

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
ISSN 0100-3453

Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento

**Robert B. Harrison
Iraê Amaral Guerrini
Charles L. Henry
Dale W. Cole**

CIRCULAR TÉCNICA



Nº 198 JULHO 2003

<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/>

Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento

Recycling of industrial and municipal residues in forestry plantations

Robert B. Harrison
Iraê Amaral Guerrini
Charles L. Henry
Dale W. Cole

RESUMO: Devido ao alto conteúdo nutricional e às propriedades de condicionamento do solo, os resíduos orgânicos podem servir como fertilizantes em solos florestais com deficiência nutricional ou pobres em matéria orgânica. Nos últimos 30 anos, vários estudos realizados com diferentes resíduos orgânicos e em diferentes partes dos EUA têm confirmado o potencial desses materiais em aumentar a produtividade das áreas florestais. Estes estudos mostram claramente que os resíduos orgânicos, aplicados em taxas aceitáveis pelo meio ambiente, resultam em excelentes respostas de crescimento tanto em plantações jovens como em plantações adultas. Um programa florestal que utilize resíduos orgânicos deve ser executado usando técnicas de manejo que sejam ambientalmente responsáveis. Uma análise de risco realizada nos EUA pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), em áreas não agrícolas (incluindo florestas), sugere que os contaminantes presentes nos biossólidos oferecem riscos insignificantes para os seres humanos e o meio ambiente quando utilizados apropriadamente, uma vez que a qualidade dos resíduos tem melhorado muito nos últimos 30 anos. No entanto, as taxas de aplicação não devem exceder à capacidade do sistema de utilizar e reter os nutrientes aplicados, sob pena de ocorrerem perdas através de lixiviação. O nitrogênio é o nutriente cuja perda é mais provável através de lixiviação, e esta perda se dá na forma de NO_3^- . Por esta razão, solos com excesso de N ou que recebem altos níveis de N através de deposição atmosférica devem ser evitados. Quando aplicados apropriadamente, os resíduos orgânicos podem fornecer uma alternativa excelente para fertilizantes químicos como meio de aumento da produção florestal. A resposta do crescimento pode ser maior e mais duradoura quando comparada com a fertilização química. Devem ser feitas considerações cuidadosas com relação às condições do terreno para que haja certeza de que os riscos ambientais sejam mínimos e que as perdas através de lixiviação e escoamento superficial não ocorram.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos industriais, Resíduos urbanos, Reciclagem, Reflorestamento, Biossólido, Adubação orgânica

ABSTRACT: Because of their high nutritional content and soil conditioning properties, organic residuals can serve as soil amendments for nutritionally deprived or organically poor soils on forest sites. Studies conducted over the past 30 years on a number of different organic residuals at a number of different locations across the U.S. have largely confirmed the potential of these materials to increase the productivity of many forest lands. These studies clearly demonstrated that organic residuals, applied at environmentally acceptable rates, will result in growth responses for both young seedlings as well as established stands. A silviculture program utilizing organic residuals must be carried out using environmentally responsible management techniques. A recent exposure risk assessment performed for the U.S. Environmental Protection Agency on non-agricultural land (including forests) has suggested that the contaminants in typical biosolids in the United States pose insignificant risk to humans and the environment when properly utilized. This is especially true since the quality of residuals has increased dramatically over the last 30 years. However, application rates should not exceed the capacity of the system to utilize and retain the nutrients applied, or losses through leaching can be expected. The most likely nutrient to be leached following application is N in the form of NO_3^- . For this reason, sites already high in N or those that

receive high levels of N from atmospheric deposition should be avoided. When properly applied, organic residuals can provide an excellent alternative to chemical fertilizers as a means of enhancing forest production. Growth response can be greater and can last longer when compared to chemical fertilization. Careful consideration has to be made of the site conditions to be certain that environmental risks are minimal and losses through leaching and overland flow will not occur.

KEYWORDS: Industrial residues, Municipal residues, Recycling, Forestry plantation, Biosolids, Organic manure

INTRODUÇÃO

Os municípios e as indústrias têm-se confrontado com o problema do manejo de quantidades cada vez maiores de resíduos, tanto sólidos como os de tratamento primário e secundário de águas residuais. Em 1982 ocorreram dois eventos nos EUA que fizeram com que a utilização desses resíduos se tornasse mais atrativa. O primeiro foi a promulgação da regulamentação desse uso (40 CFR 503-USEPA, 1982), a qual solidificou a preferência da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency ou USEPA) em usar benéficamente resíduos de esgoto municipal (biosólidos) como uma alternativa de manejo. O segundo foi o objetivo de reduzir os resíduos sólidos de entrar em aterros sanitários, uma vez que conseguir lugar e permissão para construção de aterros é cada vez mais difícil, caro e desincentivado pela legislação recente. A incineração também está sob crescente regulamentação por ser uma alternativa de alto risco para a saúde pública, sendo muito difícil conseguir um local para a construção de incineradores.

Muitos estudos têm investigado e estabelecido os benefícios do uso de resíduos orgânicos como condicionadores de solo. Além disso, as mudanças nas características dos resíduos orgânicos favorecem a aplicação no solo. Os biosólidos estão sendo melhorados por muitos programas industriais de pré-tratamento, e os resíduos industriais de celulose e papel (C&P) têm sido produzidos com menos contaminantes orgânicos devido às mudanças nos processos de fabricação de C&P. Programas de coleta de rejeitos perigosos têm o potencial de reduzir os contaminantes em resíduos sólidos. Mudanças físicas também têm tornado esses materiais mais atrativos para o uso, como por exemplo, produtos secos ou compostados. Ainda assim, o aterro fitossanitário continua sendo a principal estratégia de manejo. Considerando os benefícios

do crescimento positivo que podem ser derivados da aplicação de resíduos orgânicos em solos e em face da crescente demanda de fibras, é difícil entender porque a aplicação em solos tem tido um papel pequeno no manejo desses resíduos.

São várias as razões pelas quais se deve considerar áreas de florestas como candidatas potenciais para a utilização de resíduos orgânicos:

✓ Muitas florestas são limitadas em seu crescimento devido às deficiências nutricionais, as quais podem ser encontradas nos resíduos orgânicos, especialmente nitrogênio e fósforo. A carência de nutrição adequada é o principal fator limitante da produtividade em florestas e respostas consistentes têm sido observadas com a fertilização química (Heilman, 1981; Barros et al., 1990; Barros et al., 2000);

✓ Muitos solos de florestas têm produtividade marginal devido às características pobres de sua textura, já que normalmente os solos altamente produtivos são utilizados como áreas agrícolas. O acréscimo de matéria orgânica proveniente de resíduos orgânicos pode melhorar bastante a retenção tanto de umidade quanto de nutrientes no solo;

✓ Uma vez que pequenas quantidades de alimentos são colhidas de áreas florestais em comparação com áreas agrícolas, muitas das preocupações com saúde pública e regulamentações de aplicação de resíduos no solo não precisam ser tão críticas quanto àquelas associadas com áreas agrícolas (Henry, 1989a);

✓ Teoricamente, os solos florestais têm boas propriedades para receber a adição de resíduos orgânicos, incluindo: uma serapilheira com uma quantidade grande de carbono orgânico que pode imobilizar o nitrogênio disponível, uma grande taxa de infiltração que deve minimizar o potencial de escoamento

mento superficial, e um sistema de raízes perenes, que na maioria dos casos permite a retirada de nutrientes durante o ano todo.

Tipos de condicionadores de solo

Há vários condicionadores de solo em potencial, os quais podem ser usados em meios florestais. Entre eles estão: biossólidos municipais; resíduos industriais de celulose e papel (C&P); cinzas de incineradores; compostos derivados da compostagem de matéria-prima, tais como biossólidos, resíduos de jardinagem, lixo urbano e compostos de resíduos mistos; resíduos de produtos florestais. Entretanto, em comparação com aplicações de resíduos orgânicos na agricultura, as pesquisas com aplicações em florestas são mínimas.

A aplicação de biossólidos municipais em solos tem sido praticada com sucesso há muitos anos nos EUA e mais recentemente no Brasil, e tem provado ser um fertilizante e condicionador de solos efetivo quando aplicado apropriadamente a certos tipos de áreas florestais (Sopper e Kerr, 1979; Bledsoe, 1981; Sopper et al., 1982; Henry e Cole, 1983; Cole et al., 1986; Gonçalves et al., 2000). Um programa de pesquisa com aplicações de biossólidos em áreas florestais tem sido conduzido pela Universidade de Washington nos últimos trinta anos, com recursos fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais do "King County" em Seattle, WA (King County Department of Natural Resources). Outros programas de pesquisa têm sido realizados pelas seguintes universidades: Universidade de British Columbia (Canadá), Universidade de Michigan, Universidade de New Hampshire e Universidade Estadual da Pennsylvania. Além disso, Nova Zelândia, Austrália e Brasil também iniciaram programas de aplicação de biossólidos em florestas.

Os resíduos provenientes de C&P têm sido usados com sucesso no condicionamento e nutrição do solo, melhorando as propriedades necessárias para o desenvolvimento das árvores (Henry, 1989b; Brockway, 1983; Guerrini et al., 1994 e 2000a). A aplicação desses resíduos tem ocorrido de modo operacional principalmente no Nordeste dos Estados Unidos, nos estados de Wisconsin, Carolina do Norte, Georgia e Flórida, e no Brasil. Pesquisas nessa área também têm sido conduzidas pela Universidade de Washington / USA, Univer-

sidade de British Columbia / Canadá e Universidade Estadual Paulista -UNESP / Botucatu.

