



**8º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**  
**BENEFÍCIOS, PRODUTOS E SERVIÇOS DA FLORESTA**

**8º Congresso Florestal Brasileiro**  
**De 25 a 28 de Agosto de 2003**  
**Pavilhão da ITM - Expo - São Paulo - SP**

**Patrocínio**



**Apoio**



De 25 a 28 de Agosto de 2003  
 ITM - EXPO - São Paulo/SP



**Sociedade Brasileira de Silvicultura**





## 8º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO

### BENEFÍCIOS, PRODUTOS E SERVIÇOS DA FLORESTA

#### M

Marcela Domingues Vitorino	123			
Marcelino Carneiro Guedes	208			
Marcelo G. Caxambu	110			
Marcelo Rodrigo Alves	116			
Marcelo Temps	044			
Márcia Cristina de Oliveira Moura	159			
Marcio Augusto R. Nahuz	148			
Marcio Barbosa da Conceição	038			
Márcio Flávio Guerra Duarte	123			
Márcio Lopes da Silva	011			
Márcio Lúcio dos Santos	141			
Márcio Pereira da Rocha	053	054		
Marco Antonio Amaro	158			
Marco Aurélio Busch Ziliotto	174			
Marco Aurélio Leite Rodrigo Martins	183			
Marco Aurélio Schroeder Queiroz	126			
Marcos André Piedade Gama	182			
Maria Cristina Bueno Coelho	176			
Maria das Graças Rodrigues Ferreira	081			
Maria Eliza Kovalski Ferreira	206			
Maria Eugenia Mendoza Álvarez	105			
Maria Fátima do Nascimento	072			
Maria José de Andrade C. Miranda	148			
Marília Locatelli	214			
Mário Dobner Júnior	095			
Marta Regina de Almeida Muniz	181			
Martha Andreia Brand	113			
Maurício Manoel Motter	048			
Mauro A. Jansen	201			
Mauro Lúcio Rodrigues de Assis	175			
Mauro R. A. Jansen	186			
Mauro Valdir Schumacher	019	051	335	
Michael Ivan Fenner	044			
Michelliny de Matos Bentes-Gama	097			
Milena Miciaru de Oliveira	199			
Milton Arantes Galvão	206			
Mírian Salgado	096			
Moacir Marcolin	195			
Moacyr Araújo Silva	158			

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I  
J  
K  
L  
M  
N  
O  
P  
Q  
R  
S  
T  
U  
V  
W  
X  
Y  
Z

# EFEITO DA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO (BIOSSÓLIDO) SOBRE A PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO FOLHEDO DE *Eucalyptus grandis* E SOBRE O RETORNO DE NUTRIENTES AO SOLO, EM ITATINGA-SP

**Marcelino Carneiro Guedes**

Doutorando ESALQ/USP, pesquisador da Embrapa Amapá  
[mcguedes@carpa.ciagri.usp.br](mailto:mcguedes@carpa.ciagri.usp.br)

**Fábio Poggiani**

Prof. ESALQ/USP [fpoggian@esalq.usp.br](mailto:fpoggian@esalq.usp.br)

**Vanderlei Benedetti**

Eng. Florestal ESALQ/USP [vandejupia@yahoo.com.br](mailto:vandejupia@yahoo.com.br)

## Resumo

O tratamento do esgoto urbano gera um resíduo denominado lodo de esgoto que pode ser utilizado para aumentar a produtividade de culturas agrícolas e florestais. Este artigo apresenta o efeito que a aplicação de doses crescentes de biossólido (0 a 40 t/ha), produzido na ETE de Barueri da SABESP – SP, provocou sobre o retorno de nutrientes ao solo, através da produção de folhodo (derrubada de folhas senescentes das árvores) e também sobre a taxa de decomposição do folhodo acumulado sobre o solo (manta orgânica) em um talhão experimental de *Eucalyptus grandis*, localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ/USP em Itatinga – SP. Após três anos de coleta mensal do folhodo, o tratamento onde foram aplicadas 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, depositou 4.828 kg ha<sup>-1</sup> de folhodo a mais do que o testemunha, devolvendo ao solo cerca de cinco vezes mais Ca, duas vezes mais N e três vezes mais P. Foi registrado também um aumento de 40% na taxa de decomposição do folhodo, quando comparado com o tratamento testemunha. Os vários resultados obtidos na Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ/USP em Itatinga, confirmam a hipótese de que a aplicação do biossólido altera os padrões de ciclagem dos nutrientes, intensificando o retorno de nutrientes e acelerando sua incorporação ao solo.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, biossólido, ciclagem de nutrientes, produção de folhodo, decomposição, *Eucalyptus grandis*.

