

UNIOESTE - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
NÍVEL MESTRADO

PAULA VERGILI PÉREZ

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE BIODISSÓLIDO NO CRESCIMENTO INICIAL  
DE *Eucalyptus citriodora* Hook**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
JULHO - 2008

**PAULA VERGILI PÉREZ**

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO INICIAL  
DE *Eucalyptus citriodora* Hook**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre, área de concentração em Sustentabilidade de Agroecossistemas.

**ORIENTADOR: PROF. DR. UBIRAJARA  
CONTRO MALAVASI**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
JULHO - 2008**

Uma breve jornada, oportunidades, que ficarão ligados.  
Qual o mundo que deixaremos para trás quando partirmos?  
Que herança lhe destinaremos?  
O futuro dependerá do que agora fizermos.  
E, certamente, há muito por se fazer...

O Reino de Deus não irá despencar sobre nossas cabeças da noite para o dia, somos sinceros no nosso desejo de que ele venha até nós, mas temos que fazer a nossa parte.

O Reino de Deus, a idade áurea marcada pela justiça, não descera dos céus, ele soerguer-se-á do chão em que pisamos regado pelo sagrado suor dos que se importam com o próximo. A sua chegada depende de pequenos atos de bondade, de heróicos gestos de compaixão.

Qual o mundo que deixaremos para as crianças de hoje e para as que ainda nascerão?

“O oposto de amor não é o ódio, mas a indiferença.”

**(Érico Veríssimo)**

**A minha família e Marcos Vinicius.**

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo sempre.

Mãe, vovó Nilda e Marina, minha família.

Ao meu amor, Marcos Vinicius, você mora no meu coração, sempre.

Aos meus amigos, Jú e Tortei, que são os irmãos que a vida me presenteou.

A Roger, meu companheirinho de todas as horas.

A todos aqueles, tão amados, que me protegem, aconselham e que se foram para um nível que ainda não compreendo, saudades gigantescas.

Aos colegas de mestrado Marcelo Júnior Lang, Neusa Francisca Michelin Herzog, Vanessa Decker e Aletéia Lang.

À Noili pelo apoio e conselhos.

Ao prof. Ubirajara Contro Malavasi pela orientação, desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos professores Cláudio Yuji Tsutsumi, Mônica Sarolli Silva de Medonça Costa e Maria do Carmo Lana pela prontidão e apoio.

Ao Programa de Pós-graduação de Agronomia do *Campus* de Marechal Cândido Rondon da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade.

Ao Núcleo de Estações Experimentais pela estrutura, funcionários e área disponibilizados.

À SANEPAR, pela doação do biossólido.

A CAPES pela concessão da bolsa.

A todos aqueles que de certa forma contribuíram para a conclusão de mais este trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	7
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	8
<b>RESUMO</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO .....	13
2.2 PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BIOSSÓLIDO .....	15
2.3 PRINCIPAIS USOS DO BIOSSÓLIDO .....	18
2.3.1 USO AGROFLORESTAL DO BIOSSÓLIDO .....	19
2.3.1.1 Aspectos econômicos referentes ao uso agroflorestal .....	23
2.4 BENEFÍCIOS DO USO DE BIOSSÓLIDO .....	24
2.4.1 RESTRIÇÕES E LEGISLAÇÃO SOBRE O USO DO BIOSSÓLIDO .....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	31
3.2 ESPÉCIE UTILIZADA .....	31
3.3 PRODUÇÃO DAS MUDAS DE <i>Eucalyptus citriodora</i> Hook .....	33
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	33
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO .....	34
3.6 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	35
3.7 HOMOGENEIZAÇÃO DE ESCOLHAS DAS MUDAS .....	35
3.8 IMPLANTAÇÃO, CONDUÇÃO E TRATOS CULTURAIS .....	36
3.9 VARIÁVEIS AVALIADAS .....	37
3.10 ANÁLISE DE DADOS .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
4.1 COMPRIMENTO DA PLANTA .....	40
4.2 NÚMERO DE FOLHAS .....	41
4.3 ÁREA FOLIAR .....	43

4.4 DIÂMETRO DO COLETO .....	43
4.5 BIOMASSA SECA AÉREA .....	44
4.6 BIOMASSA SECA RADICIAL .....	45
4.7 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL .....	46
4.8 ÍNDICE DE DICKSON .....	47
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>
<b>7 APÊNDICES .....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Vaso em PVC utilizado no experimento.....36
- FIGURA 2. Gráfico do Índice de Dickson de *E. Citriodora* sob diferentes doses de biossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.....48

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Caracterização química do bioossólido aplicado no experimento .....	34
TABELA 2. Características químicas do solo do experimento .....	35
TABELA 3. Médias dos incrementos em comprimento de <i>E.citriodora</i> sob diferentes doses de bioossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008 .....	40
TABELA 4. Médias dos incrementos do número de folhas por planta de <i>E.citriodora</i> sob diferentes doses de bioossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008 .....	42
TABELA 5. Médias dos incrementos em diâmetro do coleto de <i>E.citriodora</i> sob diferentes doses de bioossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.....	44
TABELA 6. Médias dos incrementos em biomassa seca radicial de <i>E.citriodora</i> sob diferentes doses de bioossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.....	45
TABELA 7. Produção de biomassa seca foliar, coeficiente de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg em <i>E.citriodora</i> sob diferentes doses de bioossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm na última época de avaliação (300 dias após o transplante). Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.....	46

## RESUMO

PÉREZ, Paula Vergili. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2008.  
**EFEITOS DA ADIÇÃO DE BIODOSSÍLIDO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO *Eucalyptus citriodora* Hook.**

Professor Orientador: Dr. Ubirajara Contro Malavasi

A preocupação com a elevada quantidade de material orgânico gerado nas mais diferentes atividades humanas, é hoje em dia a sua reutilização. Assim, a utilização de lodo de esgoto tratado como adubo orgânico e condicionador físico de solos vêm sendo pesquisado para várias culturas em destaque para as espécies florestais. Desta forma este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de doses de biodossídeos no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. Utilizou-se para o experimento as seguintes doses de biodossídeo: 0, 10, 20, 30 e 40 t ha<sup>-1</sup> com incorporação destas à camada superficial de 20 cm. Os parâmetros avaliados foram: comprimento das plantas, número de folhas, diâmetro do coleto, área foliar e biomassa seca radicular e aérea aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias após o transplante. A análise dos resultados indicou que a viabilidade de uso está entre as doses 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, pois seus efeitos estão demonstrados positivamente nos parâmetros: comprimento de planta (média dos incrementos entre 30 e 40 t ha<sup>-1</sup> igual a 38,85 cm) e número de folhas (média dos incrementos entre 30 e 40 t ha<sup>-1</sup> de 43,9 folhas, maior que os demais tratamentos que obtiveram média igual a 35,62 folhas), assim como em diâmetro de coleto e biomassa seca aérea. Evidências na redução do acúmulo de biomassa seca radicular com a aplicação de doses crescentes do biodossídeo a dose 10 t ha<sup>-1</sup> destacou-se, pois esta obteve a maior média (99,12g) do que os demais tratamentos (31,48g), indicando uma prioridade na estratégia de crescimento da espécie de rápido desenvolvimento, cujo interesse comercial destaca-se pela produção de madeira e folhas, implica na recomendação da dose de 30 t ha<sup>-1</sup> que pode reduzir gastos em transporte e em aplicação comparativamente à dose de 40 t ha<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: lodo de esgoto, uso agroflorestal, *Eucalyptus citriodora*.

## ABSTRACT

PÉREZ, Paula Vergili. Universidade estadual do Oeste do Paraná, July, 2008. **Effects of the biosolids addition in the initial development of *Eucalyptus citriodora* Hook.**

Guide Professor: Doctor. Ubirajara Contro Malavasi

Nowadays the concerns about the high amount of organic material produced by human activities refer to its reutilization. Thus, the usage of treated sewer mud as an organic fertilizer and physical conditioner of soils has been researched for several cultures, especially forest species. Hence this work aimed to evaluate the effects of the addition of biosolids doses in the initial development of the *Eucalyptus citriodora* Hook. For this experiment it was utilized doses of biosolids equivalents at 0, 10, 20, 30 and 40 t ha<sup>-1</sup>. With their incorporation to a superficial layer of 20 cm. The parameters evaluated were: plants length; number of leaves, foliar area, colon diameter and aerial and radicular dry biomasses on 60, 120, 180, 240 and 300 days after the transplant. The analysis of the results pointed that the viability of the use is between the doses 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, because their effects are positively demonstrated in the parameters: plant length (increases average between 30 e 40 t ha<sup>-1</sup> equal to 38,85 cm) and number of leaves (increases average between 30 e 40 t ha<sup>-1</sup> of 43,9 leaves, higher than other treatments that got an average equal to 35,62 leaves), as well as in the colon diameter and aerial and dry biomass. Evidences on the reduction of the radicular dry biomass accumulation with the application of increasing doses of biosolid, the dose 10 t ha<sup>-1</sup> stood out, because this got the average higher (99,12g) than the other treatments (31,48), indicating a priority in the growing strategy of the fast development specie, which commercial interest is emphasized by the production of wood and leaves, implies a recommendation of doses of 30 t ha<sup>-1</sup> that is able to reduce expenses in transport and in application comparatively to a doses of 40 t ha<sup>-1</sup>.

KEYWORDS: sewer mud; agroforestry use, *Eucalyptus citriodora*.

## INTRODUÇÃO

A alta concentração demográfica e a urbanização das cidades levam a maior geração dos esgotos sanitários, o que conseqüentemente acarreta um aumento de resíduo produzido em estações de tratamento de esgoto. Esse resíduo, denominado lodo de esgoto, dependendo de seu destino final pode gerar outros problemas ecológicos e sanitários. A maior parte do lodo gerado no Brasil, ainda é destinada a aterros sanitários que além de elevados custos, ou seja, 40% do custo operacional de uma ETE podem causar também problemas sociais. Como a população não pára de gerar resíduo e são escassas as áreas apropriadas e disponíveis para a construção de novos aterros sanitários próximos às cidades, o destino final do lodo de esgoto não é sustentável e pode ser minimizado através da reutilização, aproveitando a carga de nutrientes contida neste material e transformando-o em um produto útil do ponto de vista nutricional vegetal (TSUTIYA, 2000).

O biossólido possui características orgânicas com teores razoáveis de nutrientes para as plantas. Sendo empregado em vários países como fertilizante e condicionador de solos, para culturas florestais como pinus e álamo (HENRY & COLE; KAYS et al.; KIMBERLEYA et al.,) citados por Faria (2007). O Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006) e a Agenda 21 Brasileira (1995), incentivam o uso do biossólido como adubo orgânico em práticas conservacionistas e na recuperação de solos degradados, mediante a garantia de que não ocorram impactos ambientais negativos.

No Brasil, as culturas avaliadas com alto potencial para o uso do biossólido como fornecedor de nutrientes são: pupunha, milho, café, cana-de-açúcar pinus e eucalipto (CHIBA, 2005; SILVÉRIO, 2004; SOARES et al., 2002). Assim, a dispersão do biossólido em povoamentos florestais possui a conveniência de sua produção não voltar-se para alimentação humana ou animal, diminuindo os riscos de contaminação (BRASIL, 2006). As plantações florestais são áreas adequadas, tanto

para a produção de madeira, como também para a fixação de CO<sub>2</sub> e ciclagem de resíduos orgânicos, com reflexos positivos na produtividade florestal, contudo seu uso depende da espécie utilizada, das características do resíduo e das condições edafoclimática local (POGGIANI & BENEDETTI, 1999).

Como efeitos da aplicação do bio-sólido, são relatados: os aumentos significativos no diâmetro e na altura das árvores, disponibilização de nutrientes, incrementos na produtividade e na biomassa (McNAM & BARRY, PHILLIPS et al., McDONALD et al., DUTCH et al., HENRY et al., POLGLASE & MAYERS, e RIDDEL-BLACK et al.) citados por (VAZ & GONÇALVES, 2002).

