

Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucaliptos

Por: Fábio Poggiani e Vanderlei Benedetti

Muitos dos resíduos produzidos pela sociedade moderna são de origem biológica e, neste sentido, poderiam ser devolvidos ao solo de culturas agrícolas ou florestais para supri-lo com nutrientes, evitando-se, ao mesmo tempo, a formação de enormes depósitos (aterros) geralmente localizados na periferia das grandes cidades, os quais acarretam custos elevados para Estados e Municípios, além de sérios problemas de caráter ambiental, social e paisagístico. As centenas de toneladas de lodo produzido diariamente, resultante do tratamento de esgoto, principalmente nas cidades de porte médio e nas grandes metrópoles, representam atualmente um dos maiores desafios para os administradores e ambientalistas que procuram encontrar um destino adequado para esse resíduo. Portanto, as plantações florestais podem constituir-se em áreas adequadas, não apenas para a produção de madeira visando a atender à enorme demanda da sociedade, mas também para a fixação do CO₂ e para a reciclagem dos resíduos orgânicos, provenientes dos centros urbanos, com reflexos positivos na produtividade florestal.

A PRODUÇÃO E O DESTINO DO LODO URBANO

A produção de lodo depende da proporção de esgoto coletado e tratado, que apresenta desde percentuais muito elevados, ao redor de 90% nos países mais evoluídos, até proporções muito baixas e aquém do desejável em países em via de desenvolvimento. Muitos países europeus e da América do Norte utilizam o lodo de esgoto urbano em áreas de culturas



Ensaio instalado na Estação Experimental de Itatinga (Esalq/USP) para avaliar os efeitos da aplicação do biossólido em florestas de Eucaliptus.

agrícolas ou em plantações florestais. Por exemplo, a França, a Inglaterra e países da Escandinávia utilizam até dois terços do lodo urbano produzido na agricultura. Em média a produção anual em peso seco de lodo da Europa gira ao redor de 7 milhões de toneladas (Rogalla, 1998).

A utilização do lodo de esgoto urbano como fertilizante orgânico para aumentar a produtividade de culturas anuais e perenes tem sido estudada por vários pesquisadores em diferentes partes do mundo (Hansen & Jorgensen, 1991; Andreoli & al., 1994; Henry & al., 1994). Nas condições brasileiras, vários trabalhos vêm sendo efetuados em áreas agrícolas com resultados promissores, principalmente nos Estados de São Paulo, do Paraná e de Santa Catarina (SANEPAR, 1996), mas não existem pesquisas conclusivas com plantações florestais. Poucos trabalhos foram desenvolvidos utilizando-se, por exemplo, o

lodo como substrato em condições de viveiro para a produção de mudas florestais (Morais et al., 1997).

De maneira geral, tanto na Europa como na América do Norte e Austrália, existem registros de respostas favoráveis das espécies florestais de interesse silvicultural à adição de lodo de esgoto. Na Inglaterra, Dutch & al. (1994) relatam que a aplicação do lodo urbano (entre 13 e 26 t/ha, em peso seco), incrementou consideravelmente o crescimento de plantações florestais de *Picea sitchensis*, sem afetar significativamente o solo e a qualidade da água do lençol freático e dos mananciais. Henry & al. (1994) relatam diversos experimentos realizados no Estado de Washington (EUA), assinalando que a aplicação do lodo beneficia os sítios florestais através de resultado imediato que pode ser constatado pelo crescimento das árvores e da vegetação do sub-bosque. A vantagem do lodo, em rela-

ção aos fertilizantes minerais, consiste em proporcionar de forma contínua a liberação do nitrogênio para o solo e para o sistema radicular das árvores, ao longo de vários anos, garantindo desta forma a manutenção do teor deste elemento nas folhas, com reflexo positivo na produtividade (Zabowski & Henry, 1994). Esses autores, entretanto, assinalam que, em certos casos, foram observados alguns desequilíbrios nutricionais relacionados principalmente ao magnésio e aos micronutrientes e sugerem que o monitoramento das plantações torna-se necessário para corrigir possíveis transtornos através da adequação das doses de lodo aplicadas ao plantio. Portanto, uma atenção particular deve ser dada à dinâmica do nitrogênio, fósforo e metais pesados, tanto no solo, como nos componentes das biomassas arbórea, arbustiva e herbácea. O estudo contínuo da ciclagem de vários elementos químicos (nutrientes e metais pesados) em plantações florestais torna-se necessário para verificar seu deslocamento no ecossistema e suas conseqüências sobre a fisiologia dos vegetais presentes, além das possíveis implicações sobre os microrganismos, a mesofauna e os animais silvestres.