## Abstract

Effect of sewage sludge (biosolid) on leaf-litter production, nutrient return and decomposition in a *Eucalyptus grandis* stand. The treatment of wastewater generates a residue (sewage sludge), that could be used to increase the productivity of agricultural or forest plantations. Increasing doses of biosolid, from 0 to 40 t ha<sup>-1</sup>, was applied on the soil of a young *Eucalyptus grandis* plantation. The plots, that received increasing doses of biosolid, produced proportionally more leaf-litter than the control. Leaf-fall in Eucalyptus plot, with 40 t ha<sup>-1</sup> of biosolid, increase nutrients turnover (from the trees to the soil) seven times more

for calcium, three times for phosphorus and twice for N, comparing to control plot. Also this treatment increased 40% the rate of decomposition of leaf-litter. The results confirms the hypothesis that biosolid application increases leaf-litter production, litter decomposition, soil fertility and stem increment.

**Key-words:** sewage sludge, biosolid, nutrient cycling, biogeochemistry, leaf-litter production, decomposition.

### **i) Introdução**

Nas últimas décadas, o processo desordenado de urbanização que ocorreu no Brasil criou graves problemas sociais e ambientais, destacando-se a enorme quantidade de resíduos urbanos gerados diariamente. Por exemplo, o lançamento direto e sem qualquer tratamento do esgoto nos cursos d'água, é uma das principais fontes de contaminação ambiental. Sabe-se que a decomposição da carga orgânica do esgoto diminui o nível de oxigenação da água, desequilibrando a cadeia trófica, e leva a graves problemas resultantes da eutrofização e conseqüente mortandade de peixes. A água contaminada por esgotos sanitários é um importante veículo de enfermidades parasitárias como, por exemplo, hepatite e cólera. Portanto, proteger os cursos d'água do excesso de carga poluente, que agrava a multiplicação de patógenos causadores de enfermidades humanas, é também uma questão de saúde pública. Atualmente, a maioria das cidades ainda despeja seus esgotos diretamente nos cursos hídricos, sendo que 47,8 % dos municípios brasileiros não possuem sequer rede de coleta do esgoto (Filho, 2002). Para tentar reverter ou, ao menos, amenizar o problema, foram criadas políticas de incentivo à instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nas cidades que, dentro de poucos anos, deverão tratar todos os esgotos produzidos, adequando-se à lei ambiental. Estima-se, por exemplo, que a Região Metropolitana da cidade de São Paulo, no ano de 2015, estará produzindo diariamente, cerca de 785 toneladas (base seca) de lodo de esgoto (Tsutiya, 2000). Por sua vez, o tratamento de esgoto gera inevitavelmente um resíduo potencialmente poluente, que é o lodo. Esse resíduo passa a se chamar biossólido após a devida higienização e análise de suas características, desde que se ateste que ele não oferece risco de contaminação, o que permite o aproveitamento de seu potencial fertilizante e condicionador de solos para promover o desenvolvimento de culturas agrícolas e florestais.

A Agenda 21 Brasileira, incentiva a utilização do lodo de esgoto doméstico como adubo orgânico, em práticas de conservação e recuperação dos solos, mediante a garantia de que não ocorram impactos ambientais negativos. Segundo Guedes (2000), o desenvolvimento da consciência ecológica e o avanço da legislação brasileira voltada para a proteção ambiental vêm exigindo de todas as empresas e setores um destino final ecologicamente adequado para todos os resíduos gerados.

No Brasil, a disposição final para o lodo de esgoto gerado nas ETEs municipais é geralmente o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a 50% do custo operacional de uma ETE, a disposição do lodo agrava ainda mais o problema, diminuindo a vida útil dos aterros destinados para a disposição do lixo

urbano, que deveriam receber apenas resíduos finais sem qualquer possibilidade de reciclagem. Na maioria dos países existem normas que regulamentam o destino a ser adotado, garantindo uma disposição segura do lodo. Segundo Matthews (1998), o futuro da disposição de lodo deverá ser, predominantemente a incineração ou o uso na agricultura, aproveitando seu potencial como fertilizante e condicionador de solos para promover o desenvolvimento das plantas. No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental elaborou normas para regularizar a utilização do biossólido (CETESB, 1999). Uma das alternativas mais promissoras para que as estações de tratamento de esgoto possam dar uma disposição final adequada ao lodo gerado, é sua utilização como biossólido em áreas florestais, aproveitando seu potencial como fertilizante e condicionador de solos, para melhorar o desenvolvimento de árvores (Poggiani e Benedetti, 1999).

