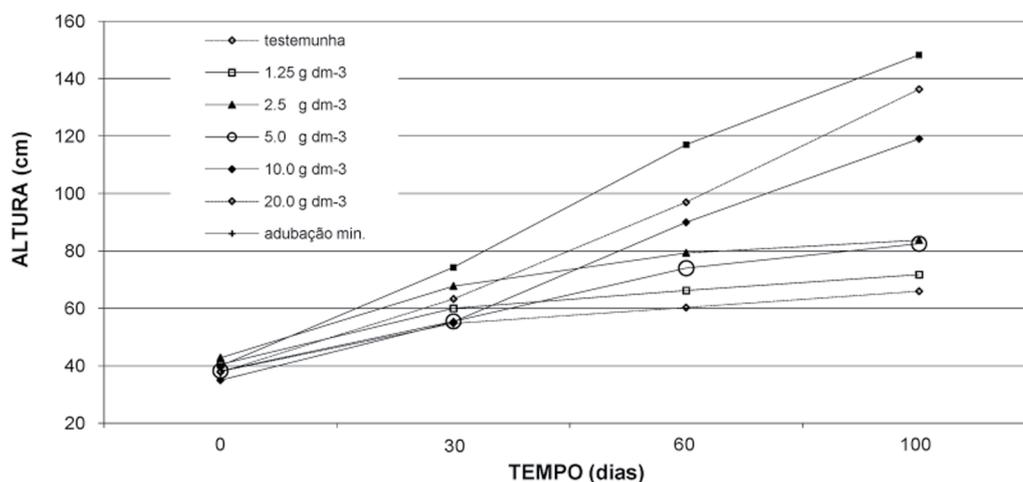


Figura 1. Crescimento em altura das mudas de aroeira-pimenteira até 100 dias de idade, cultivadas em solo adubado com diferentes doses de lodo de esgoto (biossólido) e com a fertilização mineral.

Figure 1. Growth in height of “aroeira-pimenteira” seedlings at age 100 days, when cultivated in soil treated with different amounts of sewage sludge (biosolids) and with mineral fertilizer.

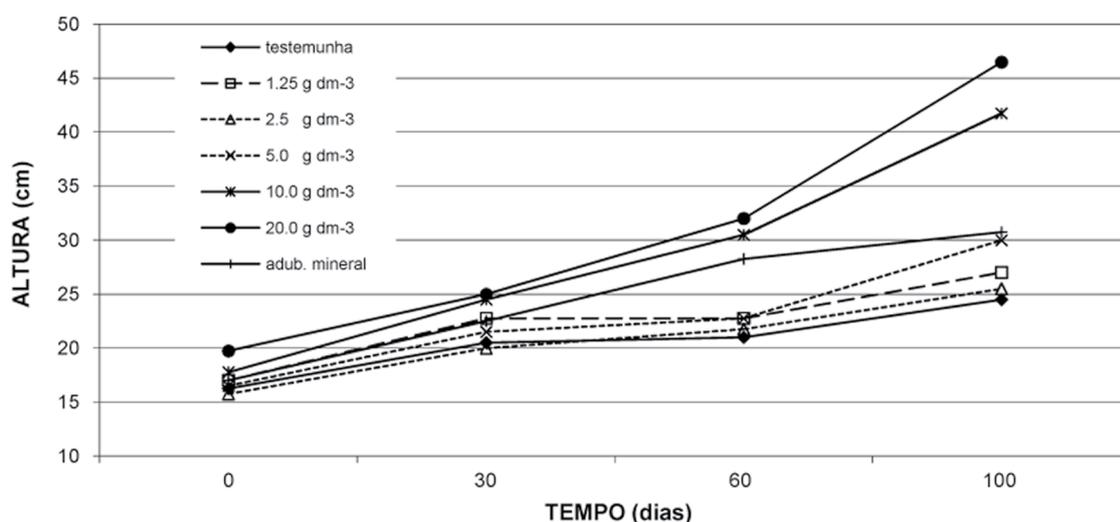


Figura 2. Crescimento em altura das mudas de cabreúva-vermelha, até 100 dias de idade, cultivadas em solo fertilizado com adubo mineral e diferentes doses de lodo de esgoto (biossólido).

Figure 2. Growth in height of “cabreúva-vermelha” seedlings at age 100 days, when cultivated in soil treated with different amounts of sewage sludge (biosolids) and with mineral fertilizer.