Em 2005, o Brasil, ocupou o 7º lugar mundial em quantidade de florestas plantadas com 5,6 milhões de hectares, sendo que o eucalipto representou 3,4 milhões de hectares (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2006). A maioria dos solos utilizados para florestamentos apresenta avançado estágio de intemperização e de baixa fertilidade e nessas condições, as colheitas sucessivas de espécies com grande capacidade de extração de nutrientes têm grande impacto sobre a baixa disponibilidade e reserva de nutrientes no solo, expressando conseqüentemente a diminuição da produtividade (GONÇALVES et al., 2000).

O eucalipto, devido às características de rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e por ter aplicação para diferentes finalidades tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais (MORA & GARCIA, 2000).

As florestas plantadas de eucaliptos podem ser adubadas com bio-sólido devido ao seu ciclo curto e extensa área cultivada. A recomendação de doses depende da espécie e da demanda que estão ligados à aceitação dos produtores e prováveis problemas ambientais (IPEF, 2007b). O *Eucalyptus citriodora* Hook é uma das espécies mais utilizadas em escala produtiva destinada a produção de óleo vegetal essencial, mobiliário, estruturas, postes, dormentes entre outros produtos (IPEF, 2007a).

O objetivo deste estudo foi o de quantificar os efeitos da adição de bio-sólido no desenvolvimento inicial do *Eucalyptus citriodora* Hook.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO

A utilização de dejetos humanos na agricultura remonta a China antiga, quando os orientais utilizavam os dejetos “in natura” para este fim. No ocidente, a aplicação de efluentes sanitários em áreas agrícolas ocorreu no início do século XIX, quando na Inglaterra começou a trabalhar esta questão no combate à cólera. Na década de setenta, as pesquisas sobre o uso agrícola do lodo de esgoto e sobre o processo de tratamento, se intensificaram, adquirindo caráter científico (A LAVOURA, 2005). Nos primeiros anos da década de setenta alguns aspectos do uso de bio sólido em florestas foram investigados como: técnicas de aplicação, práticas de manejo e medições dos impactos ambientais (HENRY & COLE, 1997).

No Brasil, a experimentação sobre o uso de bio sólidos na agricultura surge na década de oitenta com Bettioli & Carvalho (1982), que foram os primeiros a publicarem resultados sobre a utilização de lodo de esgoto na agricultura, porém as pesquisas na área florestal ainda é fato recente. Nos Estados Unidos, os avanços nas pesquisas sobre utilização do bio sólido são consideráveis, pois em 1998, quase 50% do lodo produzido foram tratados e utilizados em sistemas agroflorestais (A LAVOURA, 2005).

Com a crescente expansão populacional e industrial, o aumento da produção de bio sólido tornou-se um problema, ocasionando o surgimento de diversas pesquisas que visam encontrar um destino final ambientalmente adequado e economicamente viável ao grande volume deste resíduo (IPEF, 2007a).

Segundo IPEF (2007b), dados da Secretaria de Planejamento do Governo Federal indicam que, em 1996, somente 30% do esgoto produzido pelas cidades brasileiras era coletado e, destes, apenas 8% recebiam algum tipo de tratamento.

De maneira geral, tanto na Europa como na América do Norte e na Austrália, existem registros de respostas favoráveis das espécies florestais de

interesse silvicultural à adição de biossólido. Na Inglaterra, por exemplo, Dutch et al. (1994), relataram que a aplicação de lodo urbano (entre 13 e 26 t ha<sup>-1</sup>, em peso seco), incrementou consideravelmente o crescimento de plantações florestais de *Picea sitchensis*, sem afetar o solo e a qualidade da água dos mananciais. Na Austrália, também o biossólido foi estudado como uma perspectiva de aumentar a produtividade de plantações florestais de eucaliptos (IPEF, 2007b).

No Brasil, pesquisas sobre o uso do biossólido para melhorar o desenvolvimento de florestas plantadas de eucalipto foi comprovado por Guedes (2006), num estudo que demonstrou maior desenvolvimento inicial das plantas de *Eucalyptus grandis* mantidas em vasos de PVC e em local protegido, a aplicação de doses de biossólido sem complementação (0, 10, 20, 40, 80 e 160 t ha<sup>-1</sup> biossólido em base seca) e com complementação de adubos minerais, (0 t ha<sup>-1</sup> biossólido + adubação mineral completa; 10 t ha<sup>-1</sup> biossólido + 70,4 Kg ha<sup>-1</sup> K; 20 t ha<sup>-1</sup> biossólido + 50,8 Kg ha<sup>-1</sup> K; 40 t ha<sup>-1</sup> biossólido + 11,6 Kg ha<sup>-1</sup> K; 40 t ha<sup>-1</sup> biossólido + 11,6 Kg ha<sup>-1</sup> K – sem plantas e 40 t ha<sup>-1</sup> biossólido + 11,6 Kg ha<sup>-1</sup> K – aplicação superficial) contribuiu para o aumento de nutrientes como o cálcio, fósforo e o zinco no solo, na forma disponível às plantas.

Entretanto as principais pesquisas nacionais são continuam atreladas às entidades responsáveis pelo saneamento ambiental devido a aumento de investimentos em saneamento. As instituições que mais se destacam são: a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), por terem alcançado índices de esgotamento sanitário superiores a 85% e de tratamento em 60% do esgoto coletado. (POGGIANI et al., 2000).

Em Curitiba – PR, por exemplo, onde a SANEPAR processa e distribui o lodo de esgoto tratado como fertilizante a 150 agricultores da Região Metropolitana de Curitiba, cadastrados pela EMATER (Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural). Esse lodo processado, o biossólido, é utilizado como fertilizante e condicionador de solos nas plantações de grãos, pomares e outras culturas pré-estabelecidas pelo IAP (Instituto Ambiental do Paraná). E constatou-se que a produtividade do feijão cultivado nessa área aumentou até 42% (REVISTA CREA-PR, 2006).

## 2.2 PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BIOSSÓLIDO

O termo biossólido é utilizado para designar o lodo de esgoto doméstico que tenha passado por decomposição microbiológica parcial e que seja passível de utilização, sem criar qualquer impacto negativo para o ambiente (VAZ & GONÇALVES, 2002). Da mesma forma, Faria (2000), denominou como biossólido o lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento de esgoto processado de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola. O biossólido é um resíduo orgânico que apresenta aproximadamente 30% de matéria orgânica em média, umidade em torno de 60% e pH próximo a 11 e elevados teores de N, P, Ca, Fe, Zn e S (TSUTIYA, 2000).

Vaz & Gonçalves (2002), demonstraram uma das metodologias utilizadas na produção de biossólido, trata-se do resíduo produzido por ingestão, aeróbica e anaeróbica, que antes de ser desidratado nas prensas hidráulicas ou não, passa por um processo de adensamento e higienização com cloreto férrico e cal extinta. Os mesmos autores relatam que, devido ao tratamento que recebe a concentração de coliformes fecais, o biossólido é classificado tipo B, pois apresenta densidade de coliformes fecais abaixo de  $2 \times 10^{-6}$  NMP g ST<sup>-1</sup> (número mais provável por grama de sólidos totais), classificação adotada pela agência estadunidense USEPA (US Environmental Protection Agency).

Assim, a adição de produtos químicos alcalinos, nos processos de tratamento e higienização do lodo de esgoto, têm efeito estabilizante no lodo de esgoto. A cal é um dos produtos alcalinos usados no saneamento para elevar o pH, complexar o fósforo nos tratamentos dos efluentes, condicionar o lodo para o desaguamento mecânico e estabilizar quimicamente o lodo.

Algumas características físicas e químicas do biossólido são alteradas pela adição da cal. Pois, fisicamente o biossólido pode formar uma capa mais dura e branca ao ser exposto ao ar livre e, quimicamente, além da fixação dos metais pesados, pode haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia. Este tipo de tratamento, pela sua simplicidade, baixo custo de instalação e eficiência na eliminação de patógenos, tem sido escolhido pelas primeiras estações de tratamento de esgotos brasileiras a tratarem seu lodo e reciclá-lo na agricultura Fernandes (2000), citado por Tsutiya (2000).

Contudo, os diversos processos de tratamento e higienização do lodo de esgoto influem em suas características físicas, químicas e biológicas e conseqüentemente, na qualidade do biossólido produzido, o que reflete na fertilidade e características físicas do solo, mesofauna e a produtividade do ecossistema onde for aplicado. Outros fatores também influenciam na qualidade do biossólido produzido como: pH, carga de matéria orgânica, teor de macro e micronutrientes, concentração de metais pesados e o nível de higienização (GUEDES & POGGIANI, 1999).

Quanto à qualidade dos biossólidos, além de sua composição química resultante da presença ou não de despejos industriais no esgoto tratado e da qualidade bacteriológica, deve-se ter o cuidado especial com o acondicionamento final do lodo de esgoto para a desidratação. Este acondicionamento pode ser feito por cloreto férrico mais cal, ou simplesmente com o uso de polímeros, resultando em lodos com características bastante distintas o que poderá influenciar no seu destino final, particularmente quando se pensa em uso do lodo na agricultura (SOBRINHO, 2000).

O biossólido estritamente urbano não leva ao acúmulo significativo de patógenos e metais pesados no solo ou na parte aérea das plantas. O problema sanitário da aplicação do biossólido no solo pode ser suprimido através do manejo adequado e processos de higienização e estabilização. Esses processos além de reduzirem a quantidade de água também alteram as concentrações de alguns componentes como matéria orgânica e nutrientes. Entretanto, existem poucos dados sobre os efeitos de diferentes tipos de estabilização empregados para o emprego do biossólido na produção vegetal. A higienização ocasiona a diluição da matéria orgânica no biossólido e provoca a volatilização do nitrogênio, carbono e enxofre (CÔRREA & CORRÊA 2001). Conforme os autores, a higienização reduz cerca de 35% do volume inicial do biossólido pela diminuição da umidade, o que é desejável pois reduz o custo do transporte. Quando a calagem é utilizada como processo de higienização do biossólido, o produto gerado pode elevar o pH do solo a níveis superiores a sete. Essa mudança pode ser prejudicial desequilibrando a dinâmica de nutrientes e causando danos ao desenvolvimento da cultura (ANDREOLI et al., 2001).

Segundo Tsutiya (2000), para a disposição final do biossólido, devem ser considerados alguns aspectos como quantidade, qualidade (presença de metais

pesados e organismos patogênicos) e grau de umidade. Os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micro nutrientes que exercem papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida no biossólido pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência, das plantas à seca dos agregados e reduzindo a erosão.

Os nutrientes contidos no biossólido possuem impactos diretos no desenvolvimento e rendimento das plantas, quando o esse é aplicado no solo. Provoca alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e conseqüentemente no funcionamento do agroecossistema, assim como estimular a atividade microbiana no solo devido o aumento de carbono e nutrientes disponíveis, ou inibir, devido à presença de metais pesados e outros poluentes. Dessa forma, o comportamento da população microbiana depende da qualidade e da quantidade de biossólido adicionados ao solo MELO & MARQUES (2000), BETTIOL (2000) TSUTIYA (2000). Os microorganismos responsáveis pela decomposição e mineralização da fração orgânica utilizam parte dos compostos contidos nos resíduos como fonte de nutrientes e energia para a constituição de sua biomassa, além de atuar como estoque lábil de nutrientes, a biomassa microbiana é sensível às alterações promovidas nos solos pelas práticas de manejo e pela aplicação de produtos poluentes (Brookes; Pontes; Grisi e Dar citados por BETTIOL 2006).

Segundo Bettiol & Camargo (2000), o nitrogênio que provém dos dejetos e da massa microbiana dos esgotos, geralmente é um dos constituintes de maior valor do biossólido. E pode ser utilizado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de biossólido a ser aplicado no solo, pois acima de certo nível que dependendo do solo experimentado, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitrato e contaminar o lençol freático.

