

APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS

Prof. Fábio Poggiani (ESALQ/USP)

INTRODUÇÃO

A destinação final do lodo produzido nas estações de tratamento de esgoto tem sido uma das maiores preocupações das empresas geradoras deste resíduo, dos órgãos de controle ambiental e da sociedade de uma forma geral (Tsutiya, 2000).

Entre as diversas alternativas existentes, uma das mais adequadas seria a disposição do lodo de esgoto, previamente tratado (biossólido), em áreas de florestas plantadas, considerando principalmente a elevada concentração de nutrientes e de matéria orgânica neste resíduo que irá contribuir para melhorar a fertilidade do solo (Poggiani e Benedetti, 1999).

Atualmente, o termo biossólido vem sendo utilizado como substituto de lodo de esgoto, para diferenciar este produto com potencial de uso benéfico em culturas agrícolas e florestais, após as transformações microbianas e a devida higienização. No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental elaborou normas para regularizar a utilização do biossólido (CETESB, 1999). Segundo a norma da CETESB o termo biossólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atende às condições da norma para uma utilização segura nos sistemas agroflorestais.

A aplicação de biossólido em plantações florestais, apresenta uma série de vantagens em comparação com sistemas agrícolas. Hart et al. (1988), citando vários outros autores, resumem essas vantagens. Os produtos das culturas florestais, normalmente não são comestíveis, diminuindo o risco quanto à entrada de possíveis contaminantes na cadeia alimentar. As florestas respondem à aplicação de biossólido com significantes aumentos de biomassa lenhosa. O ciclo das culturas florestais é longo e a acumulação de biomassa lenhosa durante esse período é uma maneira de armazenar certos elementos químicos (eventualmente perigosos), que poderão ser, posteriormente, retirados do local por ocasião da colheita da madeira. Deve ser salientado que os solos brasileiros são geralmente de baixa fertilidade, resultando em melhor aproveitamento do seu potencial e menores perdas dos nutrientes, quando destinados para cultivos perenes. As florestas plantadas oferecem menor oportunidade de contato humano com o biossólido recém aplicado. Além disso, o ciclo longo das culturas florestais permite maiores intervalos e uma maior dinâmica entre aplicações do biossólido, aumentando a

eficiência de absorção do sistema radicular perene, profundo e bem distribuído das árvores. Dessa maneira, os nutrientes do bio sólido, liberados de forma mais lenta, podem ser mais bem aproveitados pelas árvores, com menores perdas por lixiviação ou escoamento superficial.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) e o IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais), em parceria com a SABESP, vêm estudando desde fevereiro de 1998 a aplicação de bio sólido em plantações de *Eucalyptus grandis* na Estação Experimental de Itatinga/SP, pertencente a USP. Este estudo vem sendo realizado por uma equipe multidisciplinar, que integra professores dos Departamentos de Ciências Florestais, Solos e Nutrição de Plantas e do Setor de Química Analítica do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ (Poggiani et al., 2000).

O trabalho de pesquisa apresenta **três vertentes**, que o tornam relevante por sua multidisciplinaridade. A primeira refere-se ao **saneamento urbano**, envolvendo o estudo da reciclagem inter-ecossistêmica dos resíduos, que são gerados nas grandes cidades e devolvidos aos sistemas agroflorestais. Neste sentido, o projeto contribui de forma concreta e factível para que se possa dar um destino ambientalmente sustentável ao lodo produzido nas estações de tratamento de esgoto (ETEs). Em breve, a metrópole de São Paulo deverá produzir aproximadamente 1000 toneladas/dia de bio sólido, sendo que todas as cidades brasileiras também terão a obrigatoriedade de tratarem seus esgotos, adequando-se à legislação ambiental.

A **vertente ecológica**, está associada ao estudo da ciclagem dos nutrientes e demais elementos químicos nos ecossistemas das florestas plantadas, os quais podem ser beneficiados com um aumento de produtividade. Todavia, eventuais impactos desfavoráveis, também podem ser previstos através do monitoramento ambiental, que deve ser continuamente efetuado.