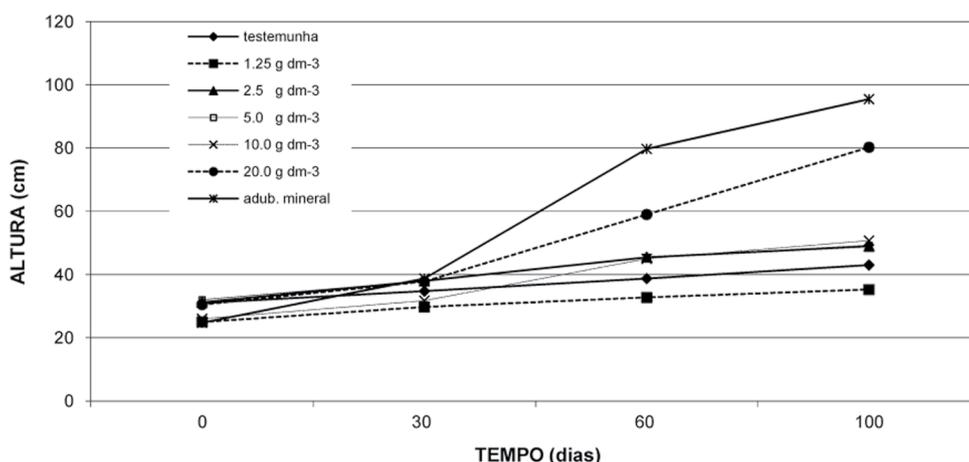


Figura 3. Crescimento em altura das mudas de pau-de-viola, até 100 dias de idade, cultivadas em solo fertilizado com adubo mineral e diferentes doses de lodo de esgoto (biossólido).

Figure 3. Growth in height of "pau-de-viola" seedlings at age 100 days, when cultivated in soil treated with mineral fertilizer or different amounts of sewage sludge (biosolids).

Por ser esta espécie uma pioneira antrópica de início de sucessão (Lorenzi, 1998), as melhores respostas em crescimento foram obtidas para os tratamentos que disponibilizaram maiores quantidades de nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos para a unha-de-vaca, espécie pioneira, apresentando curvas diferenciadas de crescimento em função da adubação química e das diferentes doses de lodo de esgoto adicionado nos tratamentos (Figura 4).

O incremento em altura das quatro espécies, até a idade de 100 dias, é apresentado na Figura 5. Nota-se que à medida que aumentam as doses de lodo de esgoto, ocorre também o aumento em altura das plantas. Verifica-se uma aproximação entre as curvas de crescimento da aroeira e da unha-de-vaca, exibindo valores maiores do que os das demais espécies. Isto pode ser explicado por pertencerem a estágios iniciais de su-

cessão (pioneiras típicas). O pau-de-viola e a cabreúva-vermelha, pertencentes a estágios ecológicos mais avançados, exibem curvas de resposta próximas entre si, mas com incrementos menores. Embora o pau-de-viola seja considerado também uma espécie pioneira antrópica, exibiu um comportamento semelhante ao da cabreúva-vermelha, sugerindo ser uma espécie de fase intermediária de sucessão, ou seja, espécie secundária. Kageyama *et al.* (1994) classificaram os grupos ecológicos silviculturais em "situações" de sucessão antrópica e de sucessão secundária, apontando para uma sucessão diferenciada, principalmente quanto à origem das espécies no início de sucessão. Assim sendo, as pioneiras antrópicas seriam aquelas consideradas não tipicamente pioneiras nas florestas primárias, mas que fazem o papel de pioneiras em áreas degradadas antrópicas.