Para teores de fósforo, os biossólidos, de um modo geral, contêm quantidades de fósforo um pouco menor do que o nitrogênio, entretanto, as plantas para o seu desenvolvimento necessitam de maiores quantidades de nitrogênio do que de fósforo. O fósforo contido nos biossólidos provém de dejetos dos corpos microbianos do esgoto e dos detergentes e sabões que utilizam fosfatos como aditivos. Andreoli et al. (1997), citado por Tsutiya (2000), comentou que a disponibilidade do fósforo para as plantas é de 50% no primeiro ano de aplicação do biossólido.

Nos biossólidos, a concentração de potássio é muito pequena, pois este elemento é bastante solúvel em água. Entretanto, mesmo apresentando baixos teores de potássio, 100% deste nutriente é considerado assimilável pelas plantas (TSUTIYA, 2000).

Podem ocorrer alguns desequilíbrios relacionados ao magnésio e aos micronutrientes, sugerindo o monitoramento das plantações para correção e adequação das doses de biossólido aplicadas (ZABOWSKI & HENRY, 1994).

Outros macronutrientes como cálcio, magnésio e enxofre, destes somente o cálcio apresentam maior concentração em biossólidos que utilizam a cal como condicionador. Esses macronutrientes estão presentes nos biossólidos essencialmente na forma mineral e mesmo em pequenas aplicações de biossólidos podem suprir as necessidades de magnésio e enxofre da maioria das culturas agrícolas (Andreoli et al., citado por Tsutiya 2000).

A presença de metais pesados em lodos de esgoto, especialmente aqueles provenientes de despejos industriais juntamente com o esgoto doméstico, é uma das principais preocupações quando se pretende utilizar o biossólido para fins agrícolas e florestais. Os metais pesados além de exercerem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados. Os metais pesados presentes no lodo de esgoto são: cádmio, mercúrio e chumbo pela toxicidade intrínseca, e também o cobre, ferro, níquel e zinco por serem metais pesados nutrientes de plantas (MATTIAZO & ANDRADE, 2000).

### 2.3 PRINCIPAIS USOS DO BIOSSÓLIDO

As alternativas mais comuns para a disposição final de biossólidos são: uso agrícola, disposição em aterros sanitários, incineração, disposição oceânica, recuperação de áreas degradadas e o uso agroflorestal. A disposição oceânica em cidades costeiras, onde o biossólido é normalmente o próprio esgoto coletado, é lançado no oceano como forma de destinação final, como justificativa a redução de custos. A incineração é caracterizada pelo processo de oxidação em alta temperatura que destrói ou reduz o volume podendo ainda recuperar materiais ou

substâncias. Esta alternativa é empregada quando a contaminação do bio-sólido é muito alta, ou quando há escassez de áreas adequadas à implementação de alternativas. Também a recuperação de áreas degradadas que visa melhorar as propriedades físicas do solo, através do método de landfarming que se resume a mistura de resíduo com a camada arável do solo. E a disposição em sistemas agroflorestais que visa o aproveitamento da carga de nutrientes do bio-sólidos através das plantas cultivadas (TSUTIYA, 2000).

Entretanto, para qualquer destino final do bio-sólido ao ambiente, é necessário cuidados quanto à disposição, considerando os lençóis freáticos como os mais passíveis à contaminação, pois a composição do lodo de esgoto varia do local de origem, ou seja, se é de uma área residencial ou industrial, da época do ano e do processo utilizado na estação de tratamento de esgotos (MELO & MARQUES, 2000).

O volume de bio-sólido produzido e as estimativas de produções futuras são aspectos que devem ser considerados no diagnóstico potencial de uso desse resíduo em povoamentos florestais. Diversas alternativas são estudadas de forma a apresentarem propostas de disposição final do bio-sólido, como por exemplo, o uso agrícola, destinado para aplicação direta no solo, composto, fertilizante e solo sintético. Outro meio de destinação é o reuso industrial que serve para o bio-sólido originado de regiões onde prevalecem efluentes industriais com teores de metais pesados que não permita seu uso agrícola (FARIA, 2000).

### 2.3.1 USO AGROFLORESTAL DO BIOSSÓLIDO

Segundo o IPEF (2007b), dentre as diversas alternativas para disposição final dos bio-sólidos a aplicação em áreas agrícolas ou florestais tem se destacado, mundialmente, sobretudo em países desenvolvidos, por reduzir a pressão de exploração de recursos naturais, viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas e químicas no solo, substituir parcialmente o uso de adubos minerais e por representar uma solução definitiva para a disposição do lodo de esgoto.

A utilização de resíduos, principalmente aqueles com elevados teores de matéria orgânica, tem se mostrado promissora, visto que possibilita um fornecimento

mais equilibrado dos nutrientes e pode reduzir significativamente as perdas por lixiviação. Outra vantagem da aplicação do biossólido nas plantações florestais deve-se que os principais produtos, não se destinam a alimentação humana ou animal, conferindo maior segurança quanto à possibilidade de dispersão de eventuais contaminantes, desde que os cuidados prévios sejam tomados em relação à localização dos talhões e a forma e dosagem de aplicação do lodo de esgoto (POGGIANI et al., 2000).

Silva et al. (2008), avaliou o efeito dos lodos de esgoto, úmido e seco, condicionados com polímeros e aplicados, na linha de plantio, ao solo (Latosolo Vermelho – Amarelo com textura médio arenosa e de baixa fertilidade), em doses (0, 5, 10, 20, e 30 t ha<sup>-1</sup>), com complementação de K e B, no crescimento de árvores de *Eucalyptus grandis* tendo como variável avaliada a altura média dominante dos eucaliptos nas idades de 4, 10, 15, 18, 25 e 36 meses. As conclusões obtidas foram que, tanto o lodo de esgoto úmido quanto o seco quando complementados com K e B, podem incrementar significativamente o volume de madeira produzida pelos eucaliptos em relação ao tratamento testemunha (0 t ha<sup>-1</sup>), assim quando aplicado, o lodo de esgoto, na linha de plantio, pode substituir as adubações nitrogenadas e fosfatadas, bem como o suprimento de micronutrientes. Os autores consideraram que as doses entre 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> foram as mais adequadas, pois além de estimular o crescimento dos eucaliptos, apresentaram menor custo de aplicação e conseqüentemente o menor risco de impacto ambiental. Em relação ao lodo seco, este apresentou o mesmo efeito positivo sobre o crescimento dos eucaliptos, quando comparado ao lodo úmido, todavia sobre o uso desse, os autores sugeriram a possibilidade de proporcionar redução de custos com transporte e aplicação.

IPEF (2007b), em estudo sobre ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto cultivado com *Eucalyptus grandis*, avaliando os efeitos da utilização desse resíduo tanto na ciclagem de nutrientes como na produção de biomassa. Concluíram que a produção de fitomassa arbórea pelos eucaliptos que receberam o lodo foi significativamente maior do que no tratamento testemunha e, em média, maior também do que na fertilização mineral. E, que a aplicação do lodo de esgoto propiciou maiores estoques de nutrientes em todos os compartimentos do ecossistema, obtendo maiores teores de P, Ca e Zn no solo onde o resíduo foi aplicado, o que evidenciou maior capacidade em manter a sustentabilidade produtiva do ecossistema quando se aplica o lodo de esgoto.

Em estudo comparativo entre doses de biossólido, (0, 3, 6, 12 e 24 t ha<sup>-1</sup>), aplicados de forma incorporada e superficial no solo, e analisando os efeitos no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook plantados em vasos de 5L com variáveis avaliadas aos 100 e 203 dias após o transplante, Freier et al. (2006), constatou que o modo de aplicação superficial afetou diretamente o crescimento das mudas e que as doses utilizadas alteraram a altura, diâmetro do coleto, área foliar, número de folhas e biomassa seca aérea.

Bremm (2005) avaliou o potencial agrícola do lodo de esgoto como fertilizante na cultura do milho em experimento realizado a campo, Latossolo Vermelho Distroférico, utilizando lodo de esgoto proveniente da SANEPAR (Cascavel – PR) em 6 doses (adubação convencional; testemunha; 2,5; 5; 10 e 15 Mg ha<sup>-1</sup> base seca do biossólido) com as amostras coletadas aos 20, 40, 60 e 80 dias após o plantio. As variáveis de desenvolvimento da cultura no campo avaliadas foram: estatura da planta, diâmetro do colmo e número de folhas. A partir dos resultados obtidos, a autora observou que, embora nem todas as médias fossem estatisticamente diferentes, as melhores respostas foram obtidas nos tratamentos que empregaram o biossólido nas diferentes dosagens, quando comparados com a testemunha e adubação convencional.

O efeito da aplicação de biossólido e da irrigação com água residuária, sobre o crescimento e o desenvolvimento da mamona, *Ricinus communis* L., em local coberto, foi estudado por Nascimento et al. (2004). Avaliando três níveis de biossólido, (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com dois tipos de água (água de abastecimento e água residuária tratada) e uma testemunha com adubação química, com três repetições cada e tendo como variáveis avaliadas para análise de crescimento não destrutiva a altura de planta e o diâmetro de caule. Observaram que o tipo da água usada na irrigação influenciou as variáveis mensuradas, com significativos incrementos nos valores das referidas variáveis.

Rocha et al (2004) estudaram os efeitos da aplicação (aos 13 e 32 meses de pós-plantio) de doses de biossólido na fertilidade de um Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico e também na nutrição e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*. As variáveis analisadas foram: análise química de solo (camadas de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm) e de folhas e produção de madeira (através da colheita e pesagem das árvores). Ao final de 36 meses pós-plantio, constataram aumentos no pH, dos teores de C orgânico, de P-resina e de Ca trocável nas três

camadas, diretamente associados às doses de biossólido aplicadas. O Al trocável diminuiu com o aumento das doses de biossólido nas três camadas amostradas. A aplicação de biossólido influenciou positivamente na nutrição das plantas, proporcionando uma produção de madeira igual à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral (1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e, em Kg ha<sup>-1</sup> 98 de N; 79,5 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 165 de K<sub>2</sub>O; 1,3 de B e 1,2 de Zn), quando a dose de biossólido foi equivalente a 12 t ha<sup>-1</sup>, porém a produção máxima estimada de madeira (45,5 t ha<sup>-1</sup>) seria conseguida com a aplicação de 37 t ha<sup>-1</sup> de biossólido.

Vega et al. (2004), com o objetivo de avaliar os efeitos de doses de biossólido fresco (0, 38, 76 e 152 t ha<sup>-1</sup> com 76,7% de umidade), aplicadas no sulco de plantio, sobre a produção de fitomassa aérea de pupunheiras, *Bractris gasipaes* Kunth, durante o primeiro ano de cultivo. Observou que na evolução do desenvolvimento da fitomassa aérea fresca o acúmulo inicial foi pequeno sem que houvesse diferenças entre as doses até o 5º mês de plantio, quando os resultados encontrados para a dose de 152 t ha<sup>-1</sup> foi significativamente maior. Concluíram que doses crescentes de biossólido aumentaram de forma representativa a fitomassa total da pupunheira ao longo do tempo, devido à liberação gradual dos nutrientes disponíveis para as plantas e que tampouco houve diminuição de fitomassa ou efeitos fitotóxicos mesmo na dosagem maior.

Guedes et al. (2003), avaliando a variação dos teores de nutrientes foliares em *Eucalyptus grandis* plantados em Latossolo Vermelho – Amarelo em função da aplicação de biossólido em cobertura após o plantio (testemunha absoluta, adubação mineral; 5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido com complementação de K; 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido com complementação de K; 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido sem adição de K; 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido com complementação de K e P; 15 t ha<sup>-1</sup> de biossólido complementado com K; 20 t ha<sup>-1</sup> de biossólido complementado com K e 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido com adição de K), aos dois, quatro, seis, oito, doze, dezesseis e vinte meses após a aplicação do biossólido coletaram as folhas maduras do terço superior das copas das árvores (das folhas com pecíolos estas foram secas a 65°C em estufas de ventilação forçada, e moída em moinho tipo Wiley) com análise da concentração de N, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn e B. Observaram que a aplicação do biossólido no solo, e cobertura após o plantio, alterou o estado nutricional dos eucaliptos, pois, as plantas que receberam biossólido apresentaram teores foliares mais elevados de N, P, Ca, S e teores mais baixos em Mg e Mn em relação aquelas

que receberam adubação química. Porém os teores de N, S, Cu e Zn foram alterados pelos tratamentos sem interação com as épocas de coleta, apresentando a mesma tendência de variação em função dos tratamentos em todas as coletas. Em relação ao Zn, apenas o tratamento de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido apresentou valores mais elevados desse nutriente em relação aos demais tratamentos. E sobre o B, as maiores variações ocorreram em função dos tratamentos observados aos doze meses, no entanto o efeito dos tratamentos sobre o teor de B nas folhas não foi significativo.