Segundo Hart et al. (1988), a aplicação de biossólido em plantações florestais, apresenta uma série de vantagens em comparação com os sistemas agrícolas. Por exemplo, 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 consideráveis aumentos de biomassa e conseqüente estoque de nutrientes nos diferentes componentes: copa, tronco e raízes. O ciclo das culturas florestais é mais longo e a acumulação de biomassa durante esse período é uma maneira de armazenar certos elementos químicos eventualmente perigosos, que podem ser removidos do local com a colheita da madeira. Os solos florestais são geralmente de baixa fertilidade, resultando em melhor aproveitamento e menores perdas dos nutrientes adicionados via biossólido. As florestas plantadas oferecem menor oportunidade de contato humano com o biossólido aplicado. Além disso, o ciclo longo das culturas florestais permite maiores intervalos e uma maior dinâmica entre as aplicações, aumentando a eficiência de absorção do sistema radicular das plantas perenes, geralmente profundo e bem distribuído. Dessa maneira, os nutrientes do biossólido, liberados de forma mais lenta, podem ser melhor aproveitados pelas árvores, com menores perdas por lixiviação ou escoamento superficial.

De maneira geral, tanto na Europa quanto na América do Norte e na Austrália, existem diversas pesquisas com respostas favoráveis das espécies florestais de interesse silvicultural, principalmente as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, à adição de biossólido ( McNab e Berry, 1985; Phillips et al., 1986; Hart et al., 1988; Weetman et al., 1993; Henry et al., 1993; Henry et al., 1994; Polglase e Myers, 1995; Kaposts et al., 2000). Nos Estados Unidos, durante o ano de 1998, 41% do lodo produzido foi utilizado como fertilizante do solo para favorecer o desenvolvimento das culturas, incluindo as florestas (USEPA, 1999).

Considerando a hipótese inicial de que o biossólido é capaz de alterar os padrões de ciclagem de nutrientes em florestas e a fertilidade do solo, os objetivos deste trabalho foram: 1) verificar se ocorre maior produção de folheto nos tratamentos com doses crescentes de biossólido, propiciando maior retorno de nutrientes ao solo; 2) analisar o efeito do biossólido sobre a taxa de decomposição do folheto

acumulado no talhão experimental; 3) relacionar os itens anteriores com a evolução da fertilidade do solo.

## ii) Material e métodos

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, vinculada ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, localiza-se no município de Itatinga – SP entre os paralelos 23° 02' 01" e 23° 02' 30" latitude sul e os meridianos 48° 37' 30" e 48° 38' 34" longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 830 m. A estação dista aproximadamente 220 km da cidade de São Paulo, pela rodovia Castelo Branco. O clima local é do tipo CWa, segundo classificação de Köppen; ou seja, mesotérmico úmido com invernos secos.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo, suavemente ondulado, com baixos teores de nutrientes, ácido e textura arenosa e primitivamente sob vegetação de cerrado. Esse tipo de solo é um dos mais representativos das áreas onde atualmente se pratica a silvicultura com eucalipto no Estado de São Paulo. A área do talhão experimental era previamente ocupada por um povoamento de *Eucalyptus saligna* com idade aproximada de cinquenta anos submetido a vários ciclos de corte, sem receber nenhuma adubação. Para implantar este experimento, a madeira foi colhida e a área reformada com mudas originadas de sementes de *Eucalyptus grandis*, em março de 1998, no sistema de cultivo mínimo. Foi realizada capina química, utilizando glifosato, um mês após o plantio e efetuada a roçada manual treze meses depois. O controle de formigas cortadeiras foi realizado com iscas formicidas, a base de sulfluramida, pré e pós-implantação. Um ano após o plantio, foi aplicado fungicida Bayfidan (2 kg ha<sup>-1</sup>) para controle de ferrugem.

O bio sólido utilizado no experimento foi proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Barueri, região metropolitana de São Paulo. O material aplicado na área experimental foi produzido após tratamento biológico dos esgotos (digestão aeróbia do lodo ativado e digestão anaeróbia dos lodos primário e secundário) seguido de condicionamento químico com FeCl<sub>3</sub> e Ca(OH)<sub>2</sub> e desaguamento na fase final. As características do bio sólido utilizado são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização do bio sólido utilizado no experimento (elementos totais, base seca - 65° C), produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri.

C (g kg <sup>-1</sup> )	114,0	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	900
N (g kg <sup>-1</sup> )	26,6	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	39200
Relação C:N	4,3	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1500
P (g kg <sup>-1</sup> )	9,5	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	300
K (g kg <sup>-1</sup> )	1,3	Na (g kg <sup>-1</sup> )	0,5
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	95,0	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	21
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	3,0	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	200
S (g kg <sup>-1</sup> )	6,0	pH em CaCl <sub>2</sub>	10,6

Para distribuir o biossólido, com cerca de 60% de umidade, foi utilizada uma carreta com capacidade de 3 m<sup>3</sup> puxada por um trator. O biossólido foi aplicado em julho de 1998, a lanço em cobertura, seguindo uma faixa de 2 m de largura entre as linhas de plantio, evitando-se o contato direto com as mudas do eucalipto, que apresentavam em média cerca de 50 cm de altura.