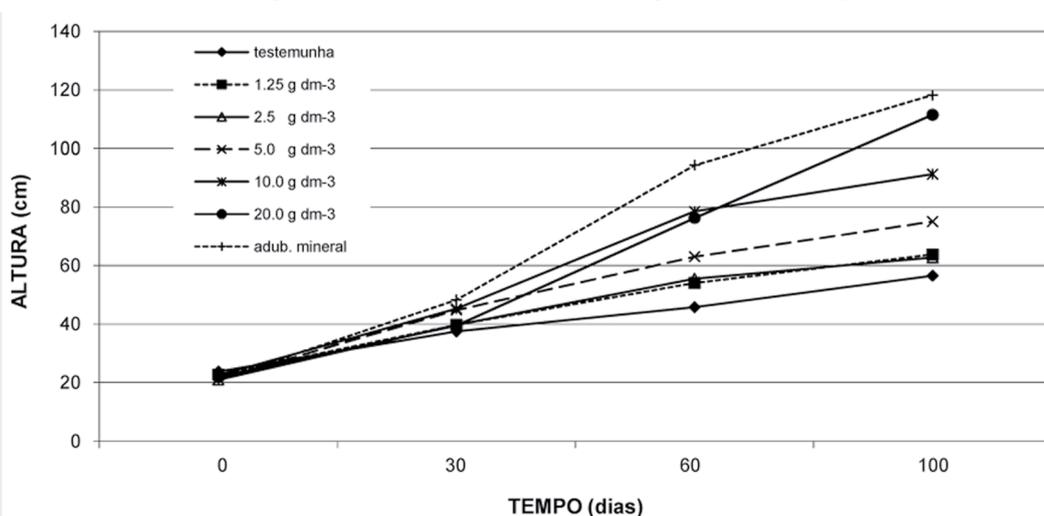


Figura 4. Crescimento em altura das mudas de unha-de-vaca, até 100 dias de idade, cultivadas em solo fertilizado com adubo mineral e diferentes doses de lodo de esgoto (biossólido).

Figure 4. Growth in height of "unha-de-vaca" seedlings at age 100 days, cultivated in soil treated with mineral fertilizer and with different amounts of sewage sludge (biosolids).

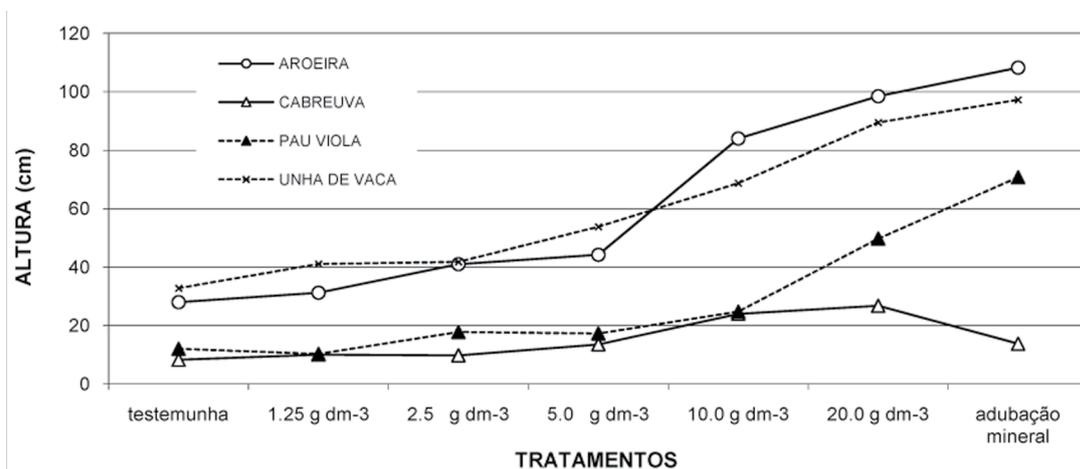


Figura 5. Crescimento em altura das quatro espécies florestais, representado pela diferença entre a mensuração inicial e final, aos 100 dias de idade, devido às diferentes doses de lodo de esgoto e à adubação mineral.

Figure 5. Growth in height of the four forest species, represented by the difference between the initial and final measurements of the seedlings, at age 100 days, cultivated in soil treated with mineral fertilizer and with different amounts of sewage sludge (biosolids).

Comparando-se o incremento médio em altura entre as quatro espécies, em resposta aos diferentes tratamentos (Tabela 5), pode-se observar que a aroeira apresentou respostas positivas em relação à testemunha, para os tratamentos correspondentes a 10, 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto e fertilização mineral, sendo que as respostas aos dois últimos tratamentos foram estatisticamente semelhantes. A cabreúva apresentou respostas positivas para os tratamentos correspondentes a 10 e 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto. A resposta não significativa desta espécie para o tratamento com fertilização mineral, em relação à testemunha, pode ser explicada por ser considerada espécie do estágio final de sucessão, tendo uma menor demanda e uma menor assimilação de nutrientes, mesmo que eles estejam prontamente disponíveis (Gonçalves *et al.*, 2000a).

