

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS BOTUCATU

**NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL EM
PLANTAÇÕES DE *Corymbia citriodora* FERTILIZADO COM COMPOSTO
ORGÂNICO DE LODO DE ESGOTO**

MÁRIO PIAZON NETO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU-SP
Agosto-2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS BOTUCATU

**NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL EM
PLANTAÇÕES DE *Corymbia citriodora* FERTILIZADO COM COMPOSTO
ORGÂNICO DE LODO DE ESGOTO**

MÁRIO PIAZON NETO

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Co- orientadora: Lilia Aparecida Salgado de Morais

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Ciência Florestal.

BOTUCATU-SP

Agosto-2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P584n Piazon Neto, Mário, 1985-
Nutrição mineral e produção de óleo essencial em
plantações de *Corymbia citriodora* fertilizado com com-
posto orgânico de lodo de esgoto / Mário Piazon Neto. -
Botucatu : [s.n.], 2012
xi, 95 f. : fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Pau-
lista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Iraê Amaral Guerrini
Coorientador: Lilia Aparecida Salgado de Moraes
Inclui bibliografia

1. Essência e óleos essenciais. 2. Solos - Fertilidade. 3. Lodo de esgoto. 4. Crescimento (Plantas). I. Guerrini, Iraê Amaral. II. Moraes, Lilia Aparecida Salgado de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte."

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL EM
PLANTACIONES DE *Corymbia citriodora* FERTILIZADO COM
COMPOSTO ORGÂNICO DE LODO DE ESGOTO

ALUNO: MÁRIO PIAZON NETO


ORIENTADOR: PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI

COORIENTADOR: PROFA. DRA. LILIA APARECIDA SALGADO DE MORAIS

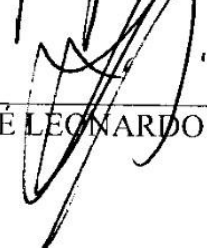
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



PROF. DR. FERNANDO CARVALHO OLIVEIRA



PROF. DR. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Data da Realização: 08 de agosto 2012.

Dedico esse trabalho a minha mãe Maria Aparecida, ao meu pai Adelson Piazon e a minha irmã Cintia, pessoas que me ajudaram incondicionalmente e são exemplos em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou, desde a decisão pela carreira de Engenheiro Florestal como em todos os momentos difíceis, sendo sempre rigorosos na cobrança e compreensivos nas dificuldades.

Aos meus amigos de Ourinhos e Botucatu, grandes parceiros que sempre serão exemplos em minha vida.

A faculdade de Ciências Agrônomicas FCA-UNESP, instituição que me orgulho e que propiciou a mim uma formação qualificada.

Ao professor Iraê Amaral Guerrini, que além de orientador sempre o considerei como amigo e exemplo de profissional.

A pesquisadora da EMBRAPA Lilia Aparecida Salgado de Moraes, que colaborou em todas as etapas nesse trabalho e contribuiu expressivamente para os resultados do mesmo.

Aos membros da banca, o professor José Leonardo de Moraes Gonçalves e ao Engenheiro Fernando carvalho de Oliveira, pelas contribuições primorosas que enriqueceram o trabalho.

A empresa Essence Flora, em especial ao José Abdala e Leonildo, que foram parceiros indispensáveis para instalação e condução do experimento.

A todos os funcionários do departamento de Solos e Nutrição de Plantas da FCA-UNESP, pela ajuda em todos os momentos do curso de pós graduação.

Aos amigos da XVII turma de Engenharia Florestal da FCA-UNESP, pelos 5 anos de companheirismo, amizades e aprendizados; sou muito grato à todos eles.

A república Pulero e todos os amigos que moraram comigo; durante a graduação essa foi minha casa e eles minha família.

A república Casa Branca, que foi minha casa em boa parte do meu período da pós-graduação, e a todos os moradores, que se tornaram grandes amigos e apoiadores tanto na minha vida profissional quanto pessoal.