Na Austrália, o lodo de esgoto vem sendo estudado com a perspectiva de aumentar a produtividade de planta-

ções florestais de eucaliptos (Ryan, 1991). O lodo de esgoto urbano, devidamente tratado, constitui-se num produto rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, cálcio (este último proveniente principalmente do processo de tratamento) e micronutrientes, além de ter a capacidade de agregar partículas minerais, podendo melhorar as características físicas e químicas do solo.

Em condições brasileiras, principalmente nas áreas de cerrado, onde a silvicultura com espécies de rápido crescimento (eucaliptos e pinheiros) é amplamente praticada, observa-se uma baixa disponibilidade de macro e micronutrientes. A utilização de resíduos, principalmente aqueles com elevados teores de matéria orgânica, tem se mostrado promissora, visto que possibilita o fornecimento completo e mais equilibrado dos nutrientes e pode reduzir significativamente as perdas por lixiviação. Uma grande vantagem da aplicação do lodo de esgoto nas plantações florestais deve-se também ao fato de que os principais produtos, dessas culturas perenes não se destinam à alimentação humana ou animal, dando portanto maior segurança quanto à possibilidade de controlar a dispersão de eventuais contaminantes, desde que cuidados prévios sejam tomados em relação à localização dos talhões e à forma e dosagem de aplicação do lodo.

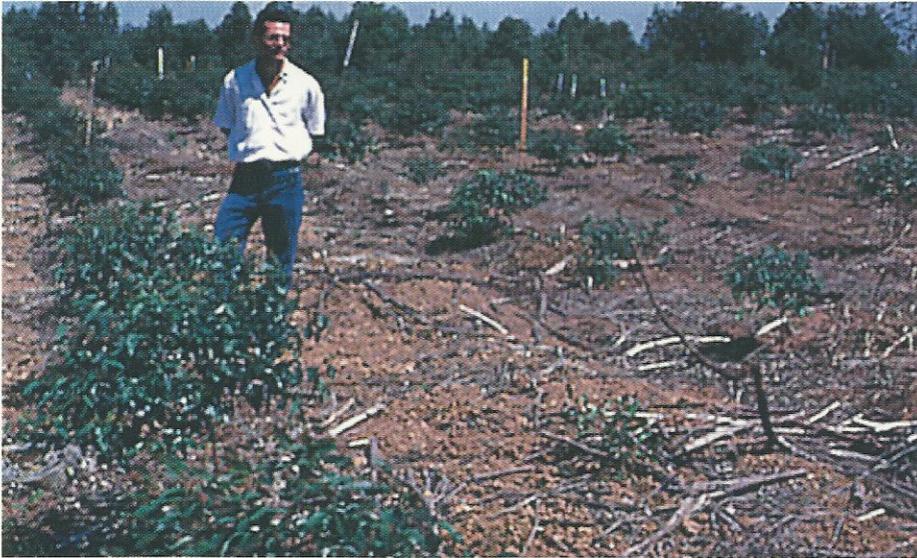
Na verdade, o lodo de esgoto não deve ser aplicado diretamente nas áreas agrícolas ou florestais, mas necessita ser submetido preliminarmente a uma série de tratamentos anaeróbicos e/ou aeróbicos com a finalidade de reduzir sua carga orgânica e também a processos de higienização, visando inviabilizar a presença de agentes patogênicos como bactérias, ovos de helmintos e cistos de protozoários que possam eventualmente pôr em risco a saúde humana e animal. A WEF (Water Environmental Federation), recomenda a utilização do termo "biossólido" para designar o lodo tratado ou beneficiado de estações de tratamento de esgotos (ETEs). No Brasil, diversos estudos vêm sendo realizados por entidades municipais e estaduais responsáveis pelo saneamento ambiental e conseqüente destino do lodo produzido. Dentre estas instituições destacam-se a Cetesb e a Sabesp no Estado de São Paulo e a Sanepar no Estado do Paraná.