O pau-de-viola apresentou valores significativos em resposta aos tratamentos correspondentes a 20 g dm⁻³ e à fertilização mineral. A unha-de-vaca apresentou valores significativos para os tratamentos com 5, 10, 20 g dm⁻³ de lodo e adubação

mineral, sendo os dois últimos iguais entre si.

Portanto, em relação ao incremento em altura, foram observados valores estatisticamente significativos para todas as espécies em resposta ao tratamento com lodo de esgoto na dose de 20 g dm⁻³ em relação à testemunha (Tabela 5). Esta dose também promoveu resposta estatisticamente semelhante à adubação mineral para todas as espécies. Entretanto, especificamente no caso da cabreúva, o tratamento com fertilização mineral não afetou significativamente o incremento em altura em relação à testemunha.

Ao se comparar o incremento em altura entre as espécies e para cada tratamento (Tabela 5), observa-se que a aroeira e a unha-de-vaca apresentam os valores mais elevados e estatisticamente iguais entre si, indicando um comportamento característico do grupo ecológico classificado como de "início de sucessão". Por outro lado, as mudas das espécies cabreúva e o pau-de-viola apresentaram incrementos menores, podendo ser inseridas no grupo ecológico de espécies frequentemente presentes nos estágios mais avançados da sucessão florestal.

Tabela 5. Incremento comparativo em altura das quatro espécies (cm), representado pela diferença entre a mensuração inicial, no momento do plantio, e a mensuração final, aos 100 dias de idade, em função das diferentes doses de lodo de esgoto e da fertilização mineral.

Table 5. Comparative growth in height of the four species (cm), represented by the difference between the initial and final measurements of the seedlings at age 100 days, cultivated in soil treated with different amounts of sewage sludge (biosolids) and treated with mineral fertilizer.

Tratamento	Aroeira	Cabreúva	Pau Viola	Unha de Vaca
testemunha	28,0 cA	8,2 bB	12,0 bB	32,7 cA
1.25 g dm ⁻³ (T1)	31,2 cA	10,0 bB	10,2 bB	41,0 cA
2.5 g dm ⁻³ (T2)	41,0 cA	9,7 bB	17,7 bB	41,7 cA
5.0 g dm ⁻³ (T3)	44,2 cA	13,5 abB	17,2 bB	53,7 bA
10.0 g dm ⁻³ (T4)	84,0 bA	24,0 aB	24,7 bB	68,7 bA
20.0 g dm ⁻³ (T5)	98,5 aA	26,7 aB	49,7 aB	89,5 aA
adub.mineral	108,2 aA	13,7 abC	70,7 aB	97,2 aA

Para cada tratamento (linha), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Para cada espécie (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

De maneira geral, observou-se que todas as espécies responderam positivamente à aplicação do lodo de esgoto. O tratamento com 20 g dm⁻³ promoveu as maiores respostas, igualando-se estatisticamente ao tratamento com aplicação da adubação mineral. Isto evidencia a possibilidade de se substituir a adubação mineral em plantios de espécies nativas pela aplicação de lodo de esgoto seco produzido na ETE de Barueri, desde que devidamente complementado com potássio.

Produção de biomassa

A produção de biomassa (expressa em matéria seca) é um parâmetro bastante consistente na avaliação das respostas à adubação em espécies vegetais, complementando os dados de crescimento em altura.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são relativos à matéria seca total da planta, bem como de cada uma de suas partes: folhas, caule e raízes, por ser importante avaliar não só o acúmulo total de matéria seca, mas também sua alocação nos diferentes componentes. Isto pode explicar a estratégia de crescimento, de acordo com o grupo sucessional e sua capacidade de adaptação às condições impostas pelo ambiente.

A produção total de biomassa seca pela aroeira-pimenteira foi significativa para todas as doses de lodo de esgoto em comparação à testemunha e mais acentuada na dose de 20 g dm³. Todavia a maior produção foi observada com a adição de

adubo mineral (Tabela 6). Por ser espécie de início de sucessão, caracterizada por um crescimento inicial rápido, respondeu melhor à pronta liberação de nutrientes supridos com a adubação mineral, principalmente em relação ao caule e à raiz.