As cinzas de incineradores têm sido estudadas e aplicadas em áreas florestais do Nordeste dos Estados Unidos e Sudeste do Brasil, enquanto que a aplicação de compostos orgânicos em povoamentos florestais tem sido estudada pela Universidade da Flórida e pela Universidade Estadual Paulista - UNESP / Botucatu.

Tipos de aplicações

Esses materiais podem ser usados em várias situações, incluindo: aplicação em áreas de corte raso; aplicação sobre o dossel de plantações jovens; e aplicação sob o dossel de plantações adultas.

Corte raso

As áreas de corte raso oferecem os mais simples e mais econômicos locais para aplicação dos resíduos orgânicos. Quando a aplicação for realizada antes do plantio das árvores, muitos dos métodos de aplicação utilizados na agricultura também são apropriados neste caso. Veículos carregando resíduos orgânicos podem descarregar diretamente na área a ser plantada, seguindo-se de dispersão por trator e grade. A aplicação será mais ou menos difícil, dependendo do preparo da área (remoção de tocos, queima ou manutenção dos resíduos da colheita etc), declive, condições do solo e condições climáticas. Outras opções disponíveis são: sistemas temporários de irrigação por aspersão, injetores e aspersores para materiais mais líquidos (Foto 1) e carretas especiais ou adaptadas espalhadoras de resíduos para materiais mais sólidos, sendo esta última prática mais utilizada no Brasil (Foto 2). Novamente, as características do local e seu preparo são os fatores principais na escolha da técnica de aplicação.

Embora as áreas de corte raso sejam as mais fáceis para aplicação de resíduos orgânicos, elas também podem apresentar sérios empecilhos, dependendo do método e taxa de aplicação. Áreas cuja aplicação é feita na superfície do solo com uma taxa relativamente alta de biossólidos, por exemplo, podem receber repentinamente uma abundância de nutrientes que permitem o crescimento vigoroso de gramíneas e ervas daninhas (Foto 3). O estabelecimento da plantação torna-se mais difícil devido à competição com a vegetação,

promovendo maior mortalidade das mudas se as gramíneas não forem mantidas sob controle por meio de manutenção extensiva. Um sub-bosque vigoroso também oferece excelente proteção para pragas, como os roedores, os quais podem proliferar e aumentar os problemas de sobrevivência das árvores jovens devido ao anelamento dos troncos. Cervídeos alimentando-se nas florestas podem ser também um problema considerável em alguns locais dos EUA e Canadá até que as árvores novas cresçam suficientemente acima da altura desses animais. O programa de aplicação de resíduos orgânicos ricos em nutrientes em áreas de corte raso necessita de um planejamento adequado para o controle de ervas daninhas, o que pode ser feito através de herbicidas, gradagem ou manualmente. Além disso, uma cerca ou proteção dos brotos podem ser necessários para prevenir o excesso de danos causados por cervídeos e roedores. Um exemplo excelente de aplicação em áreas de corte raso é o uso em plantações de árvores de Natal nos EUA. Um alto nível de manutenção é bastante comum neste caso, sendo minimizado o estabelecimento de ervas daninhas e de roedores.



Foto 1
Aspersão de biossólido em área de corte raso e com mudas novas de Douglas-fir (EUA).



Foto 2
Aplicação de biossólido com 40% de umidade em área de corte raso através de carreta desenvolvida pela Cia. Suzano BahiaSul, em Itatinga-SP, Brasil.



Foto 3
Regeneração intensa de sub-bosque após aspersão de biossólido em plantação de Douglas-fir (EUA).

Ao contrário, um resíduo orgânico com uma alta proporção de carbono em relação ao nitrogênio (C:N) pode agir como cobertura morta, reduzindo a competição com ervas daninhas e diminuindo a perda de umidade do solo (Henry, 1991). Entretanto, se incorporado, pode reduzir o crescimento das árvores (Guerrini et al., 2000a).

Plantações jovens

As aplicações de resíduos orgânicos em plantios jovens já estabelecidos reduzem os problemas com competição e animais. Entretanto, algumas das alternativas de aplicação utilizadas para áreas de corte raso não são apropriadas para este caso.

Os materiais semi-líquidos são, em geral, aplicados por um sistema de caminhão pipa e aspersor, o qual pode dispersar os resíduos orgânicos sobre o dossel a uma distância de 50m dentro da plantação. Este tipo de aplicação é facilmente executado no Brasil, já que os plantios são realizados em linhas e com espaçamentos definidos. Entretanto, nos EUA, como não existem linhas e entre-linhas definidas para entrada de máquinas e caminhões, este método requer a construção de trilhas de aplicação, as quais devem estar localizadas dentro do talhão em intervalos de no máximo 100 m. A época é um fator importante quando se faz a aplicação sobre a copa das árvores. Para ajudar a limpar os resíduos da folhagem existente e para mantê-los fora da nova folhagem, a aspersão deve ocorrer durante a estação das chuvas. Nos EUA, os biossólidos grudados na folhagem nova, devido à aplicação realizada no período seco, podem retardar o crescimento das plantas durante o ano da aplicação (Foto 4).

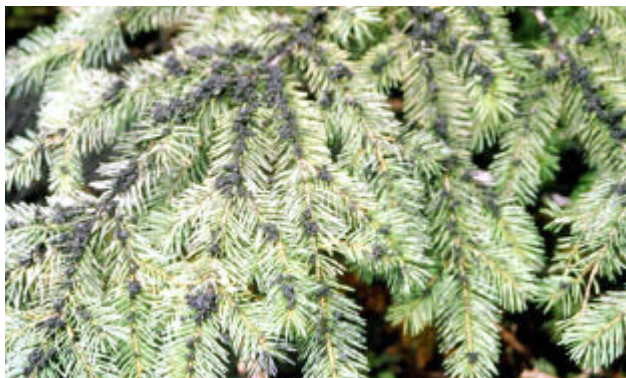


Foto 4
Biossólido seco sobre a folhagem de Douglas-fir (EUA).

Os materiais líquidos têm sido aplicados com sucesso através dos sistemas de aspersão (Foto 5). O maior problema apresentado por aspersores é o entupimento dos bocais de aspersão. Neste caso, os espalhadores de esterco podem ser utilizados para dispersar os materiais secos, que não podem ser aspergidos (Foto 6), ou utilizar equipamentos especialmente desenvolvidos para esse fim (Fotos 2 e 7). Dependendo do alcance da trajetória dos resíduos, os intervalos entre as linhas ou trilhas usadas para aplicação deverão ser menores do que é necessário com outros métodos.



Foto 5
Aplicação de biossólido em plantações jovens de Douglas-fir (EUA).



Foto 6
Aplicação de composto de lixo urbano, através de distribuidora de esterco, em área de corte raso de Eucalipto (Cia Suzano BahiaSul, em Itatinga-SP, Brasil).



Foto 7
Aplicação de biossólido com baixa umidade em plantação jovem de Douglas-fir. Notar a trilha aberta no talhão (EUA).

Plantações adultas

As aplicações em plantios mais velhos têm a vantagem de que os resíduos orgânicos podem ser aplicados durante o ano todo, uma vez que a aplicação se dá sob o dossel (Foto 8). Os métodos de aplicação são similares aos usados em plantações jovens, embora algumas das alternativas possam ser eliminadas quando os plantios não são alinhados (EUA).



Foto 8
Aspersão de biossólido em plantação adulta de Douglas-fir (EUA).

EFEITOS BENÉFICOS DOS CONDICIONADORES DE SOLO

Os benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: melhoria do solo; aumento na produção de madeira; e benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque.

Melhoria do solo

O valor dos resíduos orgânicos está na sua habilidade em recuperar o solo através da melhoria da sua textura. As partículas finas e os materiais orgânicos podem melhorar a capacidade do solo em reter umidade e nutrientes de uma maneira imediata e prolongada

(Guerrini et al., 2000a,b). Além disso, muitos nutrientes podem ser fornecidos por alguns condicionadores adicionados ao solo (os bio sólidos fornecem um excelente equilíbrio de, praticamente, todos os nutrientes) e outros ajustam o pH do solo (tais como cinza de incineradores, a qual, em geral, tem $\text{pH} > 9$). As produtividades de curto e longo prazos podem ser melhoradas. A longo prazo, muitos dos condicionadores de solo liberam nutrientes lenta e constantemente, enquanto os materiais orgânicos se decompõem. As aplicações de composto de lixo urbano em solos florestais têm mostrado melhorias nas condições do solo que facilitam o desenvolvimento da plantação, além de devolver os nutrientes perdidos durante o corte das árvores (Smith e Evans, 1977; Smith et al., 1979; Zen et al., 1994; Andrade, 2002).

Crescimento das plantas

Bio sólidos

Um grande número de pesquisas tem estudado o crescimento das plantas em resposta à aplicação de bio sólidos. Aumentos no crescimento de espécies florestais têm sido relatados em muitos trabalhos (Sopper e Kerr, 1979; Bledsoe, 1981; Sopper et al., 1982; Cole et al., 1986; Gonçalves et al., 2000). As respostas de crescimento foram bem documentadas em plantações de Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) no estado de Washington / EUA (Harrison et al., 1993a; Henry et al., 1993). O aumento de crescimento varia de 2 a 100% quando as aplicações são feitas em plantações adultas, e pode ser de mais de 1000% quando doses pesadas de bio sólidos são adicionadas ao solo antes do plantio. Em eucalipto, no Brasil, obteve-se um aumento de 37% na produtividade quando se aplicou 10 t ha^{-1} de bio sólido juntamente com P em comparação à adubação química aos 22 meses de idade (Gonçalves et al., 2000), além de terem sido observados maiores teores de N, P, Ca e S nas folhas das árvores tratadas com bio sólidos (Poggiani et al., 2000).