Os diversos processos de tratamento e higienização do lodo influem consideravelmente em suas características físicas, químicas e biológicas e, conseqüentemente, na qualidade do biossólido produzido com nítidos reflexos sobre a fertilidade do solo, mesofauna e a produtividade do ecossistema onde ele for aplicado. Diver-

Tabela 1 Caracterização química de biossólidos utilizados em alguns experimentos no Brasil e exterior.

N	P	K	Org.	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Cr	Ni	Pb	pH	Fte.
g/kg							mg/dm ³								
22	10	2	71	15	4	50	905	1800	505	25	645	445	265	10,2	A
40	20	4	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B
25	19	2	-	13	2	-	375	700	660	15	1000	180	300	-	C
13	26	3	160	-	6	54	1039	4151	400	11	884	562	730	-	D
-	-	-	300	-	-	-	707	1880	820	8	74	593	119	6,0	E
59	33	-	-	-	-	-	570	880	350	250	1880	-	-	-	F
19	8	1	-	36	3	-	217	525	157	2,3	108	14	124	-	G
18	9	-	163	-	-	70	101	137	187	4,1	102	77	117	6,8	H
20	12	1	-	25	40	61	335	151	-	0,5	24	10	88	6,1	I

Fontes: a- Silva (1995); b- USDA (1980); c- Giordano & Mays (1981); d- Bettiol & Carvalho (1982) e- Bettiol & al. (1982); f- Fiskell & al. (1990); g- Labrecque & al. (1995); h- Tsadilas & al. (1995); i- Wen & al. (1997).



Implantação do projeto (tratamento com 40 t de biossólido/ha).

Os fatores influem na qualidade do biossólido produzido e podemos citar como exemplo: o pH, a carga de matéria orgânica, o teor de macro e micronutrientes, a concentração de metais pesados e o nível de higienização. Alguns dados sobre as características químicas de diferentes biossólidos podem ser observados na Tabela 1 (Guedes & Poggiani, 1999).

O USO DO BIOSSÓLIDO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO.

Nos Estados Unidos as pesquisas com o uso de biossólidos em áreas florestadas vêm sendo desenvolvidas

desde a década de 70. Na Austrália, estas pesquisas são mais recentes e incluem, entre outras espécies, o uso de pinheiros e de eucaliptos (Polglase & Myers, 1996).

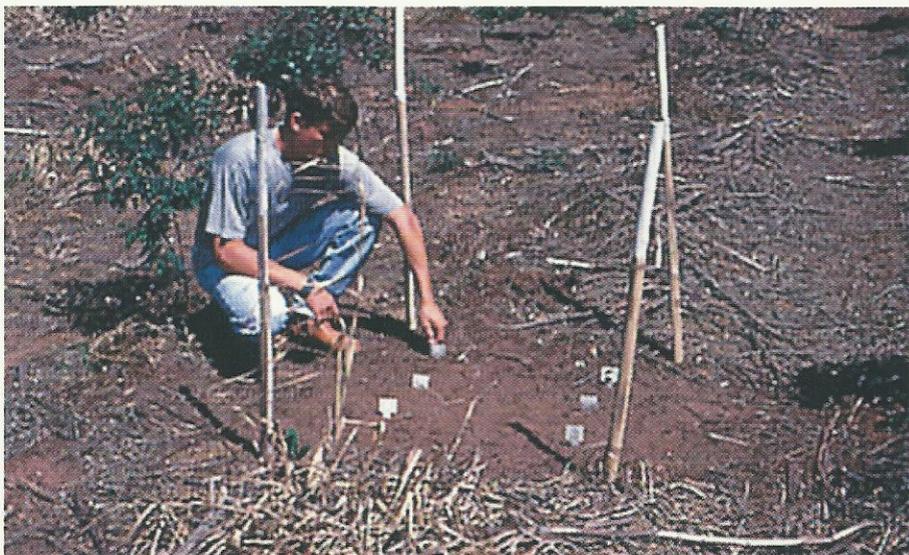
Neste país as normas técnicas de aprovação para o uso dos biossólidos em florestas plantadas são muito mais tolerantes do que as normas previstas para os biossólidos que se destinam a plantações agrícolas, visto que a presença de contaminantes ou de metais pesados em florestas plantadas não é considerada um risco direto para a cadeia alimentar. No Estado de São Paulo, as áreas florestadas com espécies de eucaliptos e pinheiros, utilizadas para a produção de celulose e