Aos colegas de pós-graduação Gabi, André, Grilo, Daroça, Pxe Boi, Kracas, Retezo, Kssamba, Goró, Lilian, Grasiela, Verme, Araçá, Javer , Batatinha e Carioca, que muitas vezes abdicaram de seus afazeres para me ajudar, tanto em campo, quanto em laboratório ou na escrita desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos que me ajudaram de alguma forma e foram importantes na condução desse trabalho, sempre serei grato a vocês.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
SUMÁRIO.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.2. Particularidades dos solos florestais brasileiros.....	8
2.3. Lodo de esgoto	8
2.4. Usos do lodo de esgoto no setor florestal	11
2.5. <i>Corymbia citriodora</i>	14
2.6. Óleos Essenciais	15
2.7. Classificação dos óleos essenciais do gênero <i>Eucalyptus</i> e <i>Corymbia</i>	16
2.8. Sistema silvicultural por talhadia.....	18
2.9. Manejo do <i>Corymbia citriodora</i> para produção de óleo.....	19
2.10.Relação benefício/custo da aplicação do lodo de esgoto compostado	20
3. OBJETIVOS.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. Área experimental.....	22
4.2. Tratamentos e delineamento experimental	26
4.3. Tratos silviculturais.....	26
4.4. Aplicação do composto de lodo de esgoto e dos fertilizantes químicos.....	27
4.5. Avaliação de altura e diâmetro de copa	29
4.6. Análise do solo, folhas e clorofila	29
4.7. Massa foliar.....	30
4.7.1. Medição de área foliar total	31
4.8. Avaliação do rendimento do óleo e teor de citronelal	31
4.9. Avaliação da relação benefício/custo	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35

5.1. Biometria	35
5.2. Índice de cor verde (ICV)	39
5.3. Área foliar total e massa verde de folhas	41
5.4. Rendimento de óleo, massa de óleo e teor de Citronelal	45
5.5. Análise química de solo aos 6 e 12 meses de idade.....	51
5.6. Análise química de solo aos 12 meses de idade.	57
5.7. Análise química foliar aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade.	64
5.7.1. Acúmulo de nutrientes na biomassa das folhas colhidas aos 12 meses de idade. 78	
5.8. Análise econômica da relação benefício/custo	83
6. CONCLUSÕES	86
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista geral da área do experimento (Instalação-Dezembro de 2010).	23
Figura 2. Adubação química (a) e aplicação de lodo (b) na dose de 20 Mg ha ⁻¹	28
Figura 3. Medição da altura total do broto superior aos 6 meses após instalação.	29
Figura 4. Hidrodestilação das folhas de <i>Corymbia citriodora</i> (A), e acondicionamento das amostras para análise cromatográfica (B).	32
Figura 5. Curva de regressão para diâmetro de copa aos 6 meses após a instalação.	38
Figura 6. Curva de regressão para diâmetro de copa aos 12 meses após a instalação.	39
Figura 7. Correlação simples entre Área Foliar Total (AFT, m ²) e Massa verde foliar entre parcelas de <i>Corymbia citriodora</i> colhidas aos 12 meses.	45
Figura 8. Curva de regressão entre rendimento de óleo (%), e doses de composto de lodo de esgoto (Mg ha ⁻¹).	47
Figura 9. Regressão entre teores de enxofre no solo (mg dm ⁻³) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.	54
Figura 10. Regressão entre teores de fósforo no solo (mg dm ⁻¹) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.	55
Figura 11. Regressão entre teores de cobre no solo (mg dm ⁻¹) e doses de composto de lodo de esgoto aos 6 meses de idade.	56
Figura 12. Regressão entre teores de zinco no solo (mg dm ⁻¹) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.	57
Figura 13. Regressão entre teores de matéria orgânica no solo (mg dm ⁻³) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.	60
Figura 14. Regressão entre teores de enxofre no solo (mg dm ⁻¹) e doses de composto de lodo aos 12 meses de idade.	61
Figura 15. Regressão entre teores de fósforo no solo (mg dm ⁻³) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.	62
Figura 16. Regressão entre teores de cobre no solo (mg dm ⁻³) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.	63
Figura 17. Regressão entre teores de zinco no solo (mg dm ⁻³) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.	64
Figura 18. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg ⁻¹) e doses de composto de lodo (Mg ha ⁻¹), aos 3 meses de idade.	67