Finalmente, a **vertente silvicultural** está relacionada com a avaliação do efeito do bio sólido aplicado ao solo sobre o incremento da biomassa produzida nas plantações florestais de rápido crescimento. A biomassa produzida atende à demanda das empresas verticalizadas, que utilizam a madeira como matéria prima, como: papel e celulose, movelaria, laminados etc. Atualmente, as florestas plantadas suprem a totalidade da madeira destinada à produção de papel e celulose.

Até o momento, na Estação Experimental de Itatinga da USP, já foram instalados três talhões experimentais, totalizando 5 hectares, onde foram aplicados tratamentos com doses crescentes de bio sólidos provenientes da ETE de Barueri da SABESP.

PESQUISAS EM ANDAMENTO E RESPECTIVOS RESPONSÁVEIS

a) Projetos implantados desde 1998 na Estação Experimental de Itatinga da ESALQ/USP sobre o uso de biossólidos em plantações florestais.

1. Avaliação econômica do uso do biossólido produzido na ETE Baruari da SABESP (Prof. Luiz Carlos Estraviz Rodriguez)
2. Reflexos na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores (Prof. J. L. M. Gonçalves)
3. Ciclagem de nutrientes no ecossistema da floresta plantada (Prof. Fábio Poggiani)
4. Lixiviação de nitrato e metais pesados no solo (Prof. Maria Emília Mattiazzo-Prezotto)
5. Decomposição da carga orgânica do biossólido aplicado no solo (Prof. Elke J. B. N. Cardoso)
6. Reflexos sobre a cadeia alimentar a partir da vegetação do sub-bosque nos talhões experimentais. (Prof. Fábio Poggiani)

b) Novos projetos -outros biossólidos e projetos em áreas de empresas florestais associadas ao IPEF

1. Estudo sobre os processos de mecanização da disposição do biossólido nos talhões florestais (Prof. Fernando Seixas)
2. Rede experimental para estudo da disposição de biossólido em áreas de empresas florestais associadas ao IPEF (Prof. José Luiz Stape)
3. Avaliação da aplicação de biossólidos produzidos na ETEs: Barueri, Novo Mundo e São Miguel em plantações florestais na E. E. de Itatinga (Todos os membros da equipe de pesquisa)

ALGUNS RESULTADOS PRELIMINARES

Avaliação econômica do uso do biossólido

No estado de São Paulo, existe demanda para o uso de biossólidos como fertilizantes em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus*. Conforme evidenciado no estudo de Faria (2000), a produção atual de biossólido na ETE de Barueri poderá ser absorvida totalmente pelas plantações florestais num raio máximo de 60 km (observando as normas da legislação ambiental). Além disso, os resultados preliminares indicam que a distribuição do biossólido em plantações florestais será uma alternativa mais econômica do que sua colocação em aterros sanitários exclusivos por parte da SABESP.

Essa avaliação será complementada, ao final do experimento, com a determinação do nível de resposta às doses crescentes de biossólido em relação ao incremento da biomassa lenhosa produzida nos talhões florestais.

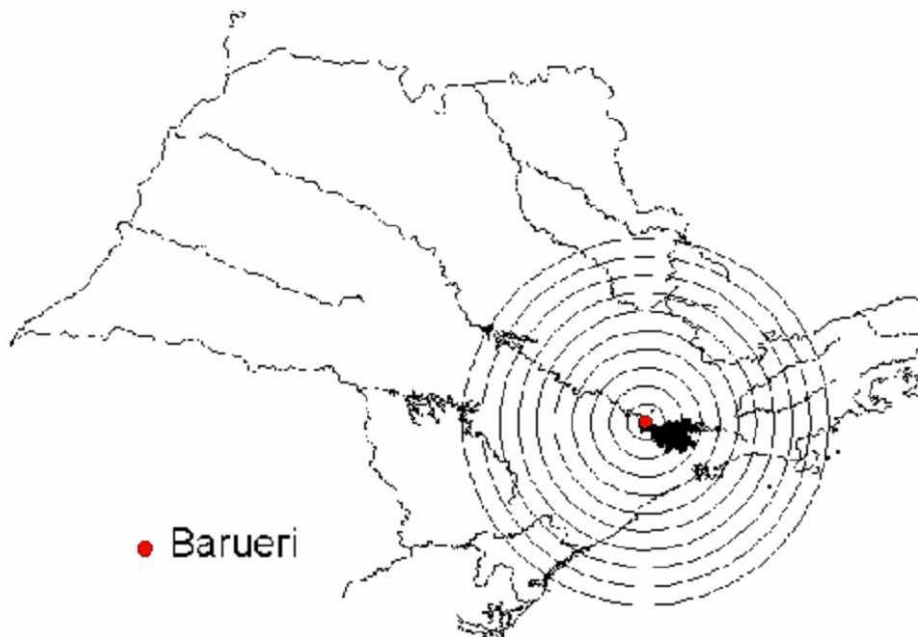


Figura 1. Representação esquemática da metodologia para diagnóstico potencial de uso do biossólido. (Faria, 2000).