Silva et al. (2001), avaliaram o uso de lodo de esgoto, aplicado no sulco a 15 cm de profundidade, na adubação de soqueira (2<sup>o</sup> corte) de cana – de – açúcar, *Saccharum spp.*, em função das doses: lodo de esgoto (0, 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, peso úmido), sem ou com complementação de NP, NK, PK e NPK, nas doses de 80 – 60 - 120 Kg.ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Amostras compostas de solo e folhas foram retiradas para avaliação das variáveis (fertilidade do solo, teor de nutrientes foliar e produtividade) aos 114 e 400 dias após a aplicação de lodo de esgoto. Dessa forma, os autores concluíram que o lodo de esgoto teve ação corretiva da acidez do solo, houve fornecimento de P, S, Ca, Cu e Zn para as plantas o que gerou aumentos de produtividade agrícola e de açúcar. Além de indicarem a dose de 30 t ha<sup>-1</sup> viável de uso, pois esta não apresentou problemas de contaminação do solo.

#### 2.3.1.1 Aspectos econômicos referentes ao uso agroflorestal

O uso agroflorestal do biossólido pode viabilizar uma alteração de processo, pois a dispersão do biossólido em áreas florestais ocasiona a redução dos custos para disposição deste resíduo em aterros sanitários, bem como redução nos custos com adubação. A diferença entre o custo da dispersão em áreas florestais e da disposição em aterros sanitários proporciona uma economia considerável que poderia ser revertida, em parte para a melhoria da qualidade do biossólido produzido. (POGGIANI et al., 2000).

Pois, apesar do valor fertilizante do biossólido, este é oriundo do processo de tratamento dos esgotos, cuja disposição final é responsabilidade da unidade

geradora. E não deve ter esse valor convertido em valor monetário, uma vez que o resíduo não deve ter preço e ser comercializado. Entretanto, para deixar o status de resíduo e passar a ser considerado subproduto ou matéria-prima é necessário mais resultados de pesquisas que confirmem que os bio sólidos não causam danos ao meio ambiente e à saúde humana. No Brasil, as pesquisas vêm aumentando mesmo que atreladas ao fato de ainda serem incipientes e da elevada variabilidade entre lodos gerados em diferentes estações (GUEDES, 2006).

Segundo IPEF (2007b), a gestão de bio sólido é assunto regional, dessa forma os projetos das novas ETEs deverão procurar dispor, sempre que possível, o bio sólido em um raio máximo de 200 Km do local de geração

## 2.4 BENEFÍCIOS DO USO DO BIOSSÓLIDO

O IPEF (2007b) aponta como efeitos benéficos da adição de bio sólidos nas propriedades físicas e químicas do solo os seguintes fatores: aumento da estabilidade de agregados, aumento da infiltração e retenção da água, melhoria da densidade do solo e da temperatura de superfície de áreas degradadas, aumento da evapotranspiração, atribuída a acréscimos na biomassa vegetal produzida, diminuição do escoamento superficial e desaceleração do processo erosivo, elevação da fertilidade, devido ao alto teor de matéria orgânica e nutrientes, possuem poder tamponante de pH, potencialmente benéfico, principalmente para recuperação de áreas degradadas e redução da fixação de fósforo de 5 a 18 vezes, devido a elevação dos teores de matéria orgânica.

Além dos potenciais benéficos do bio sólido sobre a fertilidade e melhoria das condições físicas e biológicas do solo, Gonçalves *et al.* (2000), ressalta as seguintes vantagens:

- a) Os nutrientes contidos no bio sólido são liberados lentamente tendo seu efeito prolongado, bastante desejável para culturas perenes;
- b) A liberação de N amoniacal não aumenta a acidez do solo devido ao seu teor de carbonato de cálcio;
- c) Em função da alta capacidade de produção de biomassa, sistema radicular profundo e bem distribuído no solo, a

eficiência de aproveitamento dos nutrientes contidos no biossólido pelas culturas florestais é muito elevada, superior a obtida por culturas de ciclo curto.

Tsutiya (2000), Carvalho e Barral (1981) e Melo et al. (2001), citados por Tamanini (2005), concordam que a aplicação superficial de matéria orgânica através de resíduos promove a ciclagem de nutrientes, o controle da erosão e a atividade biológica no solo. Portanto, a aplicação de biossólido no solo, causa aumento no teor de matéria orgânica, melhora o nível de fertilidade, promove o aumento de pH, diminuição da acidez potencial, aumenta a disponibilidade e reservatório de nutrientes como Ca, Mg, S e outros em decorrência da lenta liberação dos mesmos através do processo de mineralização. Com efeito, sobre a capacidade de troca catiônica e na melhoria do poder tampão, a disposição do biossólido também interfere na dinâmica do carbono.

Segundo o IPEF (2007b), o uso do biossólido em plantações florestais pode ser mais atrativo considerando que:

- a) Os produtos dessas culturas não se destinam a alimentação humana;
- b) As aplicações são realizadas com grandes intervalos de tempo (5 – 7 anos) o que gera baixo impacto sobre o ecossistema;
- c) Existem extensas áreas de florestas plantadas disponíveis;
- d) As plantações florestais ocupam geralmente solos de baixa fertilidade;
- e) A malha de raízes finas absorve de imediato os nutrientes liberados pelo biossólido;
- f) Facilidade de aplicação nos talhões em qualquer época de desenvolvimento do plantio;
- g) Imobilização dos nutrientes na biomassa lenhosa (fitorremediação) e seqüestro de CO<sub>2</sub>.

Bettiol & Camargo (2000), acrescentam que com a necessidade de tratamento do lodo de esgoto, que são os maiores poluidores dos rios, a despoluição estaria garantida. Sugerindo a diminuição dos custos nos tratamentos, recuperação dos rios e desse modo permitindo a sua utilização em para fins pesqueiros, recreativos e outras vantagens sociais.

As comparações entre o uso do biofósforo e os fertilizantes minerais conforme Zabowski & Henry citados por POGGIANI et al. (2000), conferiram a vantagem ao biofósforo por proporcionar de forma contínua a liberação dos nutrientes para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos, garantindo dessa forma a manutenção do teor deste elemento nas folhas com reflexo positivo na produtividade.

A dispersão do biofósforo em áreas florestais, agrega valores nutricionais ao solo, fornecendo se não o total, mas uma parcela da demanda nutricional da planta. Auxiliando, portanto no desenvolvimento e produtividade da cultura (VAZ & GONÇALVES, 2002). Tendo em vista que a maioria dos solos utilizados para este fim apresenta avançado estágio de intemperização, sendo de baixa fertilidade (POGGIANI et al., 2000).

Considerando que, as colheitas sucessivas de madeira de espécies com grande capacidade de extração de nutrientes têm grande impacto sobre as pequenas disponibilidades e reservas minerais dos solos, esta utilização freqüente resulta em queda de produtividade com o passar do tempo, pois a reposição de nutrientes via fertilização mineral é menor do que a exportação de nutrientes via madeira. Em comparação ao uso de fertilizantes minerais, outros benefícios da adubação de eucaliptos com biofósforos são apontados por Gonçalves et al. (2000):

1) as florestas ocupam extensas áreas e a diminuição no uso de fertilizantes minerais pode representar redução nos custos de produção;

2) extensas áreas ocupadas por florestamentos apresentam deficiências e/ou desbalanços nutricionais, principalmente em nitrogênio e fósforo, a nutrição inadequada é o fator mais limitante da produtividade florestal;

3) as áreas ocupadas por plantações florestais são localizadas em sítios bem drenados e não estão sujeitos a enchentes periódicas;

4) florestas plantadas não estão associadas à produção de alimentos, permitindo a aplicação regular de biofósforo com baixos riscos a saúde pública;

5) ecossistemas florestais têm algumas características desejáveis para a disposição de biofósforo como: grande produção e distribuição de carbono orgânico em seus componentes capazes de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e metais pesados; altas taxas de infiltração do solo minimizando o arrastamento de constituintes indesejáveis do biofósforo; grande quantidade de raízes perenes, amplo volume de solo explorado que permite a absorção de nutrientes e metais

pesados durante o ano todo (regiões tropicais) ou parte do ano (regiões temperadas).

Já existem registros sobre o crescimento favorável de plantações florestais submetidos à aplicação de biossólido, ganhos na produção de madeira e benefícios como a disposição final adequada para esse resíduo sem causar danos ou desequilíbrios ecológicos são as principais características estudadas por Poggiani & Benedetti (2001).

A aplicação de biossólido, principalmente em plantações florestais de pinus e eucaliptos também é pesquisada na Austrália, com o objetivo de aumentar a produtividade. E onde as normas de utilização do biossólido em florestas plantadas não são tão rigorosas como para a destinação em áreas de plantações agrícolas considerando que a presença de contaminantes ou de metais pesados em florestas plantadas não representa risco direto na cadeia alimentar (POGGIANI et al., 2000).

No Brasil, em áreas de cerrado, onde há plantios de espécies de rápido crescimento (pinus e eucaliptos) em solos intemperizados e com baixa disponibilidade de macro e micronutrientes, tem se mostrado promissora a utilização de resíduos ricos em matéria orgânica, pois possibilita o fornecimento completo e mais equilibrado dos nutrientes reduzindo perdas por lixiviação (POGGIANI & BENEDETTI, 2001).

Nascimento et al. (2004), com o objetivo de viabilizar o uso de lodo de esgoto em ensaios de campo, estudaram o efeito da aplicação de doses de lodo (equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>) sobre as características químicas de dois solos, quantidades de metais pesados absorvidos e crescimento de plantas de milho e feijão cultivadas em casa de vegetação. As aplicações promoveram a diminuição do pH e aumento de teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio em ambos os solos. Houve aumento na produção de matéria seca em ambas as espécies. Também constataram que devido aos baixos teores dos metais Zn, Cu, Mn, Fe e Pb presentes no lodo, no solo e nas plantas, estarem abaixo dos teores estabelecidos para a utilização agrícola, é permitido seu uso sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

#### 2.4.1 RESTRIÇÕES E LEGISLAÇÃO VIGENTE

Como restrições, Guedes (2005) apontou as seguintes desvantagens que podem restringir o uso agroflorestal do bioossólido:

- 1 - a variação existente na composição do bioossólido devido aos diferentes processos e graus de tratamento;
- 2 - o bioossólido pode não ser um material balanceado;
- 3 - a lenta mineralização do bioossólido também é prejudicial, no aspecto nutricional e produtivo, pois a conseqüente liberação dos nutrientes pode não ocorrer no momento em que a cultura mais necessita, tornando-se necessário uma complementação com fertilizantes minerais;
- 4 - a presença de poluentes como metais pesados, está em geral, associada à ocorrência de despejos industriais no esgoto;
- 5 - pode haver movimentação de nitrato no perfil do solo e conseqüente contaminação de águas subterrâneas;
- 6 - a presença de organismos e contaminantes orgânicos;
- 8 - a falta de aceitação pública.

Considerando que a produção de lodo de esgoto é uma característica intrínseca dos processos de tratamento de esgoto e tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana, correspondendo uma fonte potencial de riscos a saúde pública e ao ambiente, pois potencializam a proliferação de vetores e organismos nocivos. A presença metais pesados, compostos orgânicos, que necessitam de disposição adequada à proteção do meio ambiente constituindo fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura<sup>1</sup> e se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada, o Conselho Nacional do Meio Ambiente<sup>2</sup> elaborou a resolução 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006).