O experimento foi implantado no esquema de blocos casualizados, definidos em função da declividade da área. Foram avaliados cinco tratamentos com quatro repetições, totalizando vinte parcelas. Cada parcela possui cem árvores plantadas em espaçamento de 3 x 2 m, totalizando 600 m<sup>2</sup> (30 x 20). A área útil da parcela é de 216 m<sup>2</sup>, englobando apenas as 36 plantas centrais. Os tratamentos aplicados foram:

**1)** testemunha absoluta (**tt**), sem adubação e sem aplicação de biossólido; **2)** adubação mineral (**ad**), conforme descrito por Vaz (2000), ou seja: 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (a lanço em área total), 110 kg ha<sup>-1</sup> de 0-45-0 (sulco de plantio), 150 kg ha<sup>-1</sup> de 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha<sup>-1</sup> de 20-0-20 (45 dias pós-plantio, aplicado em meia lua ao redor da muda), 180 kg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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)** 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido complementado com K e P na base (**10+KP**); **4)** 20 t ha<sup>-1</sup> de biossólido complementado com K (**20+K**) e **5)** 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido complementado com K (**40+K**).

As doses de biossólido foram calculadas em base seca. A complementação com K mineral (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) foi necessária porque o teor desse elemento no biossólido é baixo, assim como no solo da área experimental. O KCl foi colocado em cada tratamento onde foi aplicado biossólido, de acordo com a dose, até igualar a quantidade de K colocada no tratamento "ad" (125 kg ha<sup>-1</sup>). Para a suplementação de P no tratamento "10+KP", utilizou-se 80 kg ha<sup>-1</sup> de 0-45-0 aplicado no sulco do plantio.

Para estimar a produção de folheto no talhão, foram usados coletores que apresentam bordas de madeira, que prendem uma tela de nylon, com malha de 2 mm, fixados sobre quatro piquetes. A tela é disposta em forma de bolsa côncava e fica suspensa a 50 cm acima do solo. As bordas laterais dos coletores possuem 8 cm de altura e a área interna do coletor é de 0,3249 m<sup>2</sup> (57 x 57 cm). Os coletores foram dispostos no campo entre as linhas de plantio. No centro da área útil da parcela, foram colocados três coletores em diagonal, totalizando doze repetições para cada tratamento. O folheto vem sendo coletado, mensalmente, desde setembro de 1999, catorze meses após a aplicação do biossólido, quando as árvores possuíam dezoito meses de idade. O material dos três coletores de cada parcela, somados dois meses consecutivos, constitui uma amostra composta para análise química dos nutrientes.

Para coletar as folhas da manta florestal foi utilizado um coletor quadrado com 0,25 m<sup>2</sup> de superfície. Foram coletadas três amostras por parcela, seguindo a linha diagonal da área útil, na primeira coleta, e as linhas paralelas nas coletas

subsequentes, para evitar que se amostrasse o mesmo local, totalizando doze repetições por coleta para cada tratamento. Foram realizadas quatro coletas de folhede acumulado sobre o solo nas seguintes datas: 08/99, 02/00, 05/00 e 08/00. Tanto do folhede depositado, quanto do acumulado, foram descartados todos os demais componentes vegetais (ramos, cascas, flores, frutos e sementes) com a finalidade de homogeneizar a amostragem em todas as parcelas experimentais. Para analisar a concentração de nutrientes, as folhas (incluindo os pecíolos) foram secas a 65 °C, em estufa de ventilação forçada e moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 20 mesh). As análises químicas dos elementos (N, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, e Zn) contidos no material vegetal, foram realizadas no laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", seguindo metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

Os resultados do estudo de decomposição foram analisados conforme descrito por Olson (1963). Foi calculada a taxa de decomposição instantânea  $K = L Xss^{-1}$ , onde:

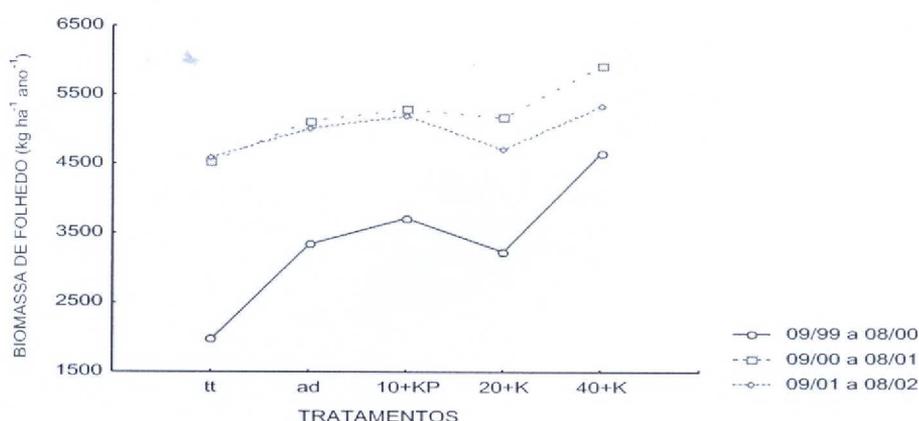
$L$  = quantidade de folhede produzida por ano ( $kg ha^{-1}$ ) e

$Xss$  = média de quatro amostras do folhede acumulado sobre o solo ( $kg ha^{-1}$ ) em diferentes épocas do ano. A partir desta equação, foi calculado o tempo médio de renovação

( $T$ ) =  $1 K^{-1}$ . Também foi estimado o período de meia vida de uma determinada quantidade de folhede, assumindo que o modelo para uma fração constante de perda de peso é expresso por uma função exponencial negativa [ $t_{0,5} = (-\ln 0,5) K^{-1}$ ].

### iii) Resultados e discussão

A Figura 1 mostra os valores do folhede produzido durante três anos de coleta, desde que essa foi iniciada em setembro de 1999, quando as árvores possuíam dezoito meses de idade, catorze meses após a aplicação do biofósforo.



**Figura 1.** Médias da produção (deposição) anual de folhede ( $n=12$ ) pelos eucaliptos com doses crescentes de biofósforo. Coletas realizadas em três anos consecutivos, desde quando as árvores tinham dezoito meses de idade até cinquenta e quatro meses.

Obs.: **tt** (testemunha), **ad** (adubação mineral), **10+KP** (10 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K e P mineral), **20+K** (20 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral), **40+K** (40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral)

Pode-se observar que a aplicação de bio sólido altera os padrões de produção de folheto e, conseqüentemente, a ciclagem dos nutrientes. Houve maior efeito das doses de aplicação de bio sólido no primeiro ano de coleta. A diferença entre a produção de folheto no tratamento que recebeu a maior dose de bio sólido (40+K) e o tratamento testemunha, nesse ano, foi de 2.686 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 2,4 vezes maior. Já no terceiro ano, por exemplo, essa diferença foi de 746 kg ha<sup>-1</sup>.

Entre setembro de 2000 e agosto de 2002, foram registrados valores superiores a 5 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de biomassa seca de folheto depositado sobre o solo. Essa é uma quantidade substancial de matéria orgânica e de nutrientes que estão sendo reciclados dentro do ecossistema, contribuindo para a sua sustentabilidade através do ciclo biogeoquímico. O ecossistema florestal tem a capacidade de enriquecer continuamente o solo com matéria orgânica, através da fixação em seus componentes de elevadas quantidades de CO<sub>2</sub> atmosférico. Schumacher (1992), trabalhando durante o período de 1989 a 1991, encontrou uma produção média de folheto correspondente 3.138 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para *Eucalyptus grandis* com 7 anos de idade, valor este similar ao encontrado neste trabalho para as plantas que receberam adubação mineral. Carpanezi (1980), também no interior do estado de São Paulo, observou uma deposição anual de 4.687 kg ha<sup>-1</sup> de folhas caducas de *Eucalyptus grandis* aos 5 anos de idade.

Calcula-se que, com a aplicação de 40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido, a área recebeu 4.560 kg de carbono orgânico por hectare (40 t ha<sup>-1</sup> x 114 g kg<sup>-1</sup>). Considerando os três anos de produção de folheto, as árvores do tratamento testemunha depositaram 11.096 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa de folheto, enquanto que as árvores, que receberam 40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido, depositaram 15.924 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 4.828 kg de folheto a mais. Por exemplo, considerando-se que aproximadamente 50% desse material é constituído por carbono orgânico, estima-se que a área do tratamento "40 t + K" foi enriquecida com 2.414 kg ha<sup>-1</sup> de carbono, apenas com a adição do folheto, sem considerar os demais componentes da floresta. Essa quantidade a mais de carbono, que entrou no ecossistema com a produção do folheto, representa 53% do total de carbono, inicialmente introduzido com a aplicação de 40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido. Observa-se, portanto, que além da matéria orgânica aplicada diretamente com o bio sólido, ocorre, ao longo do tempo, um efeito de adição suplementar de nova matéria orgânica, em virtude da maior produção de folheto nos anos sucessivos. Este fenômeno é desejável, principalmente em se tratando de solos pobres e com baixos teores de matéria orgânica, característicos das áreas onde se pratica o reflorestamento.