Figura 19. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg^{-1}) e doses de composto de lodo (Mg ha^{-1}) aos 6 meses de idade.	70
Figura 20. Clorose marginal em folhas de <i>Corymbia citriodora</i> aos nove meses de idade.	71
Figura 21. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg^{-1}) e doses de composto de lodo (Mg ha^{-1}) aos 9 meses de idade.	74
Figura 22. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg^{-1}) e doses de composto de lodo (Mg ha^{-1}) aos 12 meses de idade.....	75
Figura 23. Figura 20 – Regressão para quantidade de zinco total na biomassa de folhas aos 12 meses de idade.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de óleos essenciais extraídos de espécies de gênero <i>Eucalyptus spp.</i> e <i>Corymbia spp.</i>	18
Tabela 2. Análise química completa de solo por ocasião da instalação.	24
Tabela 3. Análise granulométrica do solo por ocasião da instalação do experimento.	24
Tabela 4. Análise do composto de lodo de esgoto utilizado.	25
Tabela 5. Quantidades de nutrientes aplicados (Kg ha^{-1}) nos tratamentos.	28
Tabela 6. Descrição dos custos referentes à adubação química para 1 ha.	33
Tabela 7. Valores relativos aos custos globais de todos os tratamentos para 1 ha.	34
Tabela 8. Altura (m) ao longo do período de avaliação.	35
Tabela 9. Diâmetro de copa (m) ao longo do período de avaliação.	37
Tabela 10. Índice de cor verde ao longo do período de avaliação.	40
Tabela 11. Tabela 9- Área foliar total (AFT) de árvores individuais e por hectare (m^2) ao término do experimento (12 meses).	41
Tabela 12. Massa verde de folhas de árvores individuais e por hectare (Kg), ao término do experimento (12 meses).	43
Tabela 13. Rendimento de óleo (%), massa de óleo essencial por planta (g planta^{-1}) e por hectare (Kg ha^{-1}) 12 meses de idade, em função dos tratamentos.	46
Tabela 14. Teor de Citronelal (%) extraído das folhas de <i>Corymbia citriodora</i> aos 12 meses de idade, em função dos tratamentos.	50
Tabela 15. Análise química de solo na faixa de 0 a 20 cm de profundidade aos 6 meses de idade, em função dos tratamentos.	53
Tabela 16. Análise química de solo na faixa de 0 a 20 cm de profundidade aos 12 meses de idade em função dos tratamentos.	59
Tabela 17. Teores foliares de macro e micronutrientes em <i>Corymbia citriodora</i> aos 3 meses de idade, em função dos tratamentos.	66
Tabela 18. Teores foliares de macro e micronutrientes em <i>Corymbia citriodora</i> aos 6 meses de idade, em função dos tratamentos.	69
Tabela 19. Teores foliares de macro e micronutrientes em <i>Corymbia citriodora</i> aos 9 meses, de idade em função dos tratamentos.	73
Tabela 20. Teores foliares de macro e micronutrientes em folhas de <i>Corymbia citriodora</i> aos 12 meses de idade, em função dos tratamentos.	77

Tabela 21. Quantidade total de nutrientes nas folhas, em função dos tratamentos aos 12 meses de idade.	80
Tabela 22. Massa de óleo, receitas, custos e relação B/C dos tratamentos por ha.	84

RESUMO

O lodo de esgoto está se tornando cada vez mais um grande problema para as cidades, pois com o aumento populacional há proporcionalmente um aumento desse resíduo. Uma alternativa para a sua disposição é a utilização no setor agrícola e florestal, com uma maior aptidão para o último, pois seu produto final não se destina a alimentação humana ou animal. Visto isso, pretende-se saber se o lodo de esgoto tratado (Biossólido) tem a capacidade de fornecimento nutricional adequado para a cultura de *Corymbia citriodora* (Hook.), espécie de múltiplos usos, onde se destaca a extração de óleo essencial. Este trabalho teve por objetivo comparar a fertilização de florestas homogêneas da espécie *Corymbia citriodora*, destinadas à produção de óleo essencial, com biossólido, através dos seguintes tratamentos: 0; 2,5; 5,0; 10; 15 e 20 Mg ha⁻¹ de biossólido complementado com potássio e boro, fertilização química usual, um tratamento apenas com potássio e boro e testemunha absoluta. Antes da instalação do experimento em campo, realizou-se análise química do solo como base para as recomendações da adubação química. Parâmetros biométricos e nutricionais foram avaliados a cada três meses durante um ano, como altura, diâmetro de copa, índice de cor verde nas folhas e análise foliar, além de realizar a cada seis meses a análise do solo. Ao fim de 12 meses, coletou-se as folhas do terço médio e inferior da árvore para a quantificação da biomassa. Além disso, foram retiradas amostras