A viabilidade do uso do biossólido está relacionada, portanto, com diversos fatores, tais como: umidade do produto a ser transportado, distância da floresta em relação à ETE que gera o biossólido, custo de distribuição do biossólido nos talhões florestais, resposta da floresta em termos de incremento volumétrico às diferentes doses de biossólido aplicado, etc.

Atualmente a SABESP vem fornecendo um novo tipo de biossólido seco e granulado, totalmente isento de patógenos, e que possibilita uma drástica redução no custo de transporte e de distribuição no campo.

Tabela 1. Raios econômicos de transporte do bio sólido, com 65% de umidade, para a fertilização de plantações florestais, considerando as variáveis “ganho de produtividade” e “doses de aplicação”.

Ganho de produtividade	Dose de aplicação do bio sólido (t ha ⁻¹ em base seca)		
	10	20	40
Estéreo/ ha ⁻¹	Raio econômico de transporte		
	km
30	< 1	< 1	< 1
60	43	< 1	< 1
90	208	11	< 1
120	-	42	< 1
150	-	105	4
180	-	207	11

Produtividade florestal e fertilidade do solo.

Esta parte da pesquisa avalia a resposta da aplicação de doses crescentes de bio sólido sobre o crescimento e a produção de biomassa lenhosa em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, comparativamente à adubação química, além de monitorar a evolução da fertilidade do solo e da nutrição mineral dos eucaliptos.

Tabela 2. Característica do bio sólido utilizado produzido pela ETE Barueri: elementos totais, base seca a 65°C, (Guedes, 2000).

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
C (g kg ⁻¹)	114,0	Cu (mg kg ⁻¹)	900
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	Na (g kg ⁻¹)	0,5
Ca (g kg ⁻¹)	95,0	Cd (mg kg ⁻¹)	21
Mg (g kg ⁻¹)	3,0	Pb (mg kg ⁻¹)	200
S (g kg ⁻¹)	6,0	pH em CaCl ₂	10,6

Os tratamentos definidos no projeto para avaliação do uso de biofóssido em florestas de eucaliptos foram os seguintes:

- 1) Testemunha absoluta;
- 2) Adubação mineral convencional em empresas florestais (1,5 t de calcário dolomítico ha⁻¹, 110 kg de NPK 0:45:0 ha⁻¹ (sulco de plantio), 150 kg de NPK 10:20:10 ha⁻¹ (sulco de plantio), 80 kg de NPK 20:0:20 ha⁻¹ (45 dias pós-plantio aplicado em meia lua ao redor da muda), 180 kg de NPK 16:0:32 + 0,3% B + 0,5% de Zn ha⁻¹ (6 a 12 meses pós plantio aplicado numa faixa contínua na entrelinha de plantio) e 240 kg de NPK 16:0:32 + 0,3% B + 0,5% Zn ha⁻¹ (12 a 18 meses pós plantio aplicado numa faixa contínua na entrelinha de plantio);
- 3) 5 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio;
- 4) 10 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio;
- 5) 10 t. de biofóssido seco ha⁻¹ sem complementação;
- 6) 10 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio e fósforo na base;
- 7) 15 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio;
- 8) 20 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio;
- 9) 40 t. de biofóssido seco ha⁻¹ complementado com potássio.

O levantamento realizado neste primeiro semestre de 2003, cinco anos após o início do experimento, indica o efeito positivo do biofóssido na produtividade dos eucaliptos. O melhor tratamento foi o que teve aplicação de 10 t/ha de biofóssido, complementado com fósforo e potássio. Este tratamento supera em 60% o resultado obtido no tratamento testemunha e mostra também um resultado superior à adubação química. A aplicação de 40 t/ha de biofóssido, acrescido apenas de potássio, gerou um crescimento 35% superior à testemunha e praticamente igual à adubação química. Sem dúvida, este resultado também é bastante satisfatório, mas poderá ser melhorado com algumas alterações técnicas, que já foram introduzidas nos experimentos mais recentes instalados com o uso de biofóssidos na E. Itatinga.