Multiplicando-se os teores de nutrientes pela fitomassa seca depositada podem ser estimados os estoques de nutrientes contidos no folheto produzido (Tabela 2).

**Tabela 2.** Conteúdo de nutrientes no folheto produzido anualmente pelas árvores, durante o período de setembro de 1999 a agosto de 2002.

TT	EPOCA	N	P	$kg\ ha^{-1}$			$g\ ha^{-1}$	
				Ca	Mg	S	Mn	Zn
tt	set/99 a ago/00	17,4	0,5	19,5	5,0	1,9	1951	14
	set/00 a ago/01	37,4	1,1	27,0	7,0	2,0	2851	41
	set/01 a ago/02	36,7	1,1	31,3	5,7	3,1	2305	31
	<b>TOTAL</b>	<b>91,5</b>	<b>2,7</b>	<b>77,8</b>	<b>17,7</b>	<b>7,0</b>	<b>7103</b>	<b>86</b>
ad	set/99 a ago/00	25,0	1,0	24,5	7,1	2,4	1767	17
	set/00 a ago/01	35,0	1,0	38,1	10,2	2,5	2268	41
	set/01 a ago/02	37,9	1,1	32,4	8,4	2,8	1845	32
	<b>TOTAL</b>	<b>97,9</b>	<b>3,3</b>	<b>95,0</b>	<b>25,7</b>	<b>7,7</b>	<b>5880</b>	<b>90</b>
10+KP	set/99 a ago/00	31,9	1,4	57,4	5,9	2,6	2221	27
	set/00 a ago/01	45,6	1,6	66,7	6,3	2,7	2079	50
	set/01 a ago/02	43,5	1,6	53,3	5,4	3,5	2038	43
	<b>TOTAL</b>	<b>121</b>	<b>4,6</b>	<b>177,4</b>	<b>17,6</b>	<b>8,8</b>	<b>6338</b>	<b>120</b>
20+K	set/99 a ago/00	35,0	1,4	88,4	6,2	2,6	2116	37
	set/00 a ago/01	48,0	1,8	108,8	6,6	3,3	1978	62
	set/01 a ago/02	40,3	1,6	78,7	4,9	3,3	1586	53
	<b>TOTAL</b>	<b>123,3</b>	<b>4,8</b>	<b>280,7</b>	<b>17,7</b>	<b>9,2</b>	<b>5680</b>	<b>152</b>
40+K	set/99 a ago/00	48,1	1,9	129,5	7,9	4,0	2361	54
	set/00 a ago/01	61,2	2,5	138,8	7,8	4,4	1709	78
	set/01 a ago/02	51,5	2,1	97,9	5,7	4,0	1415	67
	<b>TOTAL</b>	<b>160,8</b>	<b>6,5</b>	<b>366,2</b>	<b>21,4</b>	<b>12,4</b>	<b>5485</b>	<b>199</b>

Obs: **tt** (testemunha), **ad** (adubação mineral), **10+KP** (10 t ha<sup>-1</sup> de biofóssido complementadas com K e P mineral), **20+K** (20 t ha<sup>-1</sup> de biofóssido complementadas com K mineral), **40+K** (40 t ha<sup>-1</sup> de biofóssido complementadas com K mineral)

Observa-se que os eucaliptos, que receberam 40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido, retornaram cerca de quatro vezes mais Ca do que as árvores testemunhas e também das que receberam adubação mineral. Devido ao processo de tratamento do lodo de esgoto com a adição de cal, o bio sólido utilizado apresenta um teor elevado de Ca que acaba sendo incorporado ao solo. Como o Ca é praticamente imóvel na planta e se concentra nas folhas senescentes, há uma intensificação do efeito no bio sólido, quando se analisa esta variável.

O conteúdo de N no folheto também aumenta com a dose de bio sólido aplicada, apesar da elevada mobilidade e da eficiente ciclagem bioquímica deste elemento. As árvores testemunhas bem como as fertilizadas com adubação mineral retornaram respectivamente 91,5 e 97,9 kg ha<sup>-1</sup> de N, durante os três anos de deposição de folheto. Porém, os eucaliptos que receberam 40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido, retornaram 160,8 kg ha<sup>-1</sup>.