Há ainda outras leis federais preponderantes a esse tema, a lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente que deve ser

---

<sup>1</sup> O uso em áreas destinadas à produção agrícola e silvícola (BRASIL, 2006).

<sup>2</sup> Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

observada para evitar que a atividade de utilização do bio-sólido cause danos ambientais. Na seção “Poluição e outros Crimes ambientais”, o artigo 54 afirma que não é permitido causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

CETESB (1999) lembrado por Tsutiya (2000), também estabelece exigências que devem ser respeitadas quando do uso de bio-sólidos Classe B:

1 – Evitar a aplicação manual e a realização de cultivo ou outro trabalho manual na área que recebeu o bio-sólido, por um período de 30 dias após a aplicação. Todos os trabalhadores deverão usar equipamentos de proteção adequados e serem devidamente orientados quanto aos procedimentos de higiene e segurança;

2 – não cultivar por um período de 14 meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida toque o bio-sólido;

3 – a declividade da área destinada à aplicação do bio-sólido não deve ultrapassar 10% para aplicação superficial sem incorporação, 15% para aplicação superficial com incorporação e 18% para aplicação subsuperficial;

4 – devem ser mantidas zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores;

5 – devem ser mantidas distâncias de 15 metros de vias de domínio público e 10 metros de drenos interceptores e diversores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais;

6 – a profundidade entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático deverá ser superior a 1,2 m na época da aplicação.

As propriedades do bio-sólido são semelhantes a outros produtos orgânicos usados normalmente na agricultura (esterco suíno, bovino, avícola, etc), portanto em termos de resultados agrônômicos, o bio-sólido poderia ser aplicado à maioria das culturas. Porém, algumas culturas se adaptam mais que outras para seu uso por aproveitarem melhor sua composição química e liberação lenta do nitrogênio, eliminarem os riscos associados à reciclagem de resíduos animais e principalmente com relação aos patógenos. Desta forma, por precaução, é vetado o uso do bio-sólido (mesmo higienizado) para horticultura e demais produtos consumidos crus que tenham contato direto com o bio-sólido. Milho, trigo, cana e sorgo, pelas suas características, são as culturas mais recomendadas e as que dão melhores

respostas ao uso do biossólido. Outras aplicações como a fruticultura, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas também são alternativas interessantes, dentro de critérios específicos de utilização (SANEPAR, 1997).

## MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no complexo Biológico de Cultivo Protegido Prof. Dr. Mário César Lopes, situado no *Campus* da UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, com altitude de 420 m, e coordenadas geográficas de 54° 04' 12" W e 24° 33' 40" S.

O clima local segundo a classificação de KOPPEN, é do tipo Cfa, subtropical, com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes. As temperaturas médias do trimestre mais frio variam entre 17 e 18°C e do trimestre mais quente entre 28 e 29°C. Os totais anuais médios normais de precipitação pluvial variam entre 1.600 e 1.800 mm, com o período mais úmido apresentando totais variando entre 400 e 500 mm (IAPAR, 2006).

### 3.2 ESPÉCIE UTILIZADA

O *Eucalyptus citriodora* Hook origina-se da Austrália, onde as duas principais áreas de ocorrência localizam-se em Queensland, em grande extensão de Maryborough até Mackay, aparecendo de maneira dispersa. As áreas de maior concentração encontram-se entre as latitudes de 15,5 e 25°S e em altitudes entre 70 e 400m. A média de temperatura no mês mais quente está entre 30 e 32°C, e a média da temperatura mínima nos meses mais frio está entre 9 e 12°C. Bastante sensível a geadas ocasionais nas áreas de maiores altitudes. A precipitação pluviométrica média anual varia de 650 a 1600 mm com predomínio no verão. Tolerância ampla variação de solos que vão dos podzólicos a areia quartzosa nos vales (IPEF, 2007a).

O *Eucalyptus citriodora* constitui numa espécie arbórea, perene, pertencente à família das Mirtáceas e que além da produção de madeira, possui em suas folhas 1 a 2% de óleo vegetal essencial de odor agradável, o qual pode ser extraído por destilação em correntes de vapor. Esse óleo, do qual o Brasil constitui um dos maiores produtores mundiais possui o citronelal como principal constituinte e matéria-prima para a composição e síntese de outros produtos aromáticos (perfumaria, cosméticos, desinfetantes sanitários e repelentes de insetos) (BOLETIM 200 do IAC – SP).

Apresenta madeira densa e pesada, muito apreciada para fabricação de mobiliário, cabos de ferramentas e utensílios, assoalhos, na construção civil pesada e marítima, pesada externa e leve interna estrutural, e também em embarcações. A madeira de florestas plantadas de eucalipto substitui o consumo das florestas nativas, com menor custo e auxiliando na sua preservação. No Brasil, seu cultivo se deu a partir de 1904, para atender a Companhia Paulista de Estradas de Ferro. A partir de 1965, a área de plantio aumentou de 500 mil para três milhões de hectares devido à lei dos incentivos fiscais para o reflorestamento (SBRT, 2007).

Segundo Mora (2000), o plantio de eucalipto no Brasil iniciou em 1904, e foi destinado inicialmente para a produção de lenha e dormentes, principalmente no estado de São Paulo, logo se estendendo para todo o Centro e Sul do país. O aumento do plantio foi intensificado por diversos motivos: espécie de rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e principalmente por ter aplicação para diferentes finalidades.

Dados do IBGE (2006), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, mostram que as regiões Sul, Sudeste e Nordeste se destacam na produção de eucaliptos com uma produção anual, em toneladas, de 69.518.616, 52.362.833 e 9.198.732 respectivamente. Os principais usos da madeira de eucaliptos são: madeira em tora, papel e celulose, lenha, carvão vegetal e folhas para extração de óleo essencial. As regiões produtoras em quantidade eucalipto.

### 3.3 PRODUÇÃO DAS MUDAS DE *Eucalyptus citriodora* Hook

As sementes de *Eucalyptus citriodora* Hook foram obtidas comercialmente através do IPEF - Instituto de Pesquisas Florestais – procedentes do município de Restinga - SP, do talhão T<sub>36</sub> e do lote RE<sub>16</sub>, da área de produção de sementes AP<sub>5</sub>F<sub>1</sub> e com germinação de 90,99%.

As sementes foram semeadas, no dia 15 de dezembro de 2006, individualmente em tubetes, de 50 cm<sup>3</sup>, preenchidos com substrato comercial MULTIPLANT<sup>®</sup> Florestal e dispostos em bandejas de 176 perfurações. As mudas foram produzidas em ambiente aberto, sem utilização de sombreamento.

Durante o período de permanência das mudas nos tubetes, estas receberam água suficiente para manter o substrato sempre úmido e nitrogênio via irrigação semanalmente desde a segunda semana após a semeadura até o transplante em recipientes definitivos (dose: 25 mg dm<sup>-3</sup> N dissolvido em 1,4 L).

Para o combate da mosca-branca foram realizadas três pulverizações com Thiodan<sup>®</sup> (Endosulfan) e duas pulverizações com Confidor<sup>®</sup> (Imidacloprido). As dosagens foram de 1,5 L ha<sup>-1</sup> em 200 L H<sub>2</sub>O para cada produto respectivamente, num intervalo de 10 dias entre uma e outra aplicação conforme o surgimento das moscas.

O tempo de permanência das mudas nos tubetes foi de 97 dias, tempo suficiente para que as mudas atingissem 15 cm de altura. Após esse período, foram transplantadas para os recipientes definitivos do experimento.

### 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi implantado num delineamento em blocos ao acaso, num esquema fatorial com cinco doses de biossólido em cinco épocas de avaliação, com três repetições.

Para escolha das doses utilizadas no experimento baseou-se nos trabalhos de Freier et al. (2006), Vega et al (2004), Guedes et al. (2003), Vaz et al (2002) e Silva et al. (2001).

As concentrações utilizadas foram de:

- Tratamento 1: testemunha absoluta (somente solo);

- Tratamento 2: solo + 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca);
- Tratamento 3: solo + 20 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca);
- Tratamento 4: solo + 30 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca);
- Tratamento 5: solo + 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca).

As avaliações ocorreram em cinco épocas:

- 1º Avaliação: 60 dias após o transplante;
- 2º Avaliação: 120 dias após o transplante;
- 3º Avaliação: 180 dias após o transplante;
- 4º Avaliação: 240 dias após o transplante;
- 5º Avaliação: 300 dias após o transplante.

A seleção das plantas para a mensuração das variáveis destrutivas foi de forma aleatória.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO

O biossólido utilizado adveio da Estação de Tratamento de Esgoto da Vila Shalon (ETE Vila Shalon), no município de Foz do Iguaçu – PR. O biossólido possuía aproximadamente quatro meses de idade a partir da finalização do processo de cura (higienização e estabilização). A caracterização química do biossólido pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do biossólido aplicado no experimento.

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>			
----- (g Kg <sup>-1</sup> ) -----					<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>		
15,75	2,73	0,15	53,75	1,65	9,95		
<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
----- (mg Kg <sup>-1</sup> ) -----							
1.563,0	161,0	73,0	130,0	ND	ND	206	ND

ND= abaixo do limite de detecção do método utilizado.

\* Valores totais expressos em base seca.

Segundo a análise ambiental – ensaio microbiológico – do biossólido expedido pela SANEPAR não apresenta resquícios de *Salmonella sp.* O conteúdo de coliformes fecais é menor que 3,00 NMP/g ST, e número total de helmintos

equivalem a 0,01 ovos de helmintos por grama de matéria seca, ou seja, valores encontrados são menores que os valores mínimos estabelecidos pelo IAP (Instituto Agrônômico do Paraná) para liberação do uso agrícola do bio sólido.

### 3.6 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distroférico proveniente de diversas camadas da Estação Experimental Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos Pessoa, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE em Marechal Cândido Rondon – PR (Tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas do solo do experimento.

<b>P</b>	<b>MO</b>		<b>pH CaCl<sub>2</sub></b>	<b>V</b>		<b>AI</b>
mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		0,01 mol L <sup>-1</sup>	-----%-----		
<b>58,58</b>	<b>25,97</b>		<b>4,75</b>	<b>37,75</b>		<b>5,20</b>
<b>H + Al</b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>
-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
<b>7,52</b>	<b>0,25</b>	<b>0,45</b>	<b>3,20</b>	<b>0,91</b>	<b>4,56</b>	<b>12,08</b>

\* P, K e Micronutrientes – Extrator Mehlich; \*\* Al, Ca e Mg – KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; \*\*\* H + Al – pH SMP (7,5).

### 3.7 HOMOGENEIZAÇÃO DAS ESCOLHAS DAS MUDAS

Para a escolha das mudas transplantadas, nos vasos definitivos, houve a homogeneização considerando parâmetros que determinassem a qualidade daquelas (CARNEIRO, 1995).

As mudas utilizadas sofreram homogeneização quanto ao tamanho: 15 cm de comprimento e 2 mm de diâmetro do coleto aos 97 dias após a semeadura, com a finalidade de reduzir os efeitos de variáveis não controladas pelo ensaio.

### 3.8 IMPLANTAÇÃO, CONDUÇÃO E TRATOS CULTURAIS

O experimento utilizou 75 tubos de polivinil-carbonato (PVC) de 65 cm de altura e 15 cm de diâmetro, perfazendo um total de 10.602,9 cm<sup>3</sup> de volume individual. Cada tubo de PVC foi fechado numa das extremidades com tampa própria do mesmo material e perfurada com 5 orifícios para facilitar o escoamento do excesso de água caso houvesse necessidade.