foliares para destilação em laboratório com o uso do destilador Clevenger, com a finalidade de se obter o rendimento de óleo pelos tratamentos, além de posteriormente quantificar o teor de citronelal pelo método da cromatografia gasosa. Houve diferença estatística para altura, diâmetro de copa e índice de cor verde. A análise química de folhas apresentou diferença para Manganês e Zinco, obtendo absorção superior significativa para o último conforme se aumentou as doses de lodo, superando a adubação química. Para solo, tanto na avaliação de 6 meses quanto na de 12 meses, houve também concentrações maiores desses dois nutrientes no solo, além de também aumentar a matéria orgânica e P. Quando analisado o rendimento de óleo, houve diferença significativa para regressão das doses de lodo, destacando o tratamento onde se aplicou 10 Mg ha^{-1} , sendo o mais produtivo, seguido pela testemunha absoluta. Para produção de óleo essencial em massa não houve diferença estatística, mas observou-se discrepância considerável dentre os tratamentos, destacando as maiores doses do composto de lodo e tratamento químico. Não houve diferença no teor de citronelal entre os tratamentos.

Palavras-chave: Biossólido; fertilidade do solo; talhadia; citronelal; crescimento.

ABSTRACT

The sewage sludge is becoming an increasingly big problem for cities, with the population growing; there is an increased proportion of this material. An alternative for disposal this waste is the use in agriculture and forestry, with a special ability of the latter, since the end product is not intended for human or animal feeding. Based on this, is to find out if the treated sewage sludge (biosolids) has the ability to supply adequate nutrition for the cultivation of *Corymbia citriodora* (Hook.), a species of multiple uses, which highlights the essential oil extraction. This study aims to compare the fertilizing forests homogeneous species *Corymbia citriodora* for the production of essential oil with biosolids (2.5, 5.0, 10 and 20 ton / ha K), usual chemical fertilizer, only one treatment with potassium and an absolute control without any fertilization. Before the experiment be deployed under field conditions, there will be a soil test recommendations as a basis for mineral fertilizers. Several parameters will be evaluated every three months during one year, which will be the following: height, crown diameter, level of chlorophyll in leaves and leaf analysis and every six months will be done soil and leaf analysis. At the time of leaves collect, dry weight will be measured in addition to the oil yield and quality, quantifying the content of citronelal by the method of chromatography. There were statistical differences for height, crown diameter and index of green, and for crown diameter indicated differences from the first evaluation (after three months). For nutrition, chemical analysis of leaves was no

difference for Manganese and Zinc, obtaining higher significant absorption for the highest levels of silt, surpassing the chemical fertilizer, and soil, both in the evaluation of six months and in 12 months, there were also concentrations larger of these two nutrients in the soil, and also increase the organic matter and P. When analyzing the oil yield significant differences for regression of sewage sludge rates, highlighting the treatment 10 Mg ha⁻¹ being the most productive, followed by absolute control. There was no difference in content between treatments citronelal.

Keywords: Biosolid; soil fertility; coppice; citronelal; growing.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O lodo de esgoto está se tornando cada vez mais um grande problema para as municipalidades ao redor do mundo, pois as quantidades produzidas continuam aumentando com o aumento da densidade populacional das cidades (MORTVEDT, 1996). Uma alternativa para seu uso é a aplicação na agricultura ou em florestas como fertilizante orgânico.

Diversas são as vantagens de se aplicar o lodo de esgoto como alternativa para fertilização do solo. Em relação às propriedades físicas e químicas do solo, esse material traz efeitos benéficos, sendo comprovadamente um excelente fornecedor de matéria orgânica (JORGE et al., 1991) e rico em fósforo e nitrogênio, além de outros nutrientes existentes em menores quantidades (SILVA et al., 1998). Além disso, provoca o aumento da agregação das partículas e a consequente facilitação à infiltração e retenção de água e aumento na aeração, além de facilitar a solubilização de nutrientes em compostos orgânicos de liberação lenta através da formação de agentes complexantes (ANDREOLLI et al., 1997).

Pesquisas com lodo de esgoto vêm sendo realizadas há muito tempo, principalmente nos EUA. A partir da década de setenta essas pesquisas foram intensificadas, expandindo-se os conhecimentos científicos sobre o lodo e sobre os

processos de tratamento. Nos primeiros anos dessa década, foram investigados muitos aspectos do uso de lodo em florestas, incluindo técnicas de aplicação, práticas de manejo e operação e medida dos impactos ambientais (GUEDES, 2000).