Pode-se observar ainda, que apesar dos baixos valores absolutos de P contido nos folhetos, os efeitos dos tratamentos são bastantes pronunciados. O conteúdo de P no folheto do tratamento "40+K" foi três vezes superior ao tratamento testemunha e duas vezes superior ao tratamento com adubação química. Nota-se portanto, um benéfico incremento tanto do nitrogênio como do fósforo, que está reciclando no ecossistema via serapilheira.

Em relação ao Mn, houve diminuição do teor desse elemento no folheto com o aumento da dose e, conseqüentemente, também houve diminuição no conteúdo devolvido ao solo, apesar da maior produção de folheto nos tratamentos com bio sólido. Na mesma área experimental, foi observado que os eucaliptos que foram fertilizados com bio sólido também apresentaram redução do teores de Mn nas folhas do terço superior da copa, ao longo dos primeiros meses de crescimento (Guedes e Poggiani, 2003). Segundo esses autores a diminuição do teor de Mn, com o aumento da dose de bio sólido, pode ser considerada benéfica para o eucalipto. Normalmente, o eucalipto não tem problemas com a deficiência de Mn; entretanto, podem ocorrer problemas de excesso e toxicidade. É considerável, portanto, o efeito direto do bio sólido sobre a quantidade de nutrientes que retornam ao solo através das folhas caducas, em função das doses crescentes aplicadas. Conseqüentemente, também foi observado o efeito positivo da adição do bio sólido no incremento volumétrico das árvores (Guedes, 2000).

A Tabela 3 mostra os valores de folheto seco acumulado sobre o solo nas parcelas dos tratamentos testados, em quatro épocas de coleta. Observa-se que a quantidade de folheto acumulado é mais abundante no mês de agosto, coincidindo com o período de menor temperatura e precipitação, o que dificulta a decomposição e a incorporação do material orgânico ao solo.

**Tabela 3.** Valores médios (N=12)  $\pm$  o erro padrão do peso seco do folheto acumulado sobre o solo em cada época de coleta e respectivas médias (N=48), considerando todas as épocas.

Data de coleta	TRATAMENTOS				
	tt	ad	10 + KP	20 + K	40 + K
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
08/99	3952 $\pm$ 333	4310 $\pm$ 148	4970 $\pm$ 363	4368 $\pm$ 283	5045 $\pm$ 296
02/00	810 $\pm$ 186	1612 $\pm$ 156	1106 $\pm$ 118	1364 $\pm$ 291	1334 $\pm$ 156
05/00	1603 $\pm$ 163	3288 $\pm$ 235	3270 $\pm$ 162	2783 $\pm$ 240	3397 $\pm$ 146
08/00	1701 $\pm$ 292	3824 $\pm$ 277	3852 $\pm$ 234	2755 $\pm$ 253	3667 $\pm$ 209
<b>média</b>	<b>2016</b>	<b>3258</b>	<b>3300</b>	<b>2818</b>	<b>3361</b>

Obs.: **tt** (testemunha), **ad** (adubação mineral), **10+KP** (10 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K e P mineral), **20+K** (20 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral), **40+K** (40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral).

Observa-se, que a quantidade de folheto acumulado na área testemunha, foi sempre menor do que em todos os demais tratamentos. Utilizando os dados do folheto acumulado sobre o solo e do folheto depositado pelas árvores, pode-se calcular a taxa instantânea de decomposição (K) e os índices derivados, de acordo com a equação matemática estabelecida por Olson (1963). Segundo este autor o valor K representa a relação entre a quantidade de serapilheira (folheto) depositada por hectare/ano e a quantidade acumulada por hectare sobre o solo. Portanto, quanto maior o valor de K, maior será a taxa instantânea de decomposição. Os resultados nos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Taxa instantânea de decomposição (K), tempo médio de renovação (1/K) e tempo necessário para decomposição de 50% das folhas acumuladas na serapilheira (t<sub>0,5</sub>), em função dos tratamentos testados.

Tratamento	K	1/K (anos)	t <sub>0,5</sub> (anos)
tt	0,98	1,02	0,71
ad	1,02	0,98	0,68
10+KP	1,13	0,88	0,61
20+K	1,15	0,87	0,60
40+K	1,39	0,72	0,50

Obs.: **tt** (testemunha), **ad** (adubação mineral), **10+KP** (10 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K e P mineral), **20+K** (20 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral), **40+K** (40 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido complementadas com K mineral).