Nas laterais havia seis perfurações circulares com diâmetro de 5 cm (dispostas em lados opostos), visto que esses mesmos tubos foram utilizados anteriormente com outro experimento. Visando customizar esse material, as perfurações laterais foram vedadas com pedaços de flutuadores de piscina. Na extremidade inferior de cada tubo de PVC, foram adicionados 2 cm de pedrisco, para facilitar a drenagem da água de irrigação e dificultar a percolação do solo. Em seguida preenchidos com solo de várias camadas, peneirado em malha de 5 mm, ocupando aproximadamente 40 cm de altura do recipiente. Os 20 cm restantes, que formaram a camada de solo agricultável foram preenchidos com solo incorporado com biossólido (não houve necessidade de peneirar este). A mistura do biossólido com o solo foi realizada com o uso de uma betoneira que permaneceu em funcionamento por 2 minutos para cada tratamento.



Figura 1 – Vaso em PVC utilizado no experimento.

Os tubos foram dispostos sobre um estrado de madeira, lado a lado, com distância inicial de 15 cm entre os tubos, distância que aumentou progressivamente conforme a retirada das amostras. O transplante das mudas para os tubos ocorreu 30 dias após a preparação e preenchimento dos tubos com os tratamentos o que se deu em 23 de março de 2007, cada tubo recebendo duas mudas, e a posterior retirada da muda menos vigorosa de cada tubo realizada no dia 07 de abril de 2007.

Durante o experimento houve mais uma aplicação de Confidor® (Imidacloprido) para combater o surgimento da mosca – branca, a dosagem utilizada foi de 1,5 L ha<sup>-1</sup> em 200 L de H<sub>2</sub>O.

### 3.9 VARIÁVEIS ANALISADAS

Para cada época avaliada foram tomados 15 vasos aleatoriamente e obtidos as seguintes variáveis por destruição das amostras:

**Comprimento da planta** – medido a partir da base do solo até a extremidade do ápice da planta com auxílio de uma trena, em centímetros.

**Número de folhas** – constitui o número total de folhas por planta.

**Área foliar** - apenas uma das faces das folhas foi mensurada através de um integralizador Área Meter modelo AM 100 (ANALYTICAL DEVELOPMENT COMPANY LIMITED), em milímetros quadrados.

**Diâmetro do coleto** - mensurado a 2 cm da base, em cultivo protegido, com auxílio de um paquímetro digital, em milímetros.

**Biomassa seca aérea e radicular** – as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até peso constante e pesadas em balança de precisão ( $\pm 0,02$ g).

**Eficiência nutricional** – obtida a partir do coeficiente de utilização biológica que relaciona peso de biomassa seca foliar com peso de nutriente absorvido (N, P, K, Ca e Mg), este obtido através de análise foliar das amostras da última época de avaliação (300 dias após o transplante). Calculado da seguinte forma:

$$\text{Coeficiente de utilização biológica} = \frac{\text{Biomassa seca foliar (g)}}{\text{Massa de nutriente absorvido (g/Kg}^{-1}\text{)}}$$

A análise foliar foi realizada para a obtenção das concentrações de nutrientes para cálculo do coeficiente de utilização biológica. Para a amostragem da análise foliar coletaram-se folhas maduras do terço superior das copas das plantas (das folhas com pecíolos estas foram secas a 65°C em estufa de circulação forçada de ar até peso constante, e moídas em moinho tipo Wiley) com análise da concentração de N, P, K, Ca e Mg.

**Índice de DICKSON** – calculado com os componentes: matéria seca da parte aérea, das raízes e total, bem como a altura e o diâmetro do coleto das mudas (DICKSON et al., 1960) o qual traduz a estratégia organística de alocação de carbono estrutural. Calculado da seguinte forma:

$$IQD = \frac{PMST(g)}{\frac{H(cm)}{DC(mm)} + \frac{PMSPA(g)}{PMSR(g)}}$$

Onde: PMST = biomassa seca total;

PMSPA = biomassa seca da parte aérea;

PMSR = biomassa seca da raiz;

H = comprimento;

DC = diâmetro do coleto.

O índice de Dickson foi aplicado neste trabalho como integralizador de variáveis do desenvolvimento vegetal, pois as variáveis obtidas foram de plantas que não poderiam ser consideradas mudas devido à idade que possuíam.

### 3.10 ANÁLISE DE DADOS

Para análise de variância foram utilizados os incrementos das variáveis entre as mensurações e o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000). O Índice de Dickson foi calculado a partir dos valores absolutos de cada época de avaliação. Para fonte de variação com diferença estatística significativa realizou-se o teste de Scott-Knott para as médias a 5% de probabilidade.

Para análise da eficiência nutricional os coeficientes de utilização biológica obtidos, para nutriente (N, P, K, Ca e Mg) da última época de avaliação (300 dias após o transplante), foram submetidos ao teste de Tukey para as médias a 5% de probabilidade.

Os incrementos foram obtidos a partir da diferença entre os valores absolutos mensurados de cada variável analisada entre as épocas de avaliação, seu uso é justificado quando se tem em vista o crescimento inicial durante as diferentes épocas de avaliação e não o crescimento total da planta durante determinada época.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COMPRIMENTO DA PLANTA

A análise de variância com os incrementos em comprimento de *E. citriodora* resultou em interação significativa ( $F=2,169$ ;  $P= 0,0191$ ) entre as fontes de variação doses e épocas de avaliação. O desdobramento da interação está descrito na tabela 3.

Tabela 3. Médias dos incrementos em comprimento de *E.citriodora* sob diferentes doses de bio sólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.

Épocas de avaliação (Dias após o transplante)	Incremento no comprimento da planta (cm)				
	Doses				
	0 t ha <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	20 t ha <sup>-1</sup>	30 t ha <sup>-1</sup>	40 t ha <sup>-1</sup>
60	47,23a	51,00a	53,00a	53,00a	47,33a
120	36,40a	39,53 a	41,00a	41,00a	43,00a
180	45,33a	51,00a	23,00b	23,00b	48,00a
240	22,36b	26,66b	48,00a	48,00a	28,26b
300	40,66a	17,26b	38,90a	38,90a	17,80b

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores dos incrementos em comprimento, nas épocas de avaliação 60 e 120 dias após o transplante, não apresentaram efeitos das doses. Nas demais épocas de avaliação não foram detectados efeitos proporcionais com o aumento da dosagem de bio sólido. Entretanto os dados observados na Tabela 3 revelam que o efeito da adição somente iniciou na mensuração aos 180 dias após o transplante, a

posteriori os efeitos não possuem padrão definido, pois ora uma dosagem ora outra reduz o incremento em comprimento.

Todavia, as doses de 20 e 30 t ha<sup>-1</sup> apresentaram médias semelhantes para todas as épocas de avaliação, sendo que para 300 dias após o transplante estas doses permaneceram entre as maiores médias. Essas observações colaboram com Tsutiya (2002), em experimento realizado com *E. grandis* que também obteve nas mesmas doses de bio sólido, aplicadas nas entrelinhas do plantio, resultados semelhantes.

Da mesma forma, Freier (2002), estudando o desenvolvimento inicial de *E.citriodora* com utilização de doses de "lodo de esgoto" e modos de aplicação (superficial e incorporado), observou que a aplicação superficial e as doses de 12 e 24 t ha<sup>-1</sup> foram superiores às doses de 0 e 3 t ha<sup>-1</sup> para a variável "altura das plantas".

Entretanto, Guedes (2006), em experimento realizado com *E. grandis* submetido a doses crescentes de bio sólido variando de 10 a 160 t ha<sup>-1</sup>, durante 12 meses, não detectou diferenças estatisticamente significativas durante análise das variâncias das "alturas" das plantas cultivadas em cada tratamento.

## 4.2 NÚMERO DE FOLHAS

Na Tabela 4 explicita-se o desdobramento da interação significativa (F=2,752; P= 0,0032) entre as fontes de variação doses e épocas de avaliação utilizando os incrementos do número de folhas por planta de *E. citriodora*.

Tabela 4. Médias dos incrementos do número de folhas por planta de *E.citriodora* sob diferentes doses de biossólido incorporado a de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.

Épocas de avaliação (Dias após o transplante)	Incremento no número de folhas				
	Doses				
	0 t ha <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	20 t ha <sup>-1</sup>	30 t ha <sup>-1</sup>	40 t ha <sup>-1</sup>
60	51,66a	64,00a	53,33a	80,00a	46,00a
120	54,63a	24,00a	81,03a	31,66a	58,63a
180	110,03a	59,66a	126,36a	46,30a	140,30a
240	-5,30a	60,63a	-58,03b	25,00a	-95,66b
300	-20,33b	-45,66b	-21,66b	-19,66b	126,33a

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores do incremento em número de folhas das plantas nas épocas 60, 120 e 180 dias após o transplante não apresentaram diferenças significativas entre as médias das doses.

A partir dos 240 dias após o transplante, as doses 20 e 40 t ha<sup>-1</sup> apresentaram as menores médias. Porém nos 300 dias após o transplante, com exceção da dose 40 t ha<sup>-1</sup> com a maior média, as demais doses não apresentaram diferenças significativas. O maior aporte de Nitrogênio na maior dose de biossólido expressa a aceleração do crescimento vegetativo (TAIZ et al., 2004).

Freier (2002), não encontrou diferença significativa desta variável dentro do modo de aplicação (incorporado ou superficial), porém a dose de 3 t ha<sup>-1</sup> aplicada de modo superficial apresentou os menores valores.

Entretanto, Nascimento et al (2006), estudaram o efeito da adubação com biossólido (0, 75 e 150 Kg ha<sup>-1</sup> de N) e da irrigação com água residuária sobre o crescimento e desenvolvimento da mamona em área coberta, e constataram que o tipo de água apresentou efeito significativo sobre o número total de folhas por planta, a partir dos 25 dias após o plantio. Já as doses de biossólidos só foram significativas aos 150 dias após a emergência.

### 4.3 ÁREA FOLIAR

A avaliação da área foliar do *E. citriodora* em função de doses e épocas analisadas resultou em efeitos significativos para as fontes de variação doses ( $F = 4,51$ ;  $P = 0,003$ ) e épocas de avaliação ( $F = 6,66$ ;  $P = 0,0001$ ). Em relação às doses, a média dos incrementos em área foliar das plantas que receberam  $40 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido ( $15.674,18 \text{ mm}^2$ ) foi estatisticamente menor que a média de todas as outras doses (média =  $63.584,89 \text{ mm}^2$ ). Esses resultados ficam evidentes quando relacionados com o aumento do número de folhas conforme item anterior.

O efeito do fator épocas de avaliação indicou que a média dos incrementos em área foliar das plantas avaliadas aos 60 dias após o transplante ( $94.430,20 \text{ mm}^2$ ) foi estatisticamente maior que a média de todas as outras épocas de avaliação (média =  $43.895,89 \text{ mm}^2$ ). Entretanto, um aumento da área foliar implica no aumento da superfície sintetizadora, na elevação na superfície assimiladora e no rendimento da planta (OLIVEIRA, 1995).

Nascimento et al (2006), verificaram o efeito da adubação com biossólido (0, 75 e  $150 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N) e da irrigação com água residuária sobre o crescimento e desenvolvimento da mamona em área coberta, observou que em relação a área foliar as doses de biossólido foram significativas para as épocas 50, 150 e 175 dias após o plantio.

Freier (2002) não obteve diferenças significativas nesta variável quanto às doses utilizadas e quanto às épocas de avaliação. Foram detectadas diferenças significativas somente quanto ao modo de aplicação do biossólido, onde a aplicação superficial apresentou maiores valores em relação ao modo incorporado do biossólido.

### 4.4 DIÂMETRO DO COLETO

O diâmetro do coleto (Tabela 5) mostra através da análise de variância com os incrementos que resultou em interação significativa ( $F = 1,992$ ;  $P = 0,0327$ ) entre as fontes de variação doses e épocas de avaliação.

Tabela 5. Médias dos incrementos em diâmetro do coleto de *E.citriodora* sob diferentes doses de biossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.