A maior produção de biomassa total pelas mudas de cabreúva foi observada nos tratamentos correspondentes à adição ao solo de 20 g dm³ de lodo de esgoto e à fertilização mineral (Tabela 7). Todavia, a biomassa alocada especificamente nos caules e nas folhas de cabreúva foi significativamente maior no tratamento com 20 g dm³ de lodo de esgoto do que na adubação mineral. Por ser a cabreúva uma espécie de final de sucessão, com crescimento lento e baixa exigência em nutrientes, esta melhor resposta ao adubo orgânico pode ser atribuída à liberação mais prolongada dos nutrientes, contidos no lodo de esgoto, para o sistema radicular das plantas.

O pau-de-viola apresentou respostas significativas em relação à testemunha para a produção total de biomassa com a aplicação das doses de 5, 10 e 20 gramas/dm³ de lodo e com a adubação mineral, sendo os resultados obtidos nos dois últimos tratamentos estatisticamente equivalentes (Tabela 8). Comparando o crescimento dos diferentes componentes das mudas desta espécie (folhas, caule e raiz), verificou-se que apenas a biomassa do caule foi significativamente beneficiada pelo tratamento com fertilização mineral em relação à adição da maior dose de lodo de esgoto.

Tabela 6. Produção de biomassa (g/planta) da aroeira-pimenteira, em função dos tratamentos com diferentes doses de lodo de esgoto e com a fertilização mineral.

Table 6. Biomass production (g/seedling) of aroeira-pimenteira due to the treatments with different amounts of sewage sludge and the mineral fertilizer.

Tratamento	Folha	Caule	Raiz	Total
testemunha	13,23 c	17,74 d	14,05 d	45,03 e
1.25 g dm ⁻³	14,98 c	22,73 d	15,65 d	53,37 d
2.5 g dm ⁻³	16,10 c	29,41 d	15,05 d	60,57 d
5.0 g dm ⁻³	18,92 c	32,03 d	17,33 d	68,28 d
10.0 g dm ⁻³	27,26 b	44,36 c	22,63 c	94,27 c
20.0 g dm ⁻³	40,29 a	63,04 b	26,94 b	130,28 b
adub.mineral	42,14 a	87,54 a	32,00 a	161,69 a

Para cada compartimento das mudas (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 7. Produção de biomassa (g/planta) de cabreúva-vermelha em função das diferentes doses de lodo de esgoto e da fertilização mineral.

Table 7. Biomass production (g/seedling) of cabreúva-vermelha due to the treatments with different amounts of sewage sludge and the mineral fertilizer.

Tratamento	Folha	Caule	Raiz	Total
testemunha	8,00 b	6,91 b	7,27 a	22,18 b
1.25 g dm ⁻³	8,01 b	7,02 b	7,04 a	22,08 b
2.5 g dm ⁻³	8,00 b	6,77 b	7,03 a	21,81 b
5.0 g dm ⁻³	8,68 b	7,38 b	7,13 a	23,20 b
10.0 g dm ⁻³	9,94 b	8,61 ab	8,20 a	26,77 b
20.0 g dm ⁻³	11,17 a	9,46 a	8,18 a	28,82 a
adub.mineral	8,45 b	7,75 b	7,43 a	23,64 ab

Para cada compartimento das mudas (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 8. Produção de biomassa (gramas/planta) do pau-de-viola, em função das diferentes doses de lodo de esgoto e da fertilização mineral.

Table 8. Biomass production (g/seedling) of pau-de-viola treated with different amounts of sewage sludge and with mineral fertilizer.

Tratamento	Folha	Caule	Raíz	Total
testemunha	9,92 b	12,63 c	15,39 c	37,95 c
1.25 g dm ⁻³	9,59 b	12,37 c	15,85 c	37,82 c
2.5 g dm ⁻³	11,27 b	15,56 c	19,21 c	46,04 bc
5.0 g dm ⁻³	12,38 b	17,58 c	24,39 b	54,35 b
10.0 g dm ⁻³	12,96 b	18,98 c	26,65 b	58,60 b
20.0 g dm ⁻³	22,38 a	31,56 b	36,79 a	90,73 a
adub. mineral	24,47 a	39,42 a	38,82 a	102,72 a

Para cada compartimento das mudas (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 9. Produção de biomassa (g/planta) da unha-de-vaca, em função da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto e fertilização mineral.