O folheto produzido pelas árvores do tratamento testemunha (tt) apresentou a menor taxa de decomposição, enquanto que o tratamento onde foi aplicada a maior dose de bio sólido, apresentou a maior taxa, assim como menor tempo de

renovação e tempo de meia vida. O tratamento "40+K" aumentou em 40% a decomposição do folheto, quando comparado com o tratamento testemunha. Esse fato indica, que o biofóssido acelera a decomposição do folheto e a liberação de nutrientes para serem reciclados pelas plantas. Esse efeito pode ser atribuído a fatores como: melhor qualidade do folheto produzido com a adição de biofóssido (mais rico em nutrientes, principalmente N) e maior ativação da mesofauna e dos microorganismos do solo, devido ao aumento da matéria orgânica e melhoria da fertilidade da área onde foi aplicado o resíduo. Poggiani (1985), no interior do estado de São Paulo, encontrou os valores de  $K = 0,56$  para o folheto acumulado sobre o solo de um povoamento de *Eucalyptus saligna* e, respectivamente, de 0,41 e 0,37 para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Sabe-se que os pinheiros apresentam usualmente uma lenta decomposição de suas acículas.

Quanto à fertilidade do solo, segundo as pesquisas desenvolvidas por Vaz (2000) e Rocha (2002), que também desenvolveram seus estudos no mesmo talhão experimental, foi observado aumento do pH e das concentrações de nitrogênio, fósforo, enxofre e cálcio, em consonância com o aumento das doses de biofóssido. Nas folhas dos eucaliptos houve ao longo do tempo um aumento de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre; mas, foi observada uma redução na concentração do Mn com as doses mais elevadas de biofóssido (Guedes e Poggiani, 2003).

Isso denota o grande potencial do biofóssido como substituto da adubação química, desde que ocorram as complementações necessárias para fornecer os nutrientes, que se encontram usualmente em baixa concentração no biofóssido, como por exemplo o potássio.

#### **iv. Conclusões**

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a aplicação do biofóssido altera os padrões de ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em plantações florestais de eucalipto, aumentando a produção de folheto e conseqüentemente o retorno dos nutrientes ao solo, bem como a taxa de decomposição do folheto acumulado sobre o solo. Este fato deve interferir também na fertilidade do solo, aumentando o pH e principalmente a concentração dos elementos N, P, Ca e S.

#### **v) Referências Bibliográficas**

Carpanezi, A. P. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucaliptos no interior do Estado de São Paulo**. Piracicaba, SP, 1980, 107 p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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.

- Filho, F. A. País sujo. **Isto É**. Edição 1696, 03 de abril, 2002, p. 74-80.
- 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.; Brorockway, D.G. Silvicultural use of wastewater sludge. **Journal of Forestry**, v.86, n. 8, p.17-24, 1988.
- Henry, C.L.; Cole, D.W.; Harrison, R.B.; Bengtsson, J.; Lundkvist, H. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Packe Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v.66, n.1/3, p.137-49, 1994.
- Henry, C.L.; Cole, D.W.; Hinckley, T.M.; Harrison, R.B. The use of municipal and pulp paper sludges to increase production in forestry. **Journal of Sustainable Forestry**, v.1, n.3, p.41-45, 1993.
- Kaposts, V.; Karins, Z. e Lazdins, A. Use od sewage sludge in forest cultivation. **Baltic Forestry**, v.6, n.2, p.24-28, 2000.
- 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.
- Matthews, P. Sustainability in biosolids management. **Water Science Techninology**, 38(2): 97-102, 1998
- McNab, W.H.; Berry, C.R. Distribution of aboveground 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.
- Olson, J.S Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v.44, n.2, p.322-331, 1963.
- Phillips, R.P.; Fichsr, J.T.; Mexal, J.G. Fuelwood production utilizing *Pinus eldarica* and sewage sludge fertilizer. **Forest Ecology and Management**, v.16, p.95-102, 1986.
- Poggiani, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus***. Implicações silviculturais. Piracicaba, SP, 1985, 211p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- 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.
- Polglase, P.J.; Myers, B.J. Tree plantation for recycling effluent and biosolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G. (Ed). **Environmental management: the role of eucalypts and other fast growing species**. Proceedings of the Joint Australian/Japanese Workshop held in Australia, 1995, p. 100-109.
- Rocha, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido**. Piracicaba, SP, 2002, 48p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo
- Schumacher, M.V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. torelliana* F. Muell**. Piracicaba, SP, 1992, 87p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Tsutiya, 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.
- USEPA (U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). EPA 530-R-99-009. **Biosolids generation, use, and disposal in the United States**. Solid Waste and Emergency Response (5306W), Office of Solid Waste, Washington. 74p. 1999.
- Vaz, L. M. S. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido**. Piracicaba, SP, 2000, 41p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Weetman, G.F.; McDonald, M.A.; Prescott, C.E.; Kimmins, J.P. Responses of Western hemlock, Pacific silver fir and Western red cedar plantations on northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, v.23, n.9, p.1815-1820, 1993.