madeira para serraria, ocupam uma superfície de aproximadamente 800.000 hectares e parte delas poderia ser beneficiada com a aplicação de biossólido, uma vez superada a fase experimental destinada a esclarecer os resultados referentes aos ganhos silviculturais e à maneira de se controlar ou minimizar os eventuais impactos sobre o ambiente. Em São Paulo, a SABESP que é a entidade responsável pelo tratamento das águas servidas da região metropolitana, está fortemente empenhada em dar um destino, ecologicamente adequado, para as centenas de toneladas de lodo produzido diariamente em suas estações de tratamento. Uma das alternativas mais viáveis seria o uso do lodo tratado para melhorar a fertilidade de solos destinados para a agricultura e principalmente para as culturas florestais de rápido crescimento que demandam uma expressiva quantidade de nutrientes.

OBJETIVO E ESTRUTURA DO PROJETO IMPLANTADO EM ITATINGA/SP

Neste ensaio elaborado pelo IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, em parceria com a Sabesp, está sendo estudado o efeito do lodo de esgoto produzido na região metropolitana de São Paulo em talhões florestais de *Eucalyptus grandis*, localizados em duas áreas, com diferentes tipos de solo, situados na Estação Experimental de Itatinga - SP e sob a supervisão do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Devido à amplitude do ensaio, que abrange aspectos silviculturais e ambientais, foi necessário reunir uma equipe multidisciplinar de pesquisadores da ESALQ/USP, do IPEF e da SABESP. Pretende-se com este estudo, programado para um período mínimo de 4 anos, verificar o efeito do biossólido sobre o crescimento das árvores, da vegetação rasteira e incremento da biomassa lenhosa, bem como monitorar as alterações sobre as características físico/químicas do solo, movimentação de nutrientes e metais pesados no solo e nas plantas,

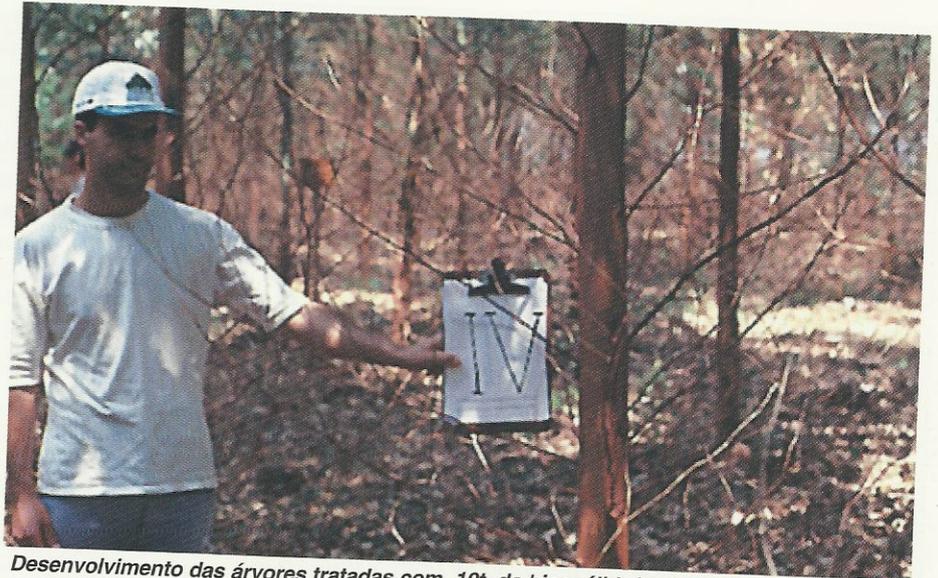


Subparcela dentro do projeto para avaliação da decomposição da carga orgânica.

eventuais efeitos sobre a qualidade da água e sobre a vida silvestre. É importante assinalar que este estudo servirá para estabelecer critérios específicos para o uso de biofóssido em florestas plantadas, contribuindo, desta maneira, com as entidades governamentais que visam a estabelecer indicadores ambientais, como já vem ocorrendo em países com maior tradição na reciclagem dos resíduos urbanos e industriais.