Em termos de fertilidade do solo, o uso de lodo de esgoto, dependendo de sua origem, pode aumentar a CTC do solo pela introdução de cargas negativas na porção orgânica (MELO et al., 1994), aumentando também o teor de matéria orgânica (SEAKER; SOPPER, 1988a; MARQUES, 1997). Berton et al. (1989), constataram que o lodo adicionado ao solo agiu como corretivo da acidez, elevando o pH e reduzindo o teor de alumínio trocável, sendo também fonte de N, P, K, Ca, Mg e Zn. Resultados semelhantes foram obtidos por Marques (1997) e Silva et al. (1998), entre outros.

O presente estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros biométricos e nutricionais em um cultivo de *Corymbia citriodora*, antigo *Eucalyptus citriodora*, além da produção de folhas e qualidade do óleo extraído, em virtude de haver poucos trabalhos nessa linha de pesquisa ou focando essa espécie.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Situação atual do setor florestal Brasileiro

Florestas plantadas para fins comerciais representam uma prática já sedimentada no Brasil. Os benefícios advindos dos maciços florestais são muitos, incluindo desde o fornecimento de matéria prima de qualidade á diminuição da pressão sobre as florestas naturais. Os gêneros de florestas que predominam são de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.*

Segundo a ABRAF (2010), a área reflorestada no país com espécies de rápido crescimento e importância de mercado já equivale a cerca de seis milhões de ha, sendo que destes, 62,7% é composta pelo gênero *Eucalyptus*.

Basicamente os plantios do gênero *Eucalyptus* são destinados à fabricação de celulose e papel, vide que o Brasil é, em âmbito mundial, líder na produção de celulose de fibra curta, sendo o 6º maior produtor de celulose e o 11º maior fabricante de papel (ABRAF, 2010). Porém, há os produtos florestais não madeireiros de interesse comercial, que são provenientes em geral dos frutos, cascas, raízes e folhas das árvores.

2.2. Particularidades dos solos florestais brasileiros

Em geral, os solos de melhor qualidade para plantio são destinados para a agricultura, com isso, solos marginais de baixa fertilidade, alto grau de intemperização e degradados são utilizados para plantios florestais.

Atualmente, o cenário florestal está sofrendo uma mudança quanto às áreas de plantio que antes se concentravam nas regiões sudeste e sul e hoje se expandem nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, no que se denominam novas fronteiras florestais.

No Brasil, os solos utilizados para plantios florestais são geralmente de baixa fertilidade e necessitam de um aporte de nutrientes, suprido geralmente por adubos minerais, os quais poderiam ser substituídos, com certa vantagem, por adubos orgânicos, como por exemplo, o lodo de esgoto. No entanto, para se obter essa vantagem, é necessária a determinação da amplitude das doses que atendam às necessidades nutricionais das árvores, principalmente durante a fase inicial de crescimento da cultura florestal, sem impactar o ambiente (SILVA et al., 2008).

O avanço da produção de florestas plantadas torna-se um fator preocupante em relação à sustentabilidade dessas áreas, pois grande parte delas está localizada em solos de baixa fertilidade, degradados ou em processos de degradação, muitas vezes provocados pela intensificada atividade florestal (BERTOLINO, 2007; FIRME, 2009).

2.3. Lodo de esgoto

Atualmente, uma grande parte da população brasileira vive em cidades com mais de 20.000 habitantes, e uma das consequências dessa concentração populacional é o surgimento de diversos problemas ambientais relacionados com a geração de resíduos.

A disposição do lodo de esgoto, estabilizado e tratado, em solos tem se mostrado uma alternativa viável, uma vez que pode ser feita com baixo custo e sem provocar impactos negativos, desde que realizada dentro de critérios seguros, contribuindo também para o restabelecimento das características originais de alguns solos que sofreram processos de degradação (RICCI; PADOVANI; PAULA JÚNIOR, 2010).

Porém, para a produção de floresta comercial, deve atentar-se para os componentes que envolvem a boas práticas culturais, dentre eles, a fertilização. O aumento dos preços dos adubos químicos e a crescente demanda por utilização de resíduos fazem com que haja uma preocupação em dispor esse material em áreas destinadas à produção florestal. Dentre as alternativas existentes, acredita-se que a reciclagem do lodo, como biossólido, em plantações florestais é uma das mais interessantes (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008).

A utilização do lodo das Estações de Tratamento de Esgotos como condicionador de solos agrícolas já acontece em diversos países do mundo como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Austrália, Japão e também no Brasil (SABESP, 2005).