A magnitude da resposta depende das características do local de aplicação e da idade do plantio. Entre as principais diferenças locais que afetam a resposta de produtividade incluem-se: 1) Classificação da qualidade do sítio: Estudos em plantações jovens e adultas de Douglas-fir encontraram respostas maiores

em sítios de baixa produtividade em ambos os casos; 2) Plantações desbastadas versus não desbastadas, tratadas com bio sólidos: Parece que há pouca diferença no volume de madeira produzido entre plantações desbastadas ou não desbastadas que receberam aplicações de bio sólidos. Entretanto, espera-se que o crescimento seja concentrado em árvores mais valiosas em plantações desbastadas; 3) Resposta por espécie: Parece existir uma resposta positiva para a maioria das espécies florestais, embora a magnitude dessas respostas varie consideravelmente.

Enquanto a resposta de crescimento das plantações adultas em solos tratados com bio sólidos tem sido excelente, a sobrevivência é um grande problema. Algumas espécies sofreram mortalidade quase total e a aplicação desse material não seria recomendada nestas circunstâncias. Além disso, o problema com o estabelecimento das plantações nos EUA tem levado à recomendação de que, quando possível, os bio sólidos sejam aplicados em plantios já existentes em vez da aplicação antes do plantio (em áreas de corte raso). Uma exceção à essa recomendação é a aplicação em plantações de árvores de natal, onde ervas daninhas, pequenos mamíferos e cervídeos estão sob controle, e em plantios no Brasil.

Quanto ao retorno monetário provocado pela aceleração no crescimento das árvores em função da aplicação de bio sólidos, qualquer estimativa é altamente especulativa, devido à uma série de razões: 1) somente algumas plantações tiveram sua resposta de crescimento medidas; 2) as respostas de crescimento têm sido observadas por períodos curtos, isto é, não se sabe por quanto tempo os efeitos da aplicação de bio sólidos durará; e 3) os benefícios precisam ser estimados para os anos futuros, os quais dependem de muitos fatores que variam consideravelmente, tais como taxas de juros e valor futuro da madeira. Uma estimativa conservadora do valor de bio sólidos poderia ser baseada somente no valor da adição de nitrogênio, o qual estaria por volta de US\$40,00 por tonelada em peso seco (EUA), incluindo o custo de aplicação. Estudos preliminares nos EUA, entretanto, mostram respostas maiores a bio sólidos do que a fertilizantes com nitrogênio. Além disso, o efeito parece ser mais longo com bio sólidos, com alguns estudos mostrando uma

resposta contínua do crescimento oito anos após a aplicação. No Brasil, Poggiani et al. (2000) comprovaram a grande vantagem econômica de se aplicar o biossólido em plantações florestais em relação ao seu descarte em aterro sanitário.

Resíduos industriais de C&P

Em geral, há dois tipos de resíduos de C&P. O componente principal do resíduo primário de C&P, mais conhecido como Lodo Primário, é formado de fibras de resíduos de madeira, com alto nível de carbono e baixo nível de nutrientes e, portanto, agindo como um consumidor de nitrogênio em potencial. Em contraste, a biomassa microbiana do Resíduo ou Lodo Secundário, em geral, libera nutrientes para o solo durante sua decomposição.

Em comparação com a área agrícola, foram conduzidos relativamente poucos estudos sobre resposta de crescimento após aplicação de resíduos de C&P em espécies florestais. A incorporação de resíduos de C&P como condicionador de solo foi investigada em viveiros com três espécies diferentes: Douglas-fir, Western White Pine (*Pinus monticola*) e Noble fir (*Abies procera*) (Henry, 1986). A adição de lodo secundário produziu respostas excelentes de crescimento; crescimentos médios em altura de 246%, 107% e 207% sobre os controles foram observados em Douglas-fir, Western White Pine e Noble fir, respectivamente, enquanto que os crescimentos médios de diâmetro foram de 214%, 116% and 167% sobre os controles, respectivamente. Em contraste, com a adição de lodos primários o crescimento médio em altura foi significativamente reduzido: 68%, 85% e 78% sobre os controles em Douglas-fir, Western White Pine e Noble fir, respectivamente. De modo similar, o crescimento em diâmetro foi de 66%, 89% and 70% sobre os controles, respectivamente. Num outro trabalho, resíduos de C&P foram aplicados na superfície do solo de um plantio de Cottonwood híbrido (*Populus deltoides* x *P. trichocarpa*) (Henry, 1991), sob condições de campo. A aplicação de lodo secundário resultou, ao final de três anos de observação, em acréscimos médios em altura e diâmetro de 256% e 281%, respectivamente, maiores do que os controles. Lodo primário aplicado na superfície também resultou em acréscimos médios em

altura e diâmetro de 94% e 92%, respectivamente, maiores que os controles não tratados. O incremento na taxa de crescimento dessa espécie associado com a aplicação de lodo primário foi interpretado como sendo efeito de cobertura morta no solo.

Em outro ensaio, mudas de Douglas-fir foram cultivadas em uma mistura de lodos primário e secundário de C&P na proporção 4:1, aplicado em taxas de 50 a 450 Mg ha⁻¹ (Aspitarte, 1980). A avaliação visual sugeriu que as áreas que receberam nitrogênio mineral apresentaram respostas melhores. Shields et al. (1986) encontraram um crescimento 41% maior em Cottonwood plantado em solos recebendo lodo primário do que nos controles fertilizados, e um crescimento acima de 68% quando lodo e fertilizante combinados foram usados (proporção 1:1). Também, a aplicação de lodo secundário de indústria de papel causou um aumento na concentração foliar de nitrogênio e um crescimento significativo na biomassa do sub-bosque e dossel de uma plantação de Red Pine (*Pinus resinosa*) (Brockway, 1983).

Nas condições brasileiras, existem diversos estudos relacionando os efeitos da aplicação do lodo secundário sobre o crescimento do eucalipto (Guerrini et al., 1994, 1998, 2000c,d). O uso de lodo secundário decomposto juntamente com a cinza de madeira promoveram ganhos na produção volumétrica de *Eucalyptus grandis*, aos 2 anos de idade, que variaram de 3 a 87% em relação à adubação química (Guerrini e Moro, 1994). Entretanto, a utilização desse lodo não decomposto, com alta relação C/N, prejudicou o desenvolvimento do eucalipto (Guerrini et al., 2000a).

Composto de lixo urbano

Vários estudos utilizando composto de lixo urbano já foram realizados na Flórida. As respostas de crescimento de plantações jovens em áreas de aplicação desse composto têm sido bem documentadas (Smith et al., 1979; Bengtson e Cornette, 1973; Fiskell et al., 1979; Jokela et al., 1990). Entretanto, a técnica de aplicação influencia na resposta. Em solos arenosos da Flórida, a aplicação em forma de incorporação de 4,4-44 Mg ha⁻¹ em uma plantação de Slash Pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) de dois anos de idade mostrou respostas significativamente maiores do que a aplicação similar na superfície.

No Brasil, poucos são os estudos com composto de lixo urbano em florestas. Zen et al. (1994) obtiveram, em *E. grandis* aos 4 anos de idade, incrementos de 32% em relação à adubação química quando aplicaram 28 Mg ha⁻¹ desse material em Neossolo Quartzarênico. Nesse mesmo tipo de solo e na mesma região de Itatinga, SP, Andrade (2002) obteve um ganho de 45,6% em volume cilíndrico de *E. grandis* aos 7 anos de idade, quando aplicou 15 t ha⁻¹ de composto de lixo urbano em relação à adubação química, além de obter melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo e redução no tempo de decomposição da serapilheira. Dionísio (1996) também obteve maiores densidades populacionais de microorganismos do solo, biomassa microbiana e respiração edáfica quando aplicou esse tipo de composto, em relação à adubação química.

Benefícios secundários

O terceiro tipo de benefício proveniente da aplicação de resíduos orgânicos é muito mais subjetivo. Embora a aparência do terreno seja alterada drasticamente no período imediato que se segue à aplicação, frequentemente o crescimento do sub-bosque é mais vigoroso nos seis meses seguintes à aplicação. O estímulo ao crescimento de herbáceas e arbustos do sub-bosque foi observado em um plantio de Slash Pine durante os primeiros cinco anos após a adição de composto de lixo e biossólidos (Smith et al., 1979). Isto não é apenas visualmente agradável, mas também tem um valor comercial para atividades de extração vegetal, tais como coleta de samambaias e outras vegetações para arranjos florais. O aumento do sub-bosque tipicamente causa um acréscimo de nutrientes, podendo fornecer um habitat melhor para animais silvestres. Até o presente momento, pesquisadores não têm encontrado efeito adverso significativo na saúde de animais silvestres (Henry e Harrison, 1991). Embora tenha-se encontrado altos níveis de metais pesados nos órgãos de mamíferos de pequeno porte que vivem em solos onde foram aplicados biossólidos, não existe evidência de um acúmulo significativo na cadeia alimentar. Alguns efeitos positivos também têm sido observados: o aumento no vigor de animais que se alimentam da folhagem altamente nutritiva e o crescimento da população de animais silvestres.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DOS SOLOS EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS RECEBENDO APLICAÇÕES DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

O objetivo desejado em um programa de aplicação de resíduos orgânicos é tratar e utilizar os rejeitos de uma forma que seja segura ambientalmente e efetiva com relação ao custo, aproveitando totalmente seus nutrientes e suas propriedades de condicionadores do solo. Pesquisas e demonstrações de campo têm mostrado que esse objetivo pode ser atingido em uma grande variedade de terrenos e vegetações. Entretanto, é preciso reconhecer todos os aspectos ambientais que potencialmente podem ser afetados pela aplicação de resíduos orgânicos.