Table 9. Biomass production (g/seedling) of unha-de-vaca after treatment with different amounts of sewage sludge and mineral fertilizer.

Tratamento	Folha	Caule	Raíz	Total
testemunha	8,48 c	9,14 c	12,16 b	29,79 c
1.25 g dm ⁻³	9,16 c	10,61 c	13,77 b	33,55 c
2.5 g dm ⁻³	9,67 c	10,89 c	13,77 b	34,34 c
5.0 g dm ⁻³	11,12 c	13,89 c	17,97 a	42,99 c
10.0 g dm ⁻³	12,06 b	17,22 b	20,82 a	50,10 ab
20.0 g dm ⁻³	15,09 a	22,33 a	18,47 a	55,90 a
adub. mineral	16,19 a	28,66 a	21,92 a	66,78 a

Para cada compartimento das mudas (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 10. Produção de biomassa (g/planta), comparando as quatro espécies nativas, tratadas com diferentes doses de lodo de esgoto e com a fertilização mineral.

Table 10. Biomass production (g/seedling), comparing the four species, when treated with different amounts of sewage sludge and with mineral fertilizer.

Espécies	1.25 g dm ⁻³	5.0 g dm ⁻³	20.0 g dm ⁻³	Adub. Mineral
Aroeira	53,37 a	68,29 a	130,28 a	161,69 a
Cabreuva	22,08 c	23,20 c	28,82 d	23,64 d
Pau de Viola	37,82 b	54,35 b	90,73 b	102,72 b
Unha de Vaca	33,55 b	42,99 b	55,89 c	66,78 c

Para cada tratamento (coluna), médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

As mudas de unha-de-vaca apresentaram uma maior produção total de biomassa nos tratamentos com 20 g dm³ de lodo e com a adubação mineral, que foram estatisticamente iguais entre si (Tabela 9). A alocação da biomassa nos componentes das mudas, separadamente, mostrou a mesma proporcionalidade que a distribuição observada na planta inteira.

Quando se compara a biomassa produzida em função dos tratamentos com diferentes doses de lodo de esgoto e com a fertilização mineral, observa-se na Tabela 10, que as espécies de início de sucessão foram mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes disponibilizados do que as espécies dos estágios sucessoriais mais avançados.

Gonçalves *et al.* (2000b), também observaram este comportamento em espécies nativas tratadas com adubo mineral. Nas Tabelas de 7 a 10, pode-se observar que o tratamento com a aplicação ao solo de 20 g dm⁻³ de lodo de esgoto foi a dose que mais incrementou a produção to-

tal de biomassa das mudas de aroeira-pimenteira, pau-de-viola e unha de vaca, com resultados semelhantes aos observados no tratamento com a fertilização mineral. Entretanto, a cabreúva-vermelha (espécie de final de sucessão), tratada com esta mesma dose de lodo, superou o tratamento com fertilização mineral.

De maneira geral, os resultados obtidos sugerem que a aplicação ao solo de doses de lodo de esgoto superiores a 20 g dm⁻³, desde que complementadas com potássio, poderiam estimular ainda mais o crescimento das mudas das espécies nativas estudadas e substituir a adubação mineral, principalmente no caso da cabreúva-vermelha.

CONCLUSÃO

A aplicação das diferentes doses de lodo de esgoto ao solo estimulou o crescimento das mudas das quatro espécies nativas em altura e na produção de biomassa. A maior dose de

lodo de esgoto aplicada (20g dm⁻³) propiciou respostas em crescimento equivalentes à promovida pela fertilização mineral. As espécies aroeira-pimenteira, pau-de-viola e unha-de-vaca, características das fases iniciais da sucessão, apresentaram melhores resultados em comparação com a cabreúva-vermelha, considerada espécie típica de final de sucessão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 29p. (Estudos FAO: irrigação e drenagem).

BATTISTEL, P.; PINAMONTI, F.; VIECELI, A.; ZORI, G. Effects of compost on container grown forest trees. **Monti e Boschi**, Trento, v.44, n.2, p.34-40, 1993.

BONNET, B.R.P.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.B.; LEE, D.J. Effects of substrates composed of biosolids on the production of *E. viminalis*, *Schinus terebinthifolius* e *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *S. terebinthifolius* seedlings. **Water Science and Technology**, New York, v.46, n.10, p.239-246, 2002.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 1999. 35p. (Manual Técnico - Norma P4.230).