Segundo Ferreira et al. (1999), os esgotos geralmente são classificados em domésticos e industriais. O esgoto de origem industrial representa um problema, pois em geral apresenta grandes concentrações de metais pesados e outros elementos não desejáveis, dependendo do tipo de indústria no qual são gerados. O Brasil ainda carece de uma rede de esgoto adequada no que se diz respeito à mistura dos dois tipos de esgotos, isso aliado à falta de tratamento dos rejeitos oriundos das indústrias, o lodo de esgoto doméstico inevitavelmente apresenta algumas características parecidas com os rejeitos das indústrias, requerendo uma atenção maior quanto a sua utilização.

O valor dos resíduos orgânicos está na sua habilidade em recuperar solos através da melhoria da sua estrutura. As partículas finas e os materiais orgânicos podem melhorar a capacidade do solo em reter umidade e nutrientes de uma maneira imediata e prolongada (HARRISON et al., 2000).

O lodo de esgoto é um resíduo semissólido e heterogêneo, resultante do tratamento de esgotos urbanos, que contém em sua composição quantidades variável de água, nutrientes, matéria orgânica, microorganismos, elementos inorgânicos e compostos orgânicos potencialmente tóxicos a planta, ao animal e ao homem (ANDRADE, 1999; MELLO; MARQUES, 2000; ABREU JÚNIOR et al., 2005; FIRME, 2009).

O lodo de esgoto, além de possuir elevados teores de nitrogênio, fósforo e micronutrientes, apresenta também uma liberação mais lenta dos nutrientes para o solo em relação ao adubo mineral, em função da mineralização de matéria orgânica, propiciando uma melhor sincronização entre a disponibilização dos nutrientes e sua absorção pelas raízes dos eucaliptos (POGGIANI et al., 2000; SILVA et al., 2009).

Esse resíduo pode ter vários destinos, como a incineração, no caso de conter altas concentrações de agentes tóxicos, aterros sanitários, que em geral é uma prática onerosa, ou ter uma finalidade de uso, como por exemplo, como agregado leve em construção civil ou como fertilizante, ressaltando que essas duas últimas ainda carecem de pesquisas que atestem suas vantagens ambientais ou sociais.

A utilização de biossólido pode propiciar um melhor aproveitamento de nutrientes pela planta em relação à adubação mineral, visto que os mesmos estão na forma orgânica e são liberados gradativamente, suprindo de modo mais adequado as exigências nutricionais no decorrer do ciclo biológico (CARVALHO e BARRAL, 1981).

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 meio (FARIA, 2000 VAZ; e GONÇALVES, 2002).

O Biossólido, por conter elevados teores de matéria orgânica atua como condicionador do solo, alterando sua estrutura (RAIJ et al., 1998; REZENDE, 2005). Os efeitos positivos da matéria orgânica no solo são importantes, podendo-se ressaltar o aumento da retenção hídrica, porosidade, aeração, diminuição da densidade aparente, permeabilidade, aumento da capacidade de troca catiônica, além do fornecimento gradual de nutrientes para a solução do solo e posteriormente para as plantas.

Por parte das características indesejáveis podemos citar o risco de contaminação por metais pesados, presença de patógenos, mau cheiro, além de não apresentar todos os nutrientes necessários às plantas. O uso do lodo de esgoto é amparado por uma legislação que visa impedir o uso inadequado do produto, pois como mencionado, ele pode apresentar metais pesados (VAZ e GONÇALVES, 2004).

Além da presença de metais pesados, a lixiviação de nitrato pode vir a ser um problema, já que o mesmo atingindo o lençol freático apresenta potencial de contaminação ambiental. Nesse sentido, Backes et al. (2010) conduzindo um experimento onde foi aplicado 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹, além de parcela controle sem a adição do material, observaram aumento do teor de nitrato no perfil do solo (camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) até a camada de 20-40 centímetros após cinco meses desde a aplicação.

O fato de os lodos de esgoto apresentarem características biológicas, físicas e químicas variáveis, em consequência das peculiaridades regionais e

dos processos em que são gerados, além obviamente da escassez de pesquisa no Brasil, tem intensificado os trabalhos sobre os benefícios do lodo como fonte de nutrientes para as plantas e condicionador de solos e, também, sobre os riscos de toxicidade para as plantas e de contaminação para o solo e águas subterrâneas pelos elementos potencialmente tóxicos, pois para o pleno êxito do uso agrícola do lodo há necessidade de pesquisas específicas para cada tipo de lodo, solo e cultura (FIRME, 2009).

Debosz et al. (2002) não observaram efeitos negativos da aplicação de biossólido e composto orgânico em incubações no campo e em laboratório, mas verificaram que ambos influenciaram várias propriedades do solo, podendo melhorar a fertilidade.