De uma maneira geral, a fertilidade do solo aumentou com as doses crescentes de biofóssido aplicado. Nas folhas dos eucaliptos, também foi observado um aumento dos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre (Guedes e Poggiani, 2003).

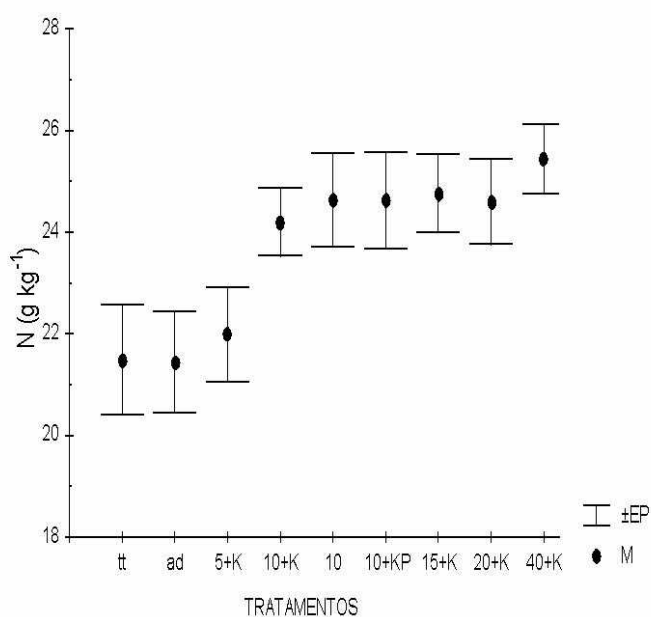


Figura 2. Valor médio (M) e erro padrão (EP) dos teores de N em folhas de eucalipto, coletadas em seis épocas (de 2 a 16 meses após aplicação do biossólido), para cada tratamento testado (N=24). Médias sob letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Teor médio \pm erro padrão (N=4) do teor de P nas folhas de eucalipto, em cada tratamento, para cada época de coleta.

	ÉPOCAS DE COLETA					
	09/98	11/98	01/99	03/99	07/99	11/99
	-----g kg ⁻¹ -----					
tt	0,9 \pm 0,16	0,8 \pm 0,06	1,1 \pm 0,11	1,2 \pm 0,04	0,8 \pm 0,04	1,0 \pm 0,12
ad	1,3 \pm 0,03	0,9 \pm 0,06	1,3 \pm 0,04	1,3 \pm 0,07	1,0 \pm 0,04	1,0 \pm 0,08
5+K	1,0 \pm 0,06	0,8 \pm 0,04	1,1 \pm 0,03	1,4 \pm 0,04	0,9 \pm 0,02	1,0 \pm 0,04
10+K	0,9 \pm 0,12	1,0 \pm 0,05	1,1 \pm 0,03	1,5 \pm 0,04	1,1 \pm 0,02	1,2 \pm 0,04
10	1,0 \pm 0,05	1,1 \pm 0,07	1,1 \pm 0,05	1,5 \pm 0,06	1,1 \pm 0,08	1,1 \pm 0,04
10+KP	1,3 \pm 0,00	1,0 \pm 0,03	1,0 \pm 0,06	1,6 \pm 0,02	1,3 \pm 0,04	1,3 \pm 0,05
15+K	1,0 \pm 0,03	1,0 \pm 0,05	1,0 \pm 0,08	1,6 \pm 0,06	1,1 \pm 0,06	1,2 \pm 0,04
20+K	0,9 \pm 0,09	1,1 \pm 0,07	1,0 \pm 0,08	1,6 \pm 0,06	1,1 \pm 0,04	1,2 \pm 0,04
40+K	0,9 \pm 0,10	1,2 \pm 0,04	1,0 \pm 0,10	1,6 \pm 0,07	1,4 \pm 0,04	1,4 \pm 0,04