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Define os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências: Resolução No. 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DESCHAMPS, C.; SALLES, R.F.M. **Avaliação do lodo de esgotos como fertilizante orgânico em culturas anuais e perenes**. Curitiba: SANEPAR, 1996. 29p.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 3, p.45-68.

GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES NETO, S.P.; MANARA, M.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000a. cap.11, p.309-350.

GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de lodo de esgoto em plantações florestais: 2- efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000b. p.179-195.

GOUIN, F.R.; WALKER, J.M. eDeciduous tree seedling response to nursery soil amended with composted sewage sludge. **HortScience**, Alexandria, v.12, n.1, p.45-47,1977.

GUEDES, M.C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GUEDES, M.C. **Efeito do lodo de esgoto sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. 2000. 74p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

HARRISON, R.; XUE, D.; HENRY, C.; COLE, D.W. Long-term effects of heavy applications of biosolids on organic matter and nutrient content of a coarse-textured forest soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.66, p.165-177, 1993.

HENRY, L.C.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.M.; HARRISON, R.B. The use of municipal and pulp and paper sludges to increase production in forestry. **Journal of Sustainable Forestry**, New York, v.1, n.3, p.41-55, 1993.

ILHENFELD, R.G.; ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, C.S. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999. 97p.

KAGEYAMA, P.Y. Recomposição da vegetação com espécies arbóreas nativas em reservatórios de usinas hidroelétricas da CESP. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.8, n.25, p.1-43, 1992.

- KAGEYAMA, P.Y.; SANTARELLI, E.; GANDARA, E.B.; GONÇALVES, J.C. Restauração de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UFPR, 1994. p.569-576.
- LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; DAIGLE, S. Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation on two *Salix* species. **Plant and Soil**, dordrecht, v.17, n.1/2, p.303-316, 1995.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2.ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998. 352p.
- LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.7, p.153-162.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do lodo de esgoto e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, J.A.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.). **Biossólido na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap.11, p.289-363.
- MIKI, K.M.; ANDRIGUETI, E.J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, J.A.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.). **Biossólido na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap.3, p.41-87.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC/EMBRAPA/CNP SOLOS, 1999. 64p., 4 mapas.
- PAIVA, A.V. **Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento e nutrição mineral de mudas de quatro espécies florestais nativas utilizadas na arborização urbana**. 2005. 148p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- PEDROSA, J.P.; HAANDEL, A.C.; BELTRÃO, N.E.M.; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodão herbáceo, em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.483-488, 2003.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de lodo de esgoto em plantações florestais: 1- reflexos no ciclo de nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.8, p.163-178.
- POGGIANI, F.; SILVA, P.H.M.; GUEDES, M.C. Uso do lodo de esgoto em plantações florestais. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Biossólidos: alternativas do uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. v.4, p.159-188.
- PRADO, H. **Os solos no Estado de São Paulo: mapas pedológicos**. Piracicaba: Helio Prado, 1997. 205p.
- REZENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2071-2081, 1999.
- RIEKERK, H. Effects of sludge disposal on drainage solutions of two forest soils. **Forest Science**, Bethesda, v.27, n.4, p.792-800, 1981.
- ROMANOV, E.M. Reaction of seedlings of woody plants to the application of sewage sludge to the soil. **Lesovedenie**, n.6, p.22-29, 1997.
- SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; MOREIRA, R.M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.77, p.79-88, 2008.
- SOUZA, V.C. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640p.
- STONE, D.M.; POWERS, H.R. Sewage sludge increases early growth and decrease Fusiform rust infection of nursery- run and rust resistant loblolly pine. **Southern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v.13, n.2, p.68-71, 1989.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Uso de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.64, p.50-162, 2003.

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

TSUTIYA, M.T. Qualidade de biossólidos produzidos em estações de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Trabalhos técnicos...** São Paulo: ABES, 2001. (II-073)

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 285p. (Boletim Técnico, n.100).

WEN, G.; WINTER, J.P.; VORONEY, R.P.; BATES, T.E. Potassium availability of sewage, and sludge and manure composts in field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.47, p.233-241, 1997.

Recebido em 28/10/2008
Aceito para publicação em 27/10/2009