O tipo de lodo de esgoto e a forma pela qual o mesmo foi concebido são de extrema importância para entender suas características e desempenho no solo. O lodo de esgoto compostado, como o próprio nome diz, passou por processo de compostagem e foi estabilizado biologicamente, e, dentre suas principais características, destaca-se a redução drástica do odor e umidade, além de gradual fornecimento de nutrientes aos povoamentos.

2.4. Usos do lodo de esgoto no setor florestal

Antes de se aplicar qualquer resíduo, deve-se atentar para a legislação vigente. A resolução N° 375 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2006) regulamenta o uso agrícola do lodo de esgoto atualmente. Essa resolução tem o intuito de instaurar em âmbito nacional normas que regulamentam a aplicação de resíduos sólidos, antes apenas existentes nos Estados de São Paulo e Paraná.

O lodo de esgoto, quando devidamente tratado, pode ser utilizado como fertilizante orgânico, visando à reposição de nutrientes ao solo em plantações de eucaliptos (HARRISON et al. 2003; SILVA et al. 2006; SILVA et al. 2009). Para regulamentar a utilização do lodo na área agrícola ou florestal foi criada a resolução n° 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), que define os critérios mínimos de qualidade do lodo (SILVA et al., 2009).

Quanto ao lodo de esgoto, aspectos relacionados à degradação da fração orgânica do resíduo, taxa de mineralização do nitrogênio, teores de As, Cd, Cr, Hg,

Mo, Ni, Pb, Se, Zn totais e presença de agentes patogênicos estão presentes nos textos normativos (ANDRADE, 2004; FIRME, 2009).

Segundo a resolução (CONAMA, 2006), há também o estabelecimento de concentração máxima permitida no lodo para os elementos Cr e Ba, não inclusos nas normativas de São Paulo ou Paraná.

É relevante ressaltar que a simples adoção dos critérios estabelecidos nas legislações não torna segura a utilização agrícola do lodo por tempo indeterminado, sendo imprescindível o monitoramento periódico da área onde o lodo é aplicado (RANGEL et al. 2004; ABREU JÚNIOR et al. 2005; FIRME, 2009).

Quando se pensa em aplicação de resíduos, os plantios florestais apresentam aptidão em receber esses materiais, devido a alguns aspectos como: os produtos oriundos das florestas não são para consumo humano; os ciclos florestais são longos, permitindo a decomposição do produto lentamente sem que haja necessidade de reaplicação em espaços curtos de tempo; e os maciços existentes e as novas fronteiras florestais apresentam áreas suficientes para atender a oferta de material das ETEs. Poggiani et al. (2000) afirmam que para o desenvolvimento sustentável de um povoamento florestal, o balanço nutricional no ecossistema deve ser considerado a médio e longo prazos.

Há carência de mais experimentos na área de aplicação de resíduos em florestas, e, a seguir, serão apresentados resultados de experimentos relacionados com a aplicação exclusiva do resíduo lodo de esgoto em plantios de *Eucalyptus sp*, bem como os efeitos desse material no balanço nutricional dos povoamentos.

Dentre os efeitos desse resíduo são relatados: aumentos significativos no diâmetro e altura das árvores, disponibilização de nutrientes (principalmente N, P, Ca) e aumento na produtividade do sítio florestal (MCNAB e BARRY, 1985; PHILLIPS et al. 1986; WEETMAN et al. 1993; MCDONALD et al. 1994; DUTCH et al. 1994; HENRY et al. 1994; POLGLASE e MYERS, 1996).

Guedes (2000), em experimento com *Eucalyptus grandis* em Itatinga (SP), concluiu que a aplicação do biossólido aumenta a produção de serrapilheira e, conseqüentemente, o retorno de nutrientes ao solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do mesmo.

Vaz e Gonçalves (2002), trabalhando com *Eucalyptus grandis* onde foi aplicado doses de 0, 5, 10, 15, 20 e 40 Mg ha⁻¹ (base seca) de biossólido complementado com potássio e fósforo, em uma faixa de dois metros na entrelinha de

plantio, observaram, seis meses após a aplicação, elevação dos teores de K, Ca e S no solo. Aos treze meses após aplicação, os teores de P, Ca, K e S continuaram aumentando e o valor pH também, em virtude do lodo ter sido tratado com cal virgem para eliminação de agentes patogênicos. Os valores de N e S nas folhas também sofreram acréscimo, comprovando que a matéria orgânica do material e o nitrogênio disponível no mesmo contribuíram para assimilação pelas árvores. A dose de 10 Mg ha⁻¹ foi a mais adequada para os parâmetros analisados, sendo comparada em igualdade com a adubação química inorgânica comumente utilizada em empresas florestais.