Como resultado geral, observou-se que a aplicação de biofóssido alterou favoravelmente também o padrão de deposição de folhagem (folhas depositadas pelas árvores), em relação à testemunha e conseqüentemente à ciclagem dos nutrientes (Tabela 4). Verificou-se, também, um maior efeito da aplicação, principalmente, a partir do segundo ano de observações, indicando uma liberação lenta dos nutrientes contidos no biofóssido. Este aspecto pode ser favorável para culturas de ciclo longo como os eucaliptos, visto que reduz as perdas por lixiviação e permite que os nutrientes possam ser mais bem absorvidos pelo sistema radicular das árvores. Após dois anos e oito meses de coleta de folhagem, observou-se que os eucaliptos, que receberam 40 t/ha de biofóssido, produziram quase 5.000 Kg por hectare de biomassa foliar a mais do que o tratamento testemunha sem o biofóssido.

Tabela 4. Variação na biomassa seca, em kg ha⁻¹, de folhagem depositado pelos eucaliptos durante o período de setembro de 1999 a abril de 2002, em função dos tratamentos (TT) testados.

TT	Set. /99 a	Set. /00 a	2001				2002				total
	Ago. /00	Ago. /01	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	
tt	1976	4530	505	358	84	165	331	563	707	788	10008
ad	3338	5124	476	346	95	191	443	559	691	871	12134
10+KP	3715	5288	465	341	96	262	449	656	665	1130	13067
20+K	3234	5171	458	376	98	265	414	611	609	830	12067
40+K	4662	5926	495	404	115	270	494	749	825	1009	14947

Presença nitratos e de metais pesados no solo.

Também vem sendo estudada a lixiviação de nitratos e metais pesados no solo dos talhões florestais onde foi aplicado o biofóssido. Até o momento não foi detectado aumento na concentração de nitratos ou sua movimentação no perfil do solo, mesmo na dose mais elevada aplicada de 40 t/ha. Tampouco, foram observados acréscimos ou alterações dos metais pesados (Cu, Zn, Hg, Cd e Pb), o que indica que os teores biodisponíveis desses materiais são baixos no solo, nas várias profundidades amostradas, não apresentando perigo para a contaminação do solo ou das águas subterrâneas.

Disposição de biofóssido em empresas florestais: Rede Experimental e Teste de aplicação

Para um estudo operacional mais abrangente, quanto ao uso do biofóssido, está sendo montada também uma rede experimental em cooperação com o IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos

Florestais, a qual permitirá comprovar o efeito da aplicação de bio-sólidos em florestas plantadas localizadas em diferentes regiões do estado de São Paulo.

Já foram iniciadas as visitas às empresas florestais para vistoriar as áreas onde serão instalados os experimentos constantes da Rede Experimental de aplicação de bio-sólido em florestas.

As tabelas 5 e 6 mostram a caracterização dos locais onde esses testes serão instalados nas empresas associadas ao IPEF e o mapa de localização da rede experimental (Figura 3).

Ao todo 6 empresas implantarão a Linha de Ação A (Rede Experimental), em 1 ou 2 sítios, totalizando 8 ensaios, e 4 empresas implantarão a Linha de Ação B (Teste Aplicação).

Na linha de Ação A, cada ensaio possui parcelas sub-divididas, com 6 tratamentos: 3 níveis do fator parcela (sem fertilizante, só adubação de base, completa) e 2 níveis na sub-parcela (sem bio-sólido, e com 20 t/ha bio-sólido). A Tabela 5 apresenta a síntese da rede da linha de ação A.

Tabela 5. Caracterização da rede experimental bio-sólido SABESP em fase de implantação e que será integralmente montada até dezembro de 2003.

EMPRESA	LOCAL	SOLO	ESPÉCIE	TIPO	Trat.
nome	Município	Cód	Nome	Área	Adicional
Suzano	Angatuba	AQ	<i>E. grandis</i> *	Reforma	+ 1
VCP	L. Antonio	AQ	<i>E. gra x uro</i> *	Implant.	+ 2
	L. Antonio	LVE	<i>E. gra x uro</i> *	Implant.	+ 2
IPBr	M. Guaçu	LVA	<i>E. gra x uro</i> *	Reforma	+ 2
Ripasa	Ibaté	AQ	<i>E. grandis</i>	Reforma	+2
	Lençóis Pst	LVE	<i>E. grandis</i>	Reforma	+ 2
Duratex	Agudos	LVA	<i>P. caribaea</i>	Reforma	+ 2
Eucatex	Bofete	AQ	<i>E. grandis</i>	Reforma	+ 1