Características químicas

A maior parte dos constituintes iônicos em lixiviados de resíduos orgânicos são inicialmente removidos da solução através de reações químicas. Algumas dessas reações, tais como substituição de íons em sítios de troca catiônica, resultam apenas na remoção temporária, enquanto que reações de precipitação podem resultar na remoção permanente dos íons reagentes das águas provenientes da drenagem do solo.

Em geral, os ânions lixiviam através do solo muito mais rapidamente do que os cátions devido à carga negativa na superfície da maior parte dos colóides dos solos. Dois ânions em particular, NO₃⁻ e Cl⁻, lixiviam mais rapidamente se estiverem presentes em concentrações relativamente altas. Em contraste, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺² são removidos por reações de troca catiônica. Entretanto, há exceções importantes a essa afirmação geral. O fósforo, um ânion e um dos principais constituintes dos biossólidos, é facilmente precipitado na solução do solo, em geral na forma de fosfato de cálcio ou ferro, dependendo do pH do solo. A capacidade do solo em adsorver P é excepcionalmente alta e, conseqüentemente, esse elemento não sofre lixiviação após sua aplicação ao solo.

O NH₄⁺ é removido de lixiviados pela capacidade de troca catiônica (CTC) dos colóides dos solos, o mesmo processo básico discutido acima para K⁺, Ca⁺² and Mg⁺². No entanto, no caso do NH₄⁺, seu armazenamento no solo pode ser muito reduzido se ocorrer nitrificação.

Quase todos os metais pesados são fortemente adsorvidos em partículas de solo. Isto ocorre especialmente se o solo é neutro ou básico. Os metais pesados podem também estar ligados a agentes quelantes orgânicos, que os convertem em complexos aniônicos. Nessa forma, eles movem-se rapidamente através do solo de modo similar a outros ânions não negativos. Muitas pesquisas têm sido feitas sobre metais pesados na agricultura. Um artigo específico que faz uma revisão dessas pesquisas foi escrito por Logan e Chaney (1983). Harrison et al. (1993b e 2000) relataram que metais pesados são relativamente imóveis nos solos de sítios florestais.

Características biológicas

A fase "viva" do solo é também crítica no processo de renovação total associado com a aplicação de resíduos orgânicos ao solo. Por exemplo, ela é responsável pela remoção dos organismos patogênicos e de vírus, bem como pela absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente nitrogênio. O papel da fase "viva" no processo de renovação é talvez ainda mais importante em sistemas florestais do que em culturas agrícolas.

Inicialmente, os microorganismos associados aos bio sólidos são filtrados e substituídos por organismos nativos do solo. O tempo de sobrevivência da maior parte dos microorganismos após a aplicação de resíduos orgânicos ao solo é tipicamente bastante curto, mas é dependente de uma série de condições climáticas e do solo, incluindo temperatura, umidade e pH. Em geral, bactérias patogênicas são reduzidas a números insignificantes dentro de 2 a 3 meses após a aplicação (Gerba, 1983; Edmonds, 1979). Os vírus sobrevivem, em geral, no máximo 3 meses, enquanto que os protozoários sobrevivem somente por alguns dias (Kowel, 1983). De qualquer modo, esses microorganismos não lixiviam através do solo e, portanto, não representam um problema de saúde pública com relação aos mananciais que recebem água lixiviada do sítio de aplicação (Edmonds, 1979). Eles permanecem na superfície do solo durante seu período de sobrevivência. Somente quando o terreno é sujeito a escoamento superficial é que os patógenos atingirão os mananciais de água.

Os solos florestais, especialmente aqueles com uma camada desenvolvida de serapi-

lheira, são sistemas excelentes para renovar solutos orgânicos, moléculas e sólidos. Em geral, os compostos orgânicos tóxicos não são constituintes importantes da maioria dos resíduos orgânicos, como bio sólidos, resíduos industriais de C&P e produtos de compostagem, especialmente aqueles derivados do lixo doméstico, e, portanto, não são considerados problema em sistemas de aplicações no solo. Mesmo quando ocorre a presença de compostos orgânicos tóxicos, estes não limitam a sua aplicação (Overcash, 1983). Os compostos orgânicos são prontamente adsorvidos na superfície orgânica do sistema e, portanto, tem uma mobilidade limitada através do perfil do solo. Como esses compostos orgânicos são biodegradáveis, eles não se acumulam de forma alguma no solo.

A fase "viva" do solo é também responsável pela remoção de nutrientes por processos de absorção pelas plantas. Para que a renovação de nutrientes no solo, especialmente renovação de nitrogênio, funcione por um longo período, os nutrientes adicionados devem ser retirados pelas plantas. A taxa de absorção que pode ser esperada para espécies florestais em sistemas de aplicação de resíduos orgânicos no solo foi publicada para cada região florestal dos Estados Unidos por McKim et al. (1980) e Brockway et al. (1986). Em geral, a absorção e armazenamento de nutrientes em florestas podem ser tão grandes quanto os de culturas agrícolas, se o sistema for manejado corretamente e se for realizada uma seleção de espécies capazes de responder aos nutrientes. Taxas de absorção e armazenamento excedendo 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ têm sido observadas em plantações de Poplar de 3-5 anos de idade, assim como de 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em plantações de Douglas-fir de 3-5 anos de idade (Schiess e Cole, 1981), e uma média de 126 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para eucalipto aos 7 anos de idade no Brasil, mas podendo atingir cerca de 350-400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em regiões sem déficit hídrico (Gonçalves et al., 1997). Essas taxas de utilização de nitrogênio comparam-se favoravelmente com a retirada de nitrogênio em quase todos os tipos de cultura.

Características físicas

O processo físico de filtração num sistema de aplicação de resíduos orgânicos ao solo tem um papel muito importante em garantir o

padrão desejado de drenagem de água. Mais importante ainda, a filtragem diminui a taxa de percolação, aumentando o tempo para a ocorrência de reações químicas e biológicas. Esse processo de filtragem também resulta na remoção de microorganismos e material orgânico da água e os deposita no solo, onde eles se desintegram com o passar do tempo. O material orgânico não biodegradável é adsorvido na superfície do solo e não lixivia através do seu perfil.

A maior parte do processo de filtragem ocorre na camada da serapilheira. Portanto, há uma tendência menor de se obstruir a superfície porosa do solo (o que diminuiria a capacidade de infiltração de água) associado com resíduos orgânicos líquidos como biossólidos.

EFEITOS POTENCIAIS ADVERSOS EM PROCESSOS E FUNÇÕES ESPECÍFICOS

Água subterrânea

Solutos de resíduos orgânicos que entram na solução do solo são retardados na passagem através do sistema do solo, isto é, o movimento da água é maior do que o dos solutos. Esse retardamento é causado por diversos processos químicos, físicos e biológicos. É uma combinação desses processos que permite que o tratamento e o uso benéfico dos constituintes dos resíduos orgânicos ocorra. Porém, nem todos os solutos constituintes movem-se através do solo na mesma proporção, e nem é a mesma a quantidade de tratamento fornecida. Potencialmente, os mais problemáticos são os ânions, como NO_3^- , os quais têm um retardamento mínimo e podem mover-se rapidamente para os mananciais de água. Consequentemente, é importante minimizar a presença de NO_3^- através de planejamento e manejo apropriados do sistema de tratamento do sítio onde a aplicação será feita.

Água de superfície

Um planejamento apropriado para o sítio de aplicação minimiza a possibilidade de escoamento superficial. Para minimizar esse escoamento é essencial que se tenha uma área de proteção em torno de corpos d'água e não exceder as recomendações de declive máxi-

mo, como os que serão sugeridos mais a frente. Em geral, os solos florestais têm uma taxa de infiltração excelente devido à presença da camada de serapilheira. Além disso, a maior parte dos solos florestais tem porosidade muito maior do que os solos agrícolas. Ambos fatos citados resultam em pouco ou nenhum escoamento superficial e faz das florestas excelentes candidatas para sistemas de aplicação de resíduos orgânicos.

Aerossóis

A terceira forma em que um contaminante proveniente de resíduos orgânicos pode deixar o sítio de aplicação é em dispersão aerossol durante os períodos de aplicação. Esse movimento é dependente do desenho do sistema de aplicação e da taxa de movimentação do vento durante o período de aplicação. Já foi bem documentado que a presença de uma floresta modifica bastante o fluxo do vento. Em geral, há uma redução de 70 a 90% da velocidade do vento quando medida 50 metros dentro da floresta. Consequentemente, as áreas de proteção para prevenir o movimento de aerossóis provenientes de um sistema de aplicação no solo podem ser relativamente estreitas. Edmonds and Mayer (1983) encontraram algumas bactérias carregadas pelo ar a 50 m da aplicação de biossólidos em floresta, mas não encontraram nenhuma a 100 m de distância.

Saúde humana e de animais

Os riscos potenciais de saúde pela exposição de pessoas e animais a contaminantes presentes em biossólidos incluem: ingestão direta de biossólidos; ingestão através do consumo de plantas; e ingestão através do consumo de animais que vivem em locais onde ocorreu a aplicação de biossólidos. Os limites aceitáveis de contaminantes em aplicações de biossólidos em sistemas florestais já foram desenvolvidos e estão refletidos na regulamentação 40 CFR 503 da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1982). A documentação com as análises de risco em que se baseiam esses limites numéricos está incluída nos Documentos de Apoio Técnico (Technical Support Documents) dessa regulamentação. Esses limites são também aceitáveis para os critérios de aplicação de outros resíduos orgânicos.

PRÁTICAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR O POTENCIAL DE EFEITOS ADVERSOS

Época e taxa de aplicação

As taxas de aplicação de resíduos orgânicos são baseadas, em geral, em um dos dois critérios seguintes: dose de nitrogênio em resíduos ricos em nutrientes (por exemplo, biossólidos ou lodos secundários de C&P); ou contribuição da matéria orgânica ao solo para que se atinja uma porcentagem pré-fixada de matéria orgânica no solo. As aplicações com o objetivo único de aumentar o teor de matéria orgânica do solo normalmente são feitas apenas uma vez. Em contraste, há duas filosofias com relação à época e taxa de aplicação para resíduos orgânicos contendo altas taxas de nitrogênio:

✓ Aplicações anuais planejadas para satisfazer somente a retirada anual de N requerida pelas árvores, considerando as perdas por meio de volatilização, denitrificação e mineralização ocorridas nos anos corrente e anteriores;

✓ Aplicação única com altas doses de resíduos orgânicos num determinado ano, seguido de vários anos em que não se faz aplicações. Este programa depende do solo armazenar temporariamente o excesso de nitrogênio, o qual será utilizado nos anos posteriores.

Ambas filosofias oferecem vantagens. Na segunda alternativa os custos são mais baixos devido à entrada menos freqüente no sítio, e o público pode usar o local para recreação nos anos em que não há aplicação. Além disso, o excesso de nitrogênio presente no primeiro ano não se apresenta em níveis elevados nos anos seguintes, e em geral, o NO_3^- não lixivia nesses anos. Se os resíduos orgânicos apresentam uma baixa porcentagem de sólidos (<10%), é preferível realizar aplicações anuais. Neste caso, a quantidade total de líquido aplicada pode exceder à capacidade do solo em tratar os resíduos. A superfície do solo pode selar, aumentando o potencial de escoamento superficial e aumentando as condições anaeróbicas, as quais podem causar problemas de mau odor ou estresse nas plantas.

As aplicações pesadas devem ser feitas em uma série de três ou mais aplicações parciais, dependendo da porcentagem de sólidos.

Com isso, permite-se que as aplicações sejam espalhadas por igual no sítio e o intervalo entre elas permite a estabilização e secagem dos materiais líquidos, ambos fatores sendo importantes para manter a infiltração e o controle do escoamento superficial. O período de "descanso" entre as aplicações varia de 2 a 14 dias, dependendo das condições climáticas.

Critérios importantes na seleção do sítio para aplicação

Uma vez que os objetivos da aplicação de resíduos orgânicos em florestas são aumentar o crescimento das árvores, prevenir contaminação ambiental e minimizar custos operacionais, é importante que as áreas em potencial sejam avaliadas com esses objetivos em mente. Em particular, deve-se considerar os aspectos físicos dessas áreas, tais como: topografia; acesso à floresta e transporte; solos e geologia; vegetação (características do povoamento e do sub-bosque); recursos fluviais; e clima. A Tabela 1 mostra uma lista de condições dentro de cada fator em uma ordem relativa de importância. Os números mostrados são sugeridos apenas para avaliação de uma área quando comparada a uma outra. Em geral, entretanto, uma área recebendo a posição "0" em qualquer dos critérios significa que ela não deve ser considerada para a aplicação de resíduos orgânicos. Posições 1-3 significam que a área tem alguns problemas e que deve haver alguns fatores bastante positivos para compensar essas posições baixas.

Fatores topográficos

O critério mais importante, que indica rapidamente a utilidade de uma área, é provavelmente a topografia. O declive e a continuidade do sítio (terreno que não é interrompido por cursos d'água, penhascos etc) são considerações importantes. Ambos têm grande impacto na utilidade do sítio e nos custos do seu desenvolvimento. A Tabela 1 descreve como os terrenos podem ser avaliados de acordo com diferenças nessas duas características. A continuidade do terreno está relacionada com o número de áreas dentro do sítio que talvez requeiram áreas de proteção, tais como, cursos d'água, estradas, terrenos íngremes etc. Dependendo da distância da área de proteção, essas descontinuidades podem

reduzir rapidamente o tamanho da área utilizável e tornar mais difíceis as aplicações. Outro fator que pode melhorar a operação é a posição do terreno. Esse aspecto afeta a quantidade de radiação solar recebida pelo sítio em questão; esta radiação ajuda a estabilizar os resíduos orgânicos e também derrete neve e descongela os terrenos congelados em regiões propícias a esses fatores.

Fatores de transporte e acesso à floresta

Frequentemente, o maior custo dos programas de aplicação deve-se ao transporte dos resíduos orgânicos para o local desejado. Portanto, a distância até o local deve ser incluída como um dos principais critérios de seleção. Além da distância, a classe das estradas que leva ao local de aplicação afeta os custos de transporte do material. Outro fator importante é a rota de veículos longos e pesados usados no transporte do material, onde se deve considerar o limite de peso permitido em estradas e pontes e a passagem por áreas sensíveis (centros urbanos).

Um dos custos principais do desenvolvimento da área em questão é a construção de estradas de acesso, onde ainda não existe, e de sistemas de trilhas. Em muitos sítios florestais uma porção significativa desses sistemas já existe, especialmente naqueles em que há manejo intensivo e nos quais as operações comerciais de desbaste ocorreram recentemente. Frequentemente, o investimento feito na construção de sistemas de acesso é recuperado pelo menos parcialmente durante o corte final da madeira.

Fatores Geológicos e de Solo

Felizmente, os locais mais fáceis de serem desenvolvidos e operados possuem solos que podem se beneficiar biologicamente da adição de resíduos orgânicos, tais como solos cascalhados. Esses solos não só são deficientes em propriedades que podem ser fornecidas por esses materiais (nutrientes e matéria orgânica), mas também são, em geral, melhores drenados. Trafegabilidade, infiltração/percolação, profundidade do solo, pH e capacidade de troca catiônica (CTC) têm papéis importantes. A Tabela 1 apresenta a ordem relativa dos diferentes solos em termos de textura e material de origem. A importância dos fatores geológicos está no seu relacionamento com a hidrologia da água subterrânea e de superfície em criar zonas impermeáveis

para o movimento descendente da água.

Fatores de vegetação

A vegetação do sítio é uma consideração importante na aceitação imediata da área em questão. A idade da plantação e suas condições afetam o método de aplicação e a efetividade de se conseguir aplicações niveladas. A espécie das árvores afeta a taxa de aplicação de resíduos orgânicos ricos em nutrientes. Um sub-bosque bem estabelecido fornece absorção crescente de nutrientes, ajuda a estabilizar os materiais líquidos e produz uma superfície irregular a qual pode minimizar o potencial de escoamento superficial.

Fatores relacionados aos recursos aquíferos

As taxas de aplicação são planejadas de modo a minimizar o impacto em águas subterrâneas. Para a maior parte das aplicações de resíduos orgânicos ricos em nutrientes, a única preocupação se dá com o NO_3^- . Aplicações apropriadas são feitas de modo que o N não seja colocado em excesso, de tal forma que não é esperada uma lixiviação significativa de NO_3^- . Uma vez que a utilização de nutrientes se faz nas camadas superficiais do solo, a distância até o lençol freático deve ser maior que 0,7 m durante o ano todo.

Algumas áreas devem ser eliminadas devido à proximidade de corpos d'água, os quais devem ser protegidos contra poluentes entrando nas águas através de escoamento superficial ou erosão dos resíduos orgânicos. Quanto maior o número de sulcos de drenagem, menor a área total utilizável. As áreas de aplicação, em geral, não devem conter partes substanciais de bacias hidrográficas as quais são usadas para o fornecimento de água potável. Áreas onde há espelhos d'água permanentes e com potencial para enchentes devem sempre ser evitadas. Esses fatores estão classificados na Tabela 1.

Fatores climáticos

Os fatores climáticos a serem considerados na avaliação do terreno incluem temperatura e precipitação pluviométrica; o número de dias durante o ano em que neva, em que baixas temperaturas ou chuva podem interromper as operações é bastante importante. A altitude afeta o número de dias em que o terreno é inadequado para receber aplicações devido à neve ou geada.

Tabela 1

 Ordem numérica relativa (ONR) para a escolha de sítios florestais para aplicação de resíduos orgânicos.
 (Ranking of forest sites for biosolids application)

Fator	ONR
Topografia	
Declive:	
menos de 10%	10
10-20%	6
20-30%	3
mais de 30%	0
Continuidade do terreno (um pouco subjetivo):	
sem vales, rios, córregos, etc, que necessitem proteção	10
1 ou 2 descontinuidades necessitando proteção	6
muitas descontinuidades	0-3
Transporte	
Distância	1-10
Condições das estradas	1-10
Passagem através de áreas sensíveis (centros urbanos)	1-10
Sistema de Acesso à Floresta	
Porcentagem do sistema já disponível	0-10
Facilidades para novas construções:	
fácil (solos bons, pouco declive, árvores jovens)	7-10
difícil	1-5
Perigo de erosão:	
pequeno (solos bons, pouco declive)	7-10
grande	1-5
Solo e Geologia	
Tipos de solo:	
arenoso, com areia grossa	10
arenoso	8
bem estruturado, equilíbrio entre argila, silte e areia	5-6
siltoso	3-6
argiloso	1-3
orgânico	0
Profundidade do solo:	
acima de 3 m	10
1-3 m	8
0,3-1 m	4
menos de 0,3 m	0
Geologia (subjetivo, dependente do aquífero):	
rocha sedimentar	6-9
basalto andesítico	6-9
tilito	3-6
Lacustrino	1-3
Vegetação	
Espécies de árvores:	
Eucalipto, Cottonwood híbrido (alta taxa de retirada de N)	10
Douglas-fir	9
Pinus e outras coníferas	7
outras folhosas (em florestas heterogêneas)	4

Tabela 1 - Continuação

Ordem numérica relativa (ONR) para a escolha de sítios florestais para aplicação de resíduos orgânicos.
(Ranking of forest sites for biosolids application)

Fator	ONR
Idade da Floresta:	
Folhosas: menos de 4 anos-EUA (6 meses para eucalipto no Brasil)	10
4 anos ou mais - EUA (6 meses para eucalipto no Brasil)	8
coníferas: mais de 30 anos - EUA (10 anos no Brasil)	7-10
mais de 1 m de altura e até 10 anos-EUA (3 anos no Brasil)	7-10
10-20 anos - EUA (3 a 6 anos no Brasil)	6-8
20-30 anos - EUA (6 a 10 anos no Brasil)	0-6
menos de 1 m de altura	0-3
Condições da Floresta	
aplicação sobre a copa das árvores:	
densidade adequada	10
baixa densidade	2-6
aplicação sob a copa das árvores:	
bem desbastada	10
não desbastada ou densa	2-8
Sub-bosque:	
média de 15 cm ou mais de altura em mais de 90% do local	10
média de 5 cm de altura em mais de 70% do local	7
cobertura vegetal parcial	2-7
Recursos Aquíferos	
Água subterrânea, profundidade média do lençol freático sazonal:	
mais de 5 m	10
2-5 m	7
0,6-2 m	4
menos de 0,6 m	0
Fluxo da água subterrânea:	
não em direção ao aquífero	10
contribuição significativa ao aquífero utilizável	2-5
Distância de uso doméstico do aquífero:	
mais de 1500 m	10
300-1500 m	7
menos de 300 m	3
Água de superfície, tempo de escoamento para ser atingida:	
mais de 1 hora	7-10
Imediato	3
Canais de água de superfície:	
facilmente definidos e com área de proteção	7-10
difícil de definir e com área de proteção	1-5
Uso doméstico da água de superfície:	
não usada	10
uso por famílias à jusante	5
uso municipal (dependendo de sua distância)	0-5
Clima	
(i.e., precipitação pluviométrica, temperatura)	1-1

Cargas permitidas de contaminantes

O controle dos limites de cargas de contaminantes e as práticas de manejo apropriadas mantêm excepcionalmente baixos os riscos associados com a aplicação de resíduos orgânicos em áreas florestais, conforme tem-se observado pelas regulamentações desenvolvidas para biossólidos (USEPA, 1982). No momento, parece razoável utilizar essas diretrizes para doses de contaminantes para outros tipos de resíduos orgânicos até que diretrizes mais específicas sejam formuladas. A Tabela 2 apresenta as doses de contaminantes desenvolvidas pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) para aplicações florestais, as quais são as mesmas que as normas para aplicações agrícolas. A EPA escolheu eliminar a regulamentação de compostos orgânicos sintéticos porque eles são encontrados somente em concentrações muito baixas nos biossólidos e é necessário uma concentração relativamente alta para que sejam consideradas um problema para o ambiente e para a saúde pública. Existe a possibilidade da ocorrência de concentrações mais altas de compostos orgânicos sintéticos em outros resíduos orgânicos quando comparados com o biossólido, e cada tipo novo de resíduo deve ser avaliado. Entretanto, em geral, não se tem encontrado concentrações que causem maiores conseqüências.

Tabela 2

Doses de metal pesado em aplicações de biossólidos em florestas (USEPA, 1982).

(Rates of trace metal applications from biosolids)

Contaminantes	Limite (kg ha ⁻¹)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cromo	3000
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Molibdênio	18
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Redução de agentes patogênicos

Assim como para os metais pesados, há poucas normas disponíveis para a maioria dos resíduos orgânicos com relação aos

agentes patogênicos, com exceção dos biossólidos. A EPA desenvolveu duas classificações para a redução total de agentes patogênicos em biossólidos: Classe A - a classificação recebida se a concentração de coliformes fecais é menor que 1000 por g de sólidos secos ou se a *salmonella* esta abaixo do limite de detecção; e Classe B - dada a biossólidos cuja concentração de coliformes fecais é menor que 1.000.000 por g de sólidos secos. Os biossólidos na Classe A não requerem qualquer restrição de acesso público ao local de aplicação, enquanto que os biossólidos na Classe B requerem restrição de acesso público pelo período de um ano.

Doses de nutrientes

Como já mencionado anteriormente, as taxas de aplicação de resíduos orgânicos são baseadas nos nutrientes ou na matéria orgânica. Para os materiais ricos em nutrientes (i.e., biossólidos ou lodos secundários de C&P) deve-se atingir um equilíbrio entre as taxas de aplicação, que devem ser baixas o suficiente para que a integridade do ambiente não seja comprometida devido ao excesso de nutrientes aplicados, mas que, ao mesmo tempo, garantam uma quantidade suficiente de nutrientes para uma máxima resposta de crescimento. Da mesma forma, essas taxas devem responder ao desenvolvimento do local e aos custos de aplicação. Os três macronutrientes considerados mais importantes em termos de necessidade das plantas são nitrogênio, fósforo e potássio. Tradicionalmente, o nitrogênio tem sido considerado o nutriente mais importante na determinação da taxa de fertilização ou de aplicação de biossólidos no solo, porque ele é necessário como suplemento em quantidades muito maiores do que os outros dois nutrientes, e pode, na forma de NO₃⁻, movimentar-se bem no solo.

Taxas de nitrogênio

As quantidades de nitrogênio que excedem à capacidade assimilativa do solo resultam em lixiviação de NO₃⁻. Vários estudos conduzidos em Pack Forest, fazenda experimental pertencente à Universidade de Washington / EUA, demonstram que aplicações massivas resultam em um crescimento substancial de NO₃⁻ nas águas subterrâneas (Riekirk e Cole, 1976; Vogt et al., 1980; Henry et al., 2000).

Os biossólidos e o lodo secundário de C&P podem conter grandes quantidades de nitrogênio. Sommers (1977) encontrou uma concentração média de 4,2% de nitrogênio em biossólidos anaeróbicos. Tais biossólidos contêm nitrogênio em duas formas principais: N orgânico (tipicamente, cerca de 80%) e formas minerais, tais como amônio (em geral, cerca de 19%) e NO_3^- (<1%) (USEPA, 1995). O nitrogênio disponível imediatamente após a adição de biossólidos (NH_4^+) e o disponível logo após a aplicação através da mineralização, pode seguir um série de caminhos diferentes. O nitrogênio pode ser: perdido através da volatilização de amônia; absorvido pelas árvores e sub-bosque; temporariamente permanecer em sítios de troca do solo na forma de NH_4^+ ; armazenado no solo por um longo período através da imobilização por microorganismos; ou transformado por microorganismos em NO_3^- , o qual pode ser perdido através de lixiviação, ou como N_2 ou N_2O através de denitrificação. A Tabela 3 apresenta dois exemplos de suposições e cálculos que podem ser feitos para tipos diferentes de florestas de Douglas-fir. Esses cálculos, com uma variação um tanto excessiva de 7 a 30 Mg ha^{-1} , refletem a necessidade de se caracterizar o terreno apropriadamente e de se incorporar a capacidade assimilativa do local nos cálculos das taxas de aplicação.

Fósforo e Potássio

O fósforo, normalmente, é encontrado nos biossólidos em concentrações iguais a cerca de dois terços das de nitrogênio; porém, é requisitado pelas plantas a taxas de 20-50% das

de nitrogênio. Portanto, a concentração de fósforo raramente limita o crescimento das plantas quando a taxa de aplicação é baseada na necessidade de nitrogênio. A precipitação e a adsorção de fósforo no solo são os fatores responsáveis pela sua disponibilidade limitada, e esta fixação restringe o seu movimento para as águas subterrâneas a níveis bastante baixos. Além disso, o excesso de fósforo no solo não representa uma ameaça para as plantas da floresta ou para o meio ambiente.

Em contraste, o potássio é encontrado em concentrações de cerca de apenas um décimo das concentrações de nitrogênio nos biossólidos, mas é absorvido pelas plantas em níveis que se igualam aos de nitrogênio. Portanto, é improvável que ocorra um depósito excessivo de potássio proveniente da aplicação de biossólidos. O potássio é geralmente encontrado em concentrações relativamente altas nos solos da região noroeste dos EUA, onde raramente é um fator limitante para o crescimento das plantas. Entretanto, no sudeste dos EUA e nas regiões tropicais, como o Brasil, onde os solos são mais antigos, os teores desse elemento são bem baixos.

Restrições do declive

A aplicação de resíduos orgânicos na forma líquida em terrenos excessivamente inclinados aumenta o fluxo de escoamento superficial nas áreas de aplicação. A Tabela 4 apresenta as inclinações sugeridas a partir de estudos de campo realizados na Washington State University / EUA.

Tabela 3

Exemplo das suposições e cálculos da taxa de aplicação de biossólidos baseados na disponibilidade de nitrogênio em dois tipos de florestas plantadas com Douglas-fir (EUA).

(Assumptions for calculating biosolids application rates for available nitrogen)

Suposições	Floresta	
	Jovem	Adulta
N- NH_4^+ inicial (g g^{-1} de sólidos secos), NA	0,01	0,01
N orgânico (g g^{-1} de sólidos secos), NO	0,04	0,04
Perda por volatilização (do NH_4^+ inicial), V	0,25	0,10
N mineralizado (do N orgânico), M	0,25	0,25
Denitrificação (do valor líquido disponível de N), D	0,25	0,10
Absorvido pelas árvores (kg ha^{-1}), AA	100,00	45,00
Absorvido pelo sub-bosque (kg ha^{-1}), AS	90,00	25,00
Imobilização do solo (kg ha^{-1}), IS	200,00	50,00
NH_4^+ lixiviado, objetivo a ser alcançado (kg ha^{-1})	0,00	0,00
Equação: $TA = (AA+AS+IS)/[1000*(NA*(1-V)+NO*M)(1-D)]$		
Taxa de aplicação (Mg ha^{-1}), TA	30,00	7,00
N total a ser aplicado (kg ha^{-1})	1500,00	350,00

Tabela 4

Declive máximo indicado para aplicação de biossólidos em sítios florestais (Henry, 1988).

(Maximum recommended slopes for biosolids application to forests)

Contaminantes	Limite (kg ha ⁻¹)
Estação seca:	
Boa cobertura vegetal	30%
Má cobertura vegetal	15%
Estação chuvosa:	
Boa cobertura vegetal	15%
Má cobertura vegetal	8%

Requerimentos da área de proteção

As áreas de proteção têm pelo menos duas finalidades: fornecer um fator de segurança contra o excesso de aplicação ou erros que podem ocorrer mesmo quando técnicas apropriadas de aplicação e manejo estão sendo utilizadas; e fornecer tratamento e filtragem dos resíduos orgânicos e/ou do escoamento

superficial proveniente das áreas aplicadas. As condições da superfície do terreno é um fator crítico. Em outras palavras, solo sem vegetação praticamente não oferece qualquer filtragem; solo coberto com gramíneas fornece um tratamento satisfatório, enquanto que o solo poroso de florestas pode fornecer tratamento e filtragem excelentes. As diferenças devem também depender do tipo de cursos d'água. Há pelos menos três razões para tal: cursos d'água maiores são, em geral, mais difíceis de limpar quando um acidente acontece (isto é, geralmente é mais difícil fechar um rio que necessita de limpeza devido à contaminação por biossólidos do que fechar um córrego); cursos d'água maiores têm maior potencial para uso doméstico; cursos d'água maiores frequentemente possuem barrancos menos definidos e que são mais distantes da corrente normal das águas. A Tabela 5 mostra a área de proteção indicada para cursos d'água.

Tabela 5

Recomendações para áreas de proteção em aplicação de biossólidos em áreas florestais.

(Recommendations for buffer areas for biosolids application to forests)

Método de Aplicação & Condições da Área de Proteção	Tipo de corpo d'água			
	Grande Fluxo Constante	Tributário Pequeno	Córregos	Temporários
Aplicado na Superfície:				
Área de proteção não perturbada	60 m	30 m	15 m	10 m
Área de proteção perturbada	60 m	60 m	30 m	15 m
Injetada ou incorporada	30 m	30 m	15 m	10 m

AUTORES

ROBERT B. HARRISON é Professor Titular do College of Forest Resources da University of Washington - Seattle, WA - 98195-2100 - E-mail: robh@u.washington.edu

IRAÊ AMARAL GUERRINI é Professor Doutor do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da UNESP / Botucatu - E-mail: iguerrini@fca.unesp.br

CHARLES L. HENRY é Associate Research Professor do College of Forest Resources da University of Washington - Seattle, WA - 8195-2100 - E-mail: clh@u.washington.edu

DALE W. COLE é Professor Emérito do College of Forest Resources da University of Washington - Seattle, WA - 98195-2100 - E-mail: dwc@u.washington.edu

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G.C. **Efeitos da aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** Curitiba, 2002. 117p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná.
- ASPITARTE, T.R. Agricultural utilization of wastewater treatment sludges. In: NCASI CENTRAL-LAKES STATES REGIONAL MEETING, 1979. **Proceedings.** 1980. (NCASI special report, 80-02)
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.269-286.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção de solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-planta.** Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

- BENGTSON, G.W.; CORNETTE, J.J. Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine: effects on soil and trees. **Journal of environmental quality**, v.2, n.4, p.441, 1973.
- BLEDSON, C.S. **Municipal sludge application to Pacific Northwest forest lands**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 1981. (Contribution, 41).
- BROCKWAY, D.G. Forest floor, soil, and vegetation responses to sludge fertilization in red and white pine plantations. **Soil Science Society of America journal**, v.47, p.776-784, 1983.
- BROCKWAY, D.G.; URIE, D.H.; NGUYEN, P.V.; HART, J.B. Wastewater and sludge nutrient utilization in forest ecosystems. In: COLE, D.W.; HENRY, C.; NUTTER, W., ed. **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge**. Seattle: University Press, 1986. p.533.
- COLE, D.W.; HENRY, C.L.; NUTTER, W. **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge**. Seattle: University of Washington Press, 1986.
- DIONÍSIO, J.A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. Curitiba, 1996. 89p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná.
- EDMONDS, R.L. Microbiological characteristics of dewatered biosolids following application to forest soils and clearcut areas. In: SOPPER, W.E.; KERR, S.N., ed. **Utilization of municipal sewage effluent and biosolids on forest and disturbed land**. University Park: Pennsylvania State University Press, 1979.
- EDMONDS, R.L.; MAYER, K.P. Aerial dispersion of coliform bacterial from sewage sludge spraying in a Douglas-fir forest. In: HENRY, C.L.; COLE, D.W., ed. **Use of dewatered sludge as an amendment for forest growth**. Seattle: Institute of Forest Resources, University of Washington, 1983. v.4, p.104.
- FISKELL, J.G.A.; PRITCHETT, W.L.; MAFTOUN, M.; SMITH, W.H. Effect of garbage compost rate and placement on a slash pine forest and metal distribution in an acid soil. In: ANNUAL CONFERENCE OF APPLIED RESOURCES AND PRACTICE ON MUNICIPAL INDUSTRIAL WASTE, 2, Madison, 1979. **Proceedings**. p.302
- GERBA, C.P. Pathogens. In: PAGE, A.L. et al., ed. **Workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land**. Riverside: University of California, 1983. p.147-187.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.J., ed. **Management of soils, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p.379-417.
- GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: 2- efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., ed. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.179-195.
- GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T. **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas / UNESP, 1994. 215p.
- GUERRINI, I.A.; COMÉRIO, J.; MORO, L.; LOPES, M.A.F.; HARRISON, R.B. Effects of wood ash x pulp and paper sludge interaction in *Eucalyptus* plantation. In: NORTH AMERICAN FOREST SOILS CONFERENCE, 9, 1998. **Anais**. Madison: American Soil Science Society, 1998.
- GUERRINI, I.A.; CORRADINI, L.; VALLE, C.F. Efeito do lodo ativado sobre algumas características físicas de uma areia quartzosa cultivada com eucalipto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, Ilhéus, 2000. **Resumos Expandidos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000b. (CD-ROM).
- GUERRINI, I.A.; CORRADINI, L.; VALLE, C.F.; VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T. Use of activated sludge in eucalypts plantations in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST SOILS, 4, Vila Real, 2000. **Resumos**. Vila Real: International Soil Science Society, 2000a. p.217.
- GUERRINI, I.A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BULL, L.T., ed. **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF / UNESP, 1994. p.189-215.
- GUERRINI, I.A.; VILLAS BÔAS, R.L.; BENEDETTI, V.; COMÉRIO, J.; MORO, L. Application of wood ash and pulp and paper sludge to *Eucalyptus grandis* in three Brazilian soils. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K., ed. **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000c. p.127-131.
- GUERRINI, I.A.; VILLAS BÔAS, R.L.; GONÇALVES, J.L.M. Use of industrial residues on eucalypt plantations in Brazil. In: HENRY, C.L.; HARRISON, R.B.; BASTIAN, R.K., ed. **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000d. p.218-224.
- HARRISON, R.B.; HENRY, C.L.; COLE, D.W.; XUE, D. Recycling of industrial wastes and forest harvesting residues on forest lands. In: MACHADO, C.C., coord. **Simpósio brasileiro de pesquisa florestal**. Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 1993a. p.255-264.

- HARRISON, R.B.; HENRY, C.L.; XUE, D.; CANARY, J.; LEONARD, P.; KING, R. The fate of metals in land application systems. In: HENRY, C.L.; HARRISON, R.B.; BASTIAN, R.K., ed. **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000. p.49-53.
- HARRISON, R.B.; XUE, D.; HENRY, C. Long-term effects of heavy applications of biosolids to coarse-textured soils. In: ANNUAL MEETING ON TRACE METALS IN THE ENVIRONMENT, 2, Taipei, 1993b. **Proceedings**.
- HEILMAN, P.E. Minerals, chemical properties and fertility of forest soils. In: HEILMAN, P.E. et al., ed. **Forest soils of the douglas-fir region**. Pullman: Washington State Cooperative Extension Service, 1981. p.121-136.
- HENRY, C.L. **Buffers and slopes recommendations (incorporated in). Guidance for writing case-by-case permit requirements for municipal sewage sludge**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1988.
- HENRY, C.L. **Evaluation of comments on the proposed standards for management of sewage sludge: non-agricultural land application**. Washington: U.S. EPA-NNEMS Publication, 1989a.
- HENRY, C.L. Growth response, mortality and foliar nitrogen concentrations of four tree species treated with pulp and paper and municipal sludges. In: COLE, D.W.; HENRY, C.L.; NUTTER, W., ed. **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge**. Seattle: University Press, 1986. p.258-265.
- HENRY, C.L. **Nitrogen dynamics of pulp and paper sludge amendment to forest soils**. Seattle, 1989b. Tese (Doutorado). University of Washington.
- HENRY, C.L. Nitrogen dynamics of pulp and paper sludge to forest soils. **Water science technology**, v.24, n.3/4, p.417-425, 1991.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W. **Use of dewatered sludge as an amendment for forest growth**. Seattle: Institute of Forest Resources, University of Washington, 1983. v.4
- HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B. Nitrate leaching from fertilization of three Douglas-fir stands with biosolids. In: HENRY, C.L.; HARRISON, R.B.; BASTIAN, R.K., ed. **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000. p.83-88.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.E.; HARRISON, R.B. The use of municipal and pulp and paper sludges to increase production in forestry. **Journal of sustainable forestry**, v.1, n.3, p.41-55, 1993.
- HENRY, C.; HARRISON, R.B. **Literature reviews on environmental effects of sludge management: trace metals, effects on wildlife and domestic animals, incinerator emissions and ash, nitrogen, pathogens, and trace synthetic organics**. Seattle: Regional Sludge Management Committee, 1991.
- JOKELA, E.J.; SMITH, W.H.; COLBERT, S.R. Growth and elemental content of slash pine 16 years after treatment with garbage composted with sewage sludge. **Journal of environmental quality**, v.19, p.146, 1990.
- KOWEL, N.E. An overview of public health effects. In: PAGE, A.L. et al., ed. **Utilization of municipal wastewater and sludge on land**. Riverside: University of California, 1983. p.329-394.
- LOGAN, T.J.; CHANEY, R. Metals. In: PAGE, A.L. et al., ed. **Utilization of municipal wastewater and sludge on land**. Riverside: University of California, 1983. p.235.
- McKim, H.L.; SOPPER, W.E.; COLE, D.W.; NUTTER, W.; URIE, D.H.; SCHIESS, P.; KERR, S.N.; FARQUHAR, H. **Wastewater applications in forest ecosystems**. Hanover: US Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1980. (CRREL report, 119)
- OVERCASH, M.R. Land treatment of municipal effluent and biosolids: specific organic compounds. In: PAGE, A.L. et al., ed. **Utilization of municipal wastewater and sludge on land**. Riverside: University of California, 1983. p.480.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: 1- reflexo no ciclo de nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., ed. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.163-178.
- RIEKIRK, H.; COLE, D.W. Chemistry of soil and ground water solutions associated with sludge applications. In: EDMONDS, R.L.; COLE, D.W., ed. **Use of dewatered sludge as an amendment for forest growth**. Seattle: Center for Ecosystem Studies, College of Forest Resources, University of Washington, 1976. v.1, p.112.
- SCHIESS, P.; COLE, D.W. Renovation of wastewater by forest stands. In: BLEDSOE, C.S., ed. **Municipal biosolids application to Pacific Northwest forest lands**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 1981. p.131-147. (Institute of Forest Resources Contribution, 41)
- SHIELDS, W.J.; HUDDY, M.D.; SOMERS, S.G. Pulp mill sludge application to a cottonwood plantation. In: COLE, D.W.; HENRY, C.L.; NUTTER, W., ed. **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge**. Seattle: University Press, 1986. p.533-548.
- SMITH, W.H.; EVANS, J.O. Special opportunities and problems in using forest soils for organic waste applications. In: ELLIOTT, L.F. et al., ed. **Soils for management of organic waste and waste waters**. Madison: SSSA-ASA-CSSA, 1977. p.428-453.

- SMITH, W.H.; POST, D.M.; ADRIAN, F.W. Waste management to maintain or enhance productivity. In: **IMPACT OF INTENSIVE HARVESTING ON FOREST NUTRIENT CYCLING**, 1979. **Proceedings**. Syracuse: State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, 1979. p.304.
- SOMMERS, L.E. Forms of sulfur in sewage sludge. **Journal of environmental quality**, v.6, p.42-46, 1977.
- SOPPER, W.E.; KERR, S.N. **Utilization of municipal sewage effluents and sludge on forest and disturbed land**. University Park: Pennsylvania State University Press, 1979.
- SOPPER, W.E.; SEAKER, E.M.; BASTIAN, R.K. **Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge**. University Park: Pennsylvania State University Press, 1982.
- USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process design manual for land application of sewage sludge and domestic septage**. Washington: EPA, 1995. (Code of Federal Regulations 625/R-95/001).
- USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Standards for the use and disposal of sewage sludge**. Washington: EPA, 1982. (Code of Federal Regulations 40 CFR Part 503).
- VOGT, K.A.; EDMONDS, R.L.; VOGT, D.J. Regulation of nitrate levels in sludge, soil and ground water. In: EDMONDS, R.L.; COLE, D.W., ed. **Use of dewatered sludge as an amendment for forest growth**. Seattle: Institute of Forest Resources, University of Washington, 1980. v.3, p.120.
- ZEN, S.; BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoa-mentos de eucalipto. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T., ed. **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas / UNESP, 1994. p.25-39.

Circular Técnica IPEF (ISSN 0100-3453) é publicada sem periodicidade regular pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) em convênio com o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. *Circular Técnica IPEF* divulga conhecimentos técnicos e científicos referentes ao setor florestal. Os objetivos principais são transferência de tecnologia, disseminação de métodos, técnicas e informações importantes para o desenvolvimento das atividades florestais e para a atualização dos profissionais que atuam no setor.

Os manuscritos devem ser submetidos à Comissão Editorial em três cópias. Inicialmente, somente manuscritos impressos são necessários. Após a aceitação do trabalho, será solicitado o manuscrito em formato digital. Para maiores informações contate:

Circular Técnica IPEF
IPEF - ESALQ/USP
Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530
13400-970, Piracicaba, SP - Brasil
fone: 55-19-3436-8618
fax: 55-19-3436-8666
E-mail: mmpoggia@esalq.usp.br
<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica>

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade de *Circular Técnica IPEF* e não representam necessariamente as opiniões do IPEF ou do Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP.

Circular Técnica IPEF (ISSN 0100-3453) teve início em 1979.

Comissão Editorial / Editorial Board

Editora Executiva / Executive Editor

Marialice Metzker Poggiani

Editores Científicos / Scientific Editors

Antonio Natal Gonçalves – ESALQ/USP
Biotecnologia e Melhoramento Florestal/
Biotechnology and Tree Improvement

Fábio Poggiani – ESALQ/USP
Ecologia florestal e Gerenciamento Ambiental/
Forest Ecology and Environmental Management

Fernando Seixas e
José Luiz Stape – ESALQ/USP
Silvicultura e Manejo Florestal/
Silviculture and Forest Management

Sócios do IPEF

Sócios Titulares

Aracruz Celulose S.A.	- Espírito Santo e Bahia
Bahia Sul Celulose S/A	- Bahia
CAF Santa Bárbara Ltda	- Minas Gerais e Bahia
Cenibra - Celulose Nipo Brasileira S.A.	- Minas Gerais
Cia Suzano de Papel e Celulose S/A	- São Paulo e Maranhão
Desarrollo Forestal S.A. de C.V.	- México
Duratex S/A	- São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia
Eucatex S/A Indústria e Comércio	- São Paulo
Inpacel Agroflorestal Ltda.	- Paraná
Indústrias Klabin de Papel e Celulose	- Paraná, Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul
International Paper do Brasil	- São Paulo, Mato Grosso do Sul e Amapá
Jari Celulose S/A	- Pará
Lwarcel Celulose e Papel Ltda.	- São Paulo
Ripasa S.A. Celulose e Papel	- São Paulo
Votorantim Celulose e Papel S.A.	- São Paulo e Minas Gerais

Francides Gomes da Silva Júnior e
Geraldo Bortoletto Júnior – ESALQ/USP
Tecnologia de Produtos Florestais/
Forest Products Technology

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

Adolpho José Melfi - Reitor

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” (ESALQ/USP)

José Roberto Postali Parra - Diretor
Raul Machado Neto - Vice-Diretor

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)

Antônio Joaquim de Oliveira - Presidente
José Maria de Arruda Mendes Filho - Vice-Presidente
José Otávio Brito (ESALQ/USP) - Diretor Executivo

Editoração e Diagramação

Luiz Erivelto de Oliveira Júnior - IPEF



INSTITUTO DE PESQUISAS
E ESTUDOS FLORESTAIS