Guedes e Poggiani (2003) também trabalhando com *Eucalyptus grandis*, onde foi aplicado lodo complementado com potássio e fósforo na entrelinha de plantio quatro meses após o plantio das mudas, nas doses de 0, 5, 10, 15, 20, e 40 Mg ha⁻¹ (base seca), observaram, em geral, aumento dos níveis foliares de N, P, Ca e S e teores mais baixos de Mg e Mn. A dose de 10 Mg ha⁻¹ também foi significativa no sentido de disponibilização de nutrientes, comparado com a adubação química tradicional. Os teores de Mn que diminuíram ao longo do tempo pode ser explicado devido a composição do lodo, que foi tratado com Ca (OH)₂, apresentando pH 10,6.

No mesmo povoamento referido anteriormente, Martins et al. (2004) avaliaram o efeito das doses de biossólido na configuração radicular (raízes finas) do plantio de *Eucalyptus grandis*, quando o povoamento apresentava três anos de idade. Foram amostrados, com uma sonda de 4 cm de diâmetro, as camadas de 0-10 cm e de 10-30 cm nas entrelinhas de plantio onde foi aplicado o material. Como resultado, as raízes apresentaram maior densidade na camada de 0-10 cm de profundidade na testemunha e na adubação química e os menores valores nos tratamentos com biossólido. Houve também maiores densidades de raízes na linha de plantio do que na entrelinha, para todos os tratamentos.

Freier et al. (2007) trabalhando com *Corymbia citriodora* em um experimento em vasos com doses referentes a 0, 3, 6, 12 e 24 Mg ha⁻¹, base seca, em dois tipos de aplicação (superficial e incorporado), constataram que 12 e 24 Mg ha⁻¹ tiveram efeito positivo na variável altura, quando aplicados superficialmente. Para a variável diâmetro não houve efeitos estatisticamente significativos, porém as maiores médias foram obtidas quando o material foi aplicado também em superfície.

Silva et al. (2009), em um experimento com a espécie *Corymbia citriodora* comparando fertilização química com a aplicação de lodo de esgoto

complementado com potássio e boro na dose de 10 toneladas por hectare, notaram que não houve diferença estatística entre a produção de folhas entre os tratamentos. Isso demonstra que para a variável analisada a aplicação de lodo de esgoto foi igual à aplicação de fertilizantes químicos utilizados comumente na eucaliptocultura comercial.

Portanto, o uso agrícola do lodo representa benefício sócio-econômico-ambiental pela possibilidade de aumento da produtividade das culturas, redução de custos de produção e diminuição do impacto negativo desse material sobre o ambiente, quando disposto de forma adequada (ANDRADE, 2004; ABREU JÚNIOR, 2005; FIRME, 2009).

2.5. *Corymbia citriodora*

Antigo *Eucalyptus citriodora*, o *Corymbia citriodora* se destaca por ser utilizado para múltiplos usos. Por apresentar alta densidade da madeira, boa forma de fuste, utilizado na apicultura e ser viável à produção de óleos essenciais, tem sido plantado principalmente por pequenos e médios produtores rurais que buscam diversificar a renda na propriedade.

As espécies do gênero *Corymbia* e *Eucalyptus* de maior expressão cultivadas no Brasil para a extração de óleo essencial são: *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus staigeriana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus exserta* e *Eucalyptus globulus* (VIEIRA, 2004).

Entre as espécies introduzidas no Brasil, o *Corymbia citriodora* é, provavelmente, uma das que se tem mantido suficientemente pura por não se cruzar com a maioria das espécies mais comumente plantadas, sendo seus cruzamentos restritos ao *Eucalyptus torelliana* e *Eucalyptus maculata* (PRYOR e JOHNSTON, 1971; VIEIRA, 2004).

O *Corymbia citriodora* é uma espécie de ocorrência natural da Austrália, caracterizado por apresentar um porte médio, chegando algumas vezes a 50 metros de altura e 1,2 metros de diâmetro. Sua madeira apresenta alta densidade (0,99 g/cm³, a 12% de umidade), podendo ser indicada para plantios visando múltiplos usos (BOLAND et