AQ = Neossolo Quartzarênico, LVA = Latossolo Vermelho Amarelo txt média, LVE = Latossolo Vermelho Escuro

* = Clone

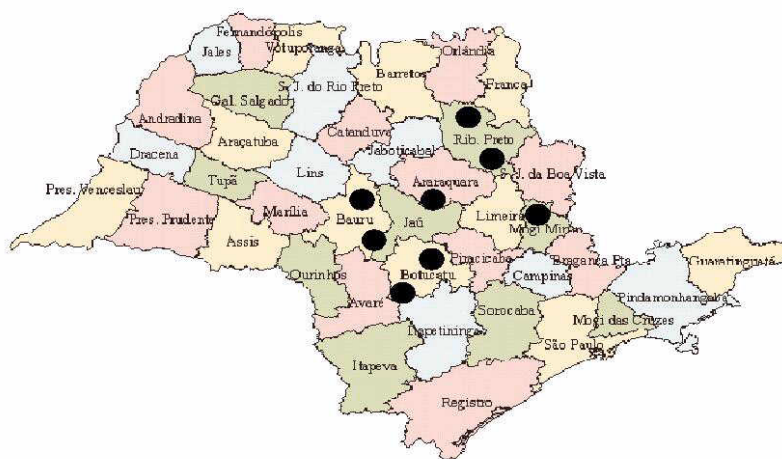


Figura 3. Mapa de localização dos 8 sítios pré-definidos para receberem a rede experimental de biossólido SABESP – peletizado, em 2003.

Na linha de Ação B, haverá 3 tratamentos (testemunha, biossólido, biossólido + correção nutricional) aplicados em faixas de 6 linhas por “n” metros, com no mínimo 4 repetições. As parcelas de mensuração serão locadas sistematicamente dentro destas faixas. Estima-se em no mínimo 2 ha para cada parcela operacional.

A Tabela 6 apresenta a síntese do interesse pelos testes de aplicação.

Tabela 6. Caracterização das áreas de teste de aplicação do biossólido SABESP em fase de planejamento 2003.

EMPRESA	LOCAL	SOLO	ESPÉCIE	TIPO
nome	Município	Cód	Nome	Área
VCP	L. Antonio	AQ	<i>E. gra x uro</i> *	2 a 4 anos
	L. Antonio	LVE	<i>E. gra x uro</i> *	2 a 4 anos
IPBr	M. Guaçu	LVA	<i>E. gra x uro</i> *	2 anos
Ripasa	Ibaté	AQ	<i>E. grandis</i>	2 a 3 anos
	Lençóis Pst	LVE	<i>E. grandis</i>	2 a 3 anos
Duratex	Agudos	LVA	<i>P. caribaea</i>	1 a 3 anos
Eucatex	Bofete	AQ	<i>E. grandis</i>	1 a 3 anos

AQ = Neossolo Quartzarênico, LVA = Latossolo Vermelho Amarelo txt média, LVE = Latossolo Vermelho Escuro

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETESB (Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental). *Manual técnico P 4.230*. ago./1999. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação**. São Paulo, CETESB, 1999. 32 p.
- FARIA, L.C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com biossólido da ETE de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta**. . Piracicaba, SP, 2000, 85p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- GUEDES, M.C. e POGGIANI, F. Variação nos teores de nutrientes em eucalipto fertilizado com lodo de esgoto (biossólido). *Scientia Forestalis*, No. 63, p: 13-23, Junho de 2003.
- GUEDES, M.C. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque em plantação de eucalipto**. Piracicaba, SP, 2000, 74p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- HART, J.B.; NGUYEN, P.V.; URIE, D.H.; BROCKWAY, D.G. Silvicultural use of wastewater sludge. *Jornal of Forestry*, v.86, n. 8, p.17-24, 1988
- POGGIANI, F. E BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucaliptos. São Paulo, *Revista Silvicultura*, No. 80, 1999, p. 48-52.
- POGGIANI, F., GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Eds): **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, cap. 8, p.163-178.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Eds): **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, cap. 4, p.69-106.