Épocas de avaliação (Dias após o transplante)	Incremento em diâmetro do coleto (mm)				
	Doses				
	0 t ha <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	20 t ha <sup>-1</sup>	30 t ha <sup>-1</sup>	40 t ha <sup>-1</sup>
60	4,66a	5,33a	5,33a	5,00a	5,00a
120	0,76a	-0,56a	0,53a	-0,16a	-0,43a
180	9,06a	7,60a	4,26b	9,06a	7,10a
240	1,96b	3,96b	7,60a	2,86b	5,30a
300	1,63a	3,41a	0,62a	2,09a	0,92a

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores calculados dos incrementos em diâmetro do coleto das plantas mostram que nos 60, 120 e 300 dias após o transplante não houve diferenças estatisticamente significativas entre si. Porém, nos 180 dias após o transplante, a dose de 20 t ha<sup>-1</sup> diferiu das demais doses. Nos 240 dias após o transplante, as doses 0, 10 e 30 t ha<sup>-1</sup> foram os que apresentaram menores médias quando comparadas as demais doses.

Em relação ao diâmetro do coleto, Freier (2002), não observou diferenças significativas entre as doses tanto na primeira quanto na segunda avaliação. Porém em relação ao modo de aplicação houve diferença significativa, pois a aplicação superficial apresentou os maiores diâmetros em relação ao modo incorporado.

#### 4.5 BIOMASSA SECA AÉREA

A análise de variância com os incrementos da biomassa seca aérea resultou no efeito estatisticamente significativo da fonte de variação épocas de avaliação (F= 14,808; P= 0,00).

A média dos incrementos calculados aos 240 e 300 dias após o transplante, (27,58g) foram maiores que as médias dos incrementos calculados aos 120 e 180

dias após o transplante (20,25g) que por sua vez foi maior que aqueles incrementos calculados para 60 dias após o transplante (5,21g).

Diferentemente dos resultados encontrados neste ensaio, Guedes (2006), com *E. grandis* e doses crescentes de bio sólido de 10 a 160 t ha<sup>-1</sup>, durante 12 meses, obteve diferença significativa entre as doses, exceto entre a dose 10 t ha<sup>-1</sup> e a testemunha. O autor justificou que esse efeito ocorreu pelos menores teores de C e P no solo, observados nas colunas onde foi aplicada a dose de 10 t ha<sup>-1</sup>.

Porém Freier (2002), também não encontrou diferenças significativas para o fator dose tanto na primeira como na segunda avaliação, e quanto ao modo de aplicação houve diferença significativa entre os modos para ambas as avaliações o modo de aplicação via superficial apresentou maiores médias de peso em relação ao modo de aplicação incorporado do bio sólido.

#### 4.6 BIOMASSA SECA RADICIAL

A biomassa seca radicial, os incrementos calculados, diferiu somente em 300 dias após o transplante, onde a dose 10 t ha<sup>-1</sup> apresentou a maior média (99,12g) do que as demais doses (31,48g), conforme os incrementos da Tabela 6.

Tabela 6. Médias dos incrementos em biomassa seca radicial de *E.citriodora* sob diferentes doses de bio sólido incorporado a camada de 0 – 20 cm. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.

Épocas de avaliação (Dias após o transplante)	Incremento na biomassa radicial (g)				
	Doses				
	0 t ha <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	20 t ha <sup>-1</sup>	30 t ha <sup>-1</sup>	40 t ha <sup>-1</sup>
60	1,74a	4,61a	8,75a	22,67a	41,30a
120	-0,81b	2,14b	10,47b	22,65b	99,12a
180	-0,92a	3,19a	10,87a	21,21a	28,43a
240	1,51a	7,53a	15,36a	21,24a	52,68a
300	3,08a	9,72a	10,70a	10,83a	34,15a

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Da mesma forma, Freier (2002), obteve diferença significativa entre as doses da primeira avaliação onde a dose de 24 t ha<sup>-1</sup> apresentou média maior em relação à de 6 t ha<sup>-1</sup>, mas não diferiu estatisticamente das demais doses. Porém, na segunda época de avaliação não houve diferença estatística entre as mesmas.

#### 4.7 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL

Segundo Bettioli et al. (2000), os povoamentos de eucalipto têm capacidade de estocar em sua biomassa aérea e radicular a maior parte dos nutrientes disponíveis em solos de baixa fertilidade, porém o compartimento composto pelas folhas é o que melhor reflete o seu estado nutricional (IPEF, 2005). Os valores da eficiência nutricional relacionados na tabela 7, demonstram a variação da eficiência nutricional através do coeficiente de utilização biológica dos nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Tabela 7. Produção de biomassa seca foliar, coeficiente de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg em *E.citriodora* sob diferentes doses de biossólido incorporado a camada de 0 – 20 cm na última época de avaliação (300 dias após o transplante). Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.

Doses	Biomassa seca foliar (g)	Coeficiente de utilização biológica				
		Nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
0 t ha <sup>-1</sup>	14,26	8,75	1,83	22,50	12,35	4,10
		(1,63a)	(7,80a)	(0,63a)	(1,15a)	(3,48a)
10 t ha <sup>-1</sup>	13,67	8,75	2,35	22,05	12,90	4,00
		(1,56a)	(5,81a)	(0,62a)	(1,06a)	(3,41a)
20 t ha <sup>-1</sup>	13,61	10,50	1,73	23,70	16,25	3,90
		(1,29a)	(7,86a)	(0,57a)	(0,83a)	(3,49a)
30 t ha <sup>-1</sup>	14,97	9,62	2,38	23,70	15,50	3,40
		(1,55a)	(6,29a)	(0,63a)	(0,96a)	(4,40a)
40 t ha <sup>-1</sup>	15,60	9,62	1,97	26,65	18,80	4,40
		(1,62a)	(7,92a)	(0,58a)	(0,83a)	(3,54a)

(1) Os números entre parênteses indicam a eficiência de utilização de nutrientes [Biomassa seca foliar (g)/ Massa de nutriente absorvido (g/Kg)]

(2) Os números que não estão entre parênteses indicam a massa de nutriente absorvido (g/Kg).

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade.

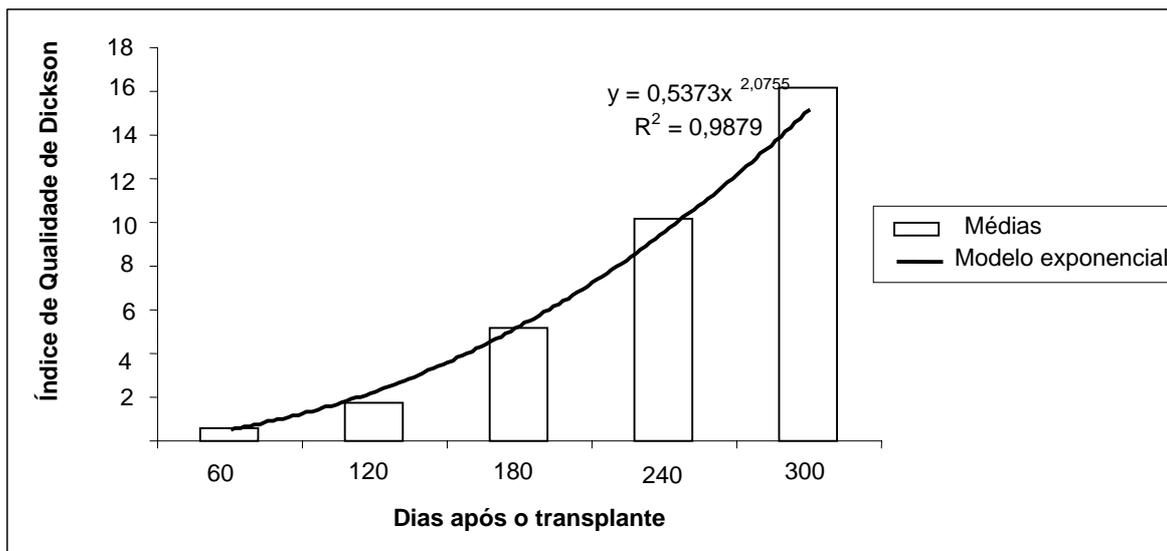
As concentrações foliares de potássio foram semelhantes para todas as doses de bioossólido, entretanto a concentração deste elemento na dose de 0 t ha<sup>-1</sup>, foi tanto quanto os tratamentos de 10 e 30 t ha<sup>-1</sup>. Efeito também alcançado e explicado por Poggiani et al., (1999) citado por Bettioli et al. (2000) que sugere o “efeito diluição”, ou seja, apesar de as plantas possuírem um maior conteúdo de potássio em sua biomassa foliar, ele se diluiu nesta biomassa, resultando em menor concentração.

As doses 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, comparadas com as demais doses nos demais nutrientes, demonstraram maior viabilidade de uso, pois seus coeficientes de utilização biológica ficaram próximos aos maiores valores obtidos mesmo absorvendo quantidades semelhantes daqueles quanto às demais doses. Dentre as duas doses viáveis de uso, 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, a dose recomendada é 30 t ha<sup>-1</sup>, por reduzir gastos com transporte e aplicação comparativamente à dose de 40 t ha<sup>-1</sup>.

#### 4.8 ÍNDICE DE DICKSON

A utilização do Índice de Dickson no sugere a possibilidade de que o mesmo indique a proporcionalidade na alocação de carbono e no crescimento inicial durante as diferentes épocas de avaliação da espécie lenhosa utilizada.

A análise de variância com os valores absolutos do índice de Dickson resultou em efeito significativo (F=61,420; P= 0,00) para a fonte de variação épocas de avaliação (figura 2).



**Figura 2 – Gráfico do Índice de Dickson de *E. citriodora* sob diferentes épocas de avaliação. Marechal Cândido Rondon – PR, 2007/2008.**

## DISCUSSÃO

De uma forma geral, baseando-se em resultados comprovados e discutidos neste trabalho, constatou-se que dentre as doses de biofósforo utilizadas, a viabilidade de uso está entre as doses 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, quando os parâmetros de qualidade são mensurados a partir dos 180 dias após o transplante, pois seus efeitos estão demonstrados positivamente em: comprimento de planta, número de folhas, diâmetro de coleto e massa seca aérea. Evidências na redução do acúmulo de massa seca radicular com a aplicação de doses crescentes do biofósforo indicam uma prioridade na estratégia de crescimento de uma espécie de rápido desenvolvimento.

No entanto, a dose de 40 t ha<sup>-1</sup> não favoreceu o crescimento em área foliar. O que implica na recomendação da dose de 30 t ha<sup>-1</sup> reduzindo gastos com transporte e aplicação comparativamente à dose de 40 t ha<sup>-1</sup>.

Entretanto o compartimento composto pelas folhas é o que melhor reflete o estado nutricional das árvores, com relação positiva entre a disponibilidade de nutrientes no solo e seus teores nas folhas, relação esta que afeta diretamente a produtividade. E o conhecimento do conteúdo de nutriente na copa, como estoque estratégico, explica o rápido crescimento do eucalipto. Do ponto de vista de eficiência nutricional, o melhor crescimento de um genótipo pode ser decorrente de

sua maior capacidade de absorção de nutrientes do solo ou de sua maior eficiência em utilizar o nutriente absorvido na produção de matéria seca (IPEF, 2005).

A seleção de indivíduos com maior eficiência nutricional poderá significar: economia em fertilizantes e manutenção da produtividade florestal do sítio por um período maior como também, adequação do genótipo, referente às suas exigências nutricionais, à capacidade de sustentabilidade do sítio (IPEF, 2005).

No estudo da eficiência nutricional, através do uso do coeficiente de utilização biológica aos 300 dias após o transplante, as doses viáveis de uso foram 30 e 40. t ha<sup>-1</sup>, porém a dose recomendada para a espécie em estudo no solo utilizado experimentalmente é a dose 30 t ha<sup>-1</sup> por minimizar futuros custos advindos com transporte e aplicação.

Outro aspecto a se observar são os custos com a aplicação de biofósforo que devem ser equiparados ou superados com os benefícios advindos do aumento de produtividade e com a economia de fertilizantes (BETTIOL et al., 2000).

Contudo, o estudo sobre o uso de biofósforo como fonte de nutrientes para as plantas, ainda é inicial, o que inspira cuidados no seu uso principalmente nos aspectos: risco de desequilíbrio nutricional, falta de informações (dose, modo de aplicação e parcelamento) e adequação da fonte às necessidades da planta.