Os resultados obtidos deverão ser prontamente avaliados pelas empresas de reflorestamento que atuam no Estado de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso e que geralmente utilizam solos de baixa fertilidade para a implantação de florestas para suprir as demandas de celulose, chapas, carvão vegetal, etc. Tendo em vista o interesse já demonstrado pelas empresas associadas ao IPEF, o experimento poderá também, num futuro próximo, ser repetido em outras localidades com diferentes condições de clima e de solo.

O Projeto integra sete subprojetos e a pesquisa envolve atualmente, além de professores e engenheiros do Ipef/Esalq/USP e da Sabesp, também dois alunos de Pós-Graduação em nível de Doutorado e quatro alunos de



Desenvolvimento das árvores tratadas com 10t. de biofóssido/ha + aplicação de P na base.

Mestrado. Veja os subprojetos com suas respectivas equipes na tabela 2.

RESULTADOS PRELIMINARES

Espera-se que os estudos em desenvolvimento em Itatinga possam fornecer, em breve, ao meio científico e ao setor florestal, os indicadores básicos sobre a viabilidade ecológica, silvicultural e econômica do uso do biofóssido produzido pela SABESP em florestas plantadas. As observações efetuadas até o pre-

sente evidenciam uma nítida vantagem da aplicação do biofóssido com adição de fósforo na fertilização de base em relação à simples fertilização mineral (30% de ganho em volume cilíndrico). É preciso salientar, ainda que, novos estudos quanto ao acondicionamento final do biofóssido a partir do lodo de esgoto poderão gerar tecnologias inovadoras e permitir o aprimoramento das técnicas silviculturais, reduzindo os impactos ambientais e otimizando os rendimentos econômicos. 

(Tabela 2) Subprojetos e suas equipes

SUBPROJETO 1 - Diagnóstico do Potencial de Utilização e Avaliação Econômica do Uso do Biofóssido em Plantações de Eucaliptos

Prof. Luiz Carlos Estraviz Rodriguez e Eng. Luiz Carlos de Faria

O estudo tem como objetivo desenvolver as análises econômicas necessárias para a avaliação da viabilidade de uso do biofóssido como fertilizante e condicionador do solo. Considerando que a área florestada com eucaliptos no Estado de São Paulo é a que apresenta o maior potencial de uso, vêm sendo realizados levantamentos detalhados sobre as culturas deste gênero. As questões econômicas são de crucial importância e a sua análise permitirá determinar os raios máximos de transporte economicamente viável, as doses ótimas de aplicação do biofóssido no campo e sua relação custo/benefício, considerando os resultados silviculturais e os eventuais impactos ecológicos.

SUBPROJETO 2 - Caracterização do Lodo Produzido pela Usina de Barueri/SABESP

Eng. Jorge Sérgio Moreira, Eng. Ivan Norberto Borghi e Eng. Pedro Giusti.

O biofóssido utilizado nos experimentos de campo proveniente da ETE Barueri é preparado pela equipe da SABESP, sendo caracterizado por amostras representativas, coletadas como preceitua a NBR 10.007. Estas amostras estão sendo analisadas para determinação das concentrações de seus constituintes físico-químicos e microbiológicos em função das quais o lodo é qualificado para aplicação na floresta. Os resultados das análises são avaliados pela SABESP, quanto aos aspectos físicos, químicos e sanitários, visando a emissão de uma Certificação de Qualidade. Uma adequada mistura do lodo com cal virgem, efetuada antes do transporte para o campo, garante a ausência de patógenos no lodo utilizado nas parcelas experimentais.

SUBPROJETO 3 - Efeito do Biossólido na Fertilidade do Solo e no Crescimento das Árvores

Prof. José Leonardo M. Gonçalves, Prof. José Luiz Stape, Biólogo Luciano Mendes Souza Vaz e Eng. Rildo Moreira e Moreira.

Os objetivos do projeto consistem em avaliar a resposta da aplicação de doses crescentes de biossólido sobre o crescimento e a produção de biomassa de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, comparativamente à adubação química e avaliar o efeito da aplicação deste resíduo na fertilidade do solo e nutrição mineral dos eucaliptos.

Este estudo vem sendo realizado nas 2 áreas de plantios comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. O tipo de solo da área experimental é caracterizado como pertencente à Classe dos Latossolos Vermelho-Amarelo, textura média, distrófico. Tais condições edafoclimáticas são representativas de extensos blocos de florestas homogêneas plantadas no planalto paulista.

SUBPROJETO 4 - Monitoramento da Ciclagem dos Nutrientes na Biomassa Florestal, na Vegetação do Sub-Bosque e na Água dos Mananciais

Prof. Fábio Poggiani, Eng. Vanderlei Benedetti, Prof. José Leonardo M. Gonçalves, Prof. Maria Emília Matiazzo e Eng. Marcelino Carneiro Guedes

Considerando o grande aporte de nutrientes à área experimental, devido a adição do biossólido, é fundamental acompanhar a movimentação e o acúmulo destes nutrientes no solo e na vegetação arbórea, arbustiva e herbácea. Particular atenção é dada aos processos de deposição de serapilheira e de decomposição. Para o estudo da ciclagem dos nutrientes vêm sendo efetuadas as seguintes observações e análises de campo e laboratório: coleta de dados climáticos, estimativa da entrada de nutrientes via atmosfera, entrada de nutrientes via adubo mineral e adição de biossólido, movimentação dos nutrientes no solo e nas árvores, deposição de nutrientes via serapilheira e, futuramente, exportação de nutrientes dos talhões devido à colheita florestal no final do experimento.

SUBPROJETO 5 - Monitoramento dos Metais Pesados no Solo dos Talhões Florestais

Prof. Maria Emília Matiazzo, Eng. Cristiano Alberto de Andrade, Prof. Fábio Poggiani e Prof. José Leonardo M. Gonçalves.

Muitos trabalhos demonstram que o biossólido é eficiente quando utilizado como uma fonte de nutrientes, no entanto podem ocorrer problemas com a contaminação do solo por metais pesados, cujo teor varia mensalmente nas amostras coletadas na ETE de Barueri. Em estudos efetuados nos Estados Unidos e na Europa observou-se que quase sempre

os metais são fixados na camada superficial do solo. Não há dados, todavia, referentes ao comportamento destes elementos no solo sob plantações florestais localizadas na regiões tropicais e subtropicais sujeitas a períodos de elevada pluviosidade. Especial atenção vem sendo dada, portanto, ao monitoramento dos metais pesados, com análises físicas e químicas periódicas do solo, das plantas e da água, procurando avaliar qualquer possibilidade de contaminação dos recursos hídricos.

SUBPROJETO 6 - Avaliação da Decomposição da Carga Orgânica do Biossólido Aplicado no Solo.

Profa. Elke J. Cardoso, Eng. Paulo Fortes e Bióloga Izabel Pires Serrano.

O biossólido apresenta sempre elevadas quantidades de matéria orgânica e de nitrogênio que se constituem em componentes que alteram profundamente e intensificam diversos fenômenos biológicos no solo, afetando as populações de microorganismos ali existentes. A pesquisa, portanto, estabelece os modelos ecológicos da decomposição do lodo de esgoto através dos parâmetros: C orgânico, N total, NH_4^+ , NO_3^- ; relação C/N, matéria orgânica, liberação de CO_2 , pH, número de unidades formadoras de colônias de bactérias e fungos estudados no solo, com e sem adição de doses crescentes do biossólido.

SUBPROJETO 7 - Efeito da Aplicação de Biossólido sobre a Fauna Silvestre

Prof. Álvaro Fernando de Almeida, Prof. Fábio Poggiani e Eng. Rildo Moreira e Moreira

A implantação de talhões florestais implica sempre em alterações sobre a dinâmica das populações da fauna silvestre, se comparada com a situação pré-existente. Neste sentido, é importante observar e quantificar, dentro do possível, o comportamento das populações de animais existentes e principalmente das aves, que são consideradas como bio-indicadores ecológicos de perturbações antrópicas.

Com esta finalidade, as áreas destinadas à aplicação do biossólido foram avaliadas em sua situação primitiva (antes da implantação do projeto), através de levantamentos preliminares, tanto em áreas de preservação permanente, como no interior dos talhões florestais já existentes na Estação Experimental de Itatinga. Após a implantação do experimento, os levantamentos vêm sendo efetuados em diferentes épocas do ano, incluindo também a comparação com as observações realizadas nos talhões onde foi adicionado o biossólido. Durante as coletas efetuadas com redes de neblina, no caso das aves, e com armadilhas, no caso de mamíferos, os animais são identificados, catalogados e novamente soltos no habitat.