## CONCLUSÃO

Recomenda-se a utilização da dose de 30 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, na cultura do *E. citriodora* no solo utilizado experimentalmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A LAVOURA, **Comprovada a eficiência do biossólido em eucalipto**. Rio de Janeiro, n. 654, set. 2005, Adubação, p. 48 – 49.

AGENDA 21 BRASILEIRA, **Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento**. Brasília, Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; CHERUBINI,C; TELES, C.R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do lodo de esgoto. In: ANDREOLI et al. **Lodo de esgotos: tratamentos e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG, Sanepar, 2001. v.6, cap. 4, p. 87 – 117. (Série Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

BARROS, F. N.; NOVAIS, F. R. **Relação Solo – Eucalipto**. Viçosa – MG, 1990, 330p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N.; **Experimentação Agrícola**. Departamento de Ciências Exatas. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Jaboticabal, SP. 1992, p. 58.

BETTIOL, W. & CARVALHO, P. C. T. **Utilização de lodo de esgoto primário e fertilizante organo-mineral IPT na cultura do milho**. Fertilizantes, v.44, p. 14-15, 1982.

BETTIOL, W.; CAMARGO, A. O. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA, 2000, 312p.

BETTIOL, W. FERNANDES, S. A. P.; CERRI, C. C. Efeito do lodo de esgoto na atividade microbiana do solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna – SP. EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. p. 207 – 226.

BOLETIM 200 do IAC – SP. Disponível em: <http://www.ruralnet.com.br/especiarias/eucalipto.asp>. Acesso em: 02 mar.2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. DOU, Brasília, 30 de ago. 2006, 32p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2006>. Acesso em: 08 set.2007.

BREMM, R.R.R. **Potencial do lodo de esgoto calado como insumo agrícola para a cultura do milho em latossolo vermelho**, 2005, 73p. (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451p.

CHIBA, M.K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimento da cultura**. 2005. 143p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

CORRÊIA, R. S.; CORRÊIA, A. S. Valoração de biossólidos como fertilizantes e condicionadores de solos. **SANARE**, v. 16, n. 16, p. 49 – 56, 2001.

DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. **SANARE**, v.8, n.8, p. 33 – 38, jul – dez/ 1997.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, p. 10-13, 1960.

FARIA, L.C. **Uso de lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica**. 2007, 106p. (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

FARIA, L. C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com biossólido da ETE de Barueri, SP: Demanda potencial e nível mínimo de resposta**. 2000, 85p. (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR para windows: versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria. 2000. São Carlos. **Anais**. São Carlos: SSP/SIB. 2000, p. 255-268.

FREIER, M; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M.M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de ciências agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p 102 – 107, 2006.

FREIER, M. **Crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook com adubação de lodo de esgoto**. Marechal Cândido Rondon. 2002, 36p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Agronomia – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon – PR.

GONÇALVES, J. L. M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais. Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A.; **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP. EMBRAPA, 2000, p. 163- 178.

GUEDES, M.C.; ANDRADE, C.A.; POGGIANI, F.; MATIAZZO, M.E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p 267 – 280, 2006.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005,169p. Tese (Doutorado) – USP – Universidade de São Paulo.

GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, n. 63, p 188 – 201, 2003.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Dados preliminares sobre nutrição de eucalipto cultivado com lodo de esgoto (Biossólido). In: GONÇALVES, J.L.M. et al. **Simpósio sobre fertilização e nutrição florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ-USP, p.1-26, 1999.

HENRY, C.L.; COLE, D. W. Use of biossolids in the forest: technology, economics and regulations. **Biomass and Bioenergy**, v. 13, n. 4/5, p. 269 – 277, 1997.

IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: [http://1200.2001.27.14/sete/Sma/cartas\\_climáticas/classificação\\_climatica.htm](http://1200.2001.27.14/sete/Sma/cartas_climáticas/classificação_climatica.htm). Acessado em: 04/03/2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, vol. 21, 2006. 45p.

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. ***Corymbia citriodora* Hill & Johnson (*Eucalyptus citriodora* Hook)**. Publicado no site: <http://www.ipef.br>, acessado em: 11/01/2007a.

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Lodo de esgoto tratado (biossólido) em plantações florestais**. Publicado no site: <http://www.ipef.br>, acessado em: 11/01/2007b.

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. 427p.

LANG, M.J. **Ação do uso de fertilizantes de pronta e lenta disponibilidade na formação de mudas e crescimento inicial de *Peltophorum dubium Spreng. Taub* e *Parapiptdaenia rígida Vell.*** 2007, 52 p. Dissertação (Mestrado) – UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas (princípios e aplicações)**. 2. ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MATIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A.; **Aplicabilidade de bio-sólido em plantações florestais**. IV. Lixiviação de N inorgânico e toxicidade de metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA. 2000, p. 205.

MELO, J. W.; MARQUES, O. M. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA. 2000, p.109 – 142.

MORA, A. L; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. Amantino Ramos de Freitas (trad). São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p 385 – 392, 2004.

NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E. M, SOUZA, A.P. Utilização de água residuária e bio-sólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, Campina Grande, 2004. **Anais**.

NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N. E. M, SOUZA, A.P; FIGUEIRÊDO, I. C. M. ; LIMA, M. M. Uso de biossólido e de água residuária no crescimento e desenvolvimento da mamona: crescimento e desenvolvimento. **Revista Brasileira de Oleaginosas e fibrosas**, v. 10, n. ½, p. 1001 – 1007, 2006.

OLIVEIRA, E.L. **Efeito do estresse hídrico sobre características da cultura do pimentão (*Capsicum annum*, L.)**. 1995, 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1995.

POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólidos em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA. 2000, p.163 – 178.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucaliptos. **Revista Silvicultura**. n 80. p 48 – 51, 1999.

REVISTA CREA-PR. **A polêmica que vem do esgoto**. Curitiba, n. 40, ano 9, 2006. 42p.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p 623 – 639, 2004.

SANEPAR. **Manual técnico para utilização do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997, 96p.

SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Madeira – ***Eucalyptus citriodora***. Publicado no site: <http://www.sbrt.ibict.br>. Acessado em: 16/02/2007.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.5, p 834 - 840, 2001.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; MOREIRA, R.M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodo de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, v.36, n.77, p 79 – 88, 2008.

SILVÉRIO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. **O Agrônomo**, Campinas, v. 1, n. 56, p. 5 – 8, 2004.

SOARES, M.T.S.; GONÇALVES, J.L.M.; ALVAREZ, L.; MELFI, A.J.; TEIXEIRA, C.M.; FEIGI, B.J. **Uso de biossólido em povoamentos de eucalipto em solos degradados e não degradados**: transferência de nitrogênio. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2002, Belo Horizonte: **SOBRADE** 2002. p. 221 – 223.

SOBRINHO, A. P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA. 2000, p.11 – 24.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS, 2006. 106p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 719p.

TAMANINI, C.R.; ANDREOLI, C.V.; MOTTA, A.C.V.; DOETZER, B.H.; PEGORINI, E.S. Estudo da utilização de altas doses de biossólido na recuperação de área decapada em São José dos Pinhais, In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande, 2005. **Anais**.

TSUTIYA, T. M. Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna – SP: EMBRAPA. 2000, p.69 – 105.

VAZ, S.M.L.; GONÇALVES, M.J.L. **Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bio sólido**. In: **Revista Sitientibus**, n.26, p. 151-174. Feira de Santana – BA, 2002. Disponível em: <http://www.uefs.br/sitientibus/edicoes/26.htm>. Acessado em: 03/02/2008.

VEGA, F.V. A; BOVI, M.L.A.; BERTON, R.S.; GODOY, G.J.; CEMBRANELLI, M.A.R. Aplicação de bio sólido na implantação da cultura da pupunheira. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p 131 – 135, 2004.

ZABOWSKI, D.; HENRY, C. L. Soil and foliar nitrogen after fertilizer treatment of *Pinus ponderosa*. **New Zealand of Forestry Science**, v.24, n 2-3, p. 333-343. 1994.

## **APÊNDICES**

Tabela 1A – Análise de variância da variável avaliada: **comprimento**.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Trat * Época	16	5848,5680	365,5355	2,169	0,0191*
Erro	50	8425,0400	168,5008		
Total corrigido	74	17757,466667			
CV (%) =	33,47				
Média geral:	38,7866667			Número de observações: 75	

Tabela 2A – Análise de variância da variável avaliada: **número de folhas**.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Trat * Época	16	128776,506133	8048,531633	2,752	0,0032**
Erro	50	146229,3333	2924,586667		
Total corrigido	74	17757,466667			
CV (%) =	138,91				
Média geral:	38,932			Número de observações: 75	

Tabela 3A – Análise de variância da variável avaliada **diâmetro do coleto**.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Trat * Época	16	123,321712	7,707607	1,992	0,0327*
Erro	50	193,471	3,86942		
Total corrigido	74	819,959075			
CV (%) =	52,90				
Média geral:	3,7182667			Número de observações: 75	

Tabela 4A – Análise de variância da variável avaliada: **área foliar**.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	4	2,77409677E+0010	6,935919E+0009	4,511	0,0028**
Época	4	4,095657587E+0010	1,02391439E+0010	6,660	0,0001**
Erro	66	1,014667898E+0011	1,537375604E+0009		
Total corrigido	74	1,701641625e+0011			
CV (%) =	72,61				
Média geral:	54002,7544			Número de observações: 75	

Tabela 5A – Análise de variância da variável avaliada: **biomassa seca radicial.**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Trat * Época	16	15441,430595	965,089412	1,857	0,0490*
Erro	50	25981,689400	519,633788		
Total corrigido	74	60104,248352			
CV (%) =	128,94				
Média geral:	17,6792			Número de observações: 75	

Tabela 6A – Análise de variância da variável avaliada: **biomassa seca aérea.**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Trat * Época	16	5350,739725	1337,684931	15,668	0,0000**
Erro	50	4268,761	85,375220		
Total corrigido	74	11674,359979			
CV (%) =	45,79				
Média geral:	20,1805333			Número de observações: 75	

Tabela 7A – Análise de variância da variável avaliada: **Índice de Dickson.**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Época	4	2480,721952	620,180488	61,420	0,0000
Erro	50	706,812307	10,097319		
Total corrigido	74	3187,534259			
CV (%) =	46,90				
Média geral:	6,7754667			Número de observações: 75	

Tabela 1B – Análise de variância da variável avaliada: **Eficiência nutricional – Nitrogênio.**

CV	GL	SQ	QM	Fcalc	F tab (1%)	F tab (5%)
Tratamentos	4	0,22	0,055	0,0077	5,99	3,48
Resíduo	10	70,69	7,069			
Total	14	70,91				

Tabela 2B – Análise de variância da variável avaliada: **Eficiência nutricional – Fósforo.**

CV	GL	SQ	QM	Fcalc	F tab (1%)	F tab (5%)
Tratamentos	4	12,16	3,04	0,0195	5,99	3,48
Resíduo	10	1.552,61	155,261			
Total	14	1.564,77				

Tabela 3B – Análise de variância da variável avaliada: **Eficiência nutricional – Potássio.**

CV	GL	SQ	QM	Fcalc	F tab (1%)	F tab (5%)
Tratamentos	4	0,013	0,0032	0,002	5,99	3,48
Resíduo	10	11,027	1,102			
Total	14	11,04				

Tabela 4B – Análise de variância da variável avaliada: **Eficiência nutricional – Cálcio.**

CV	GL	SQ	QM	Fcalc	F tab (1%)	F tab (5%)
Tratamentos	4	0,23	0,05	0,017	5,99	3,48
Resíduo	10	28,56	2,85			
Total	14	28,80				

Tabela 5B – Análise de variância da variável avaliada: **Eficiência nutricional – Magnésio.**

CV	GL	SQ	QM	Fcalc	F tab (1%)	F tab (5%)
Tratamentos	4	2,05	0,51	0,0125	5,99	3,48
Resíduo	10	406,86	40,68			
Total	14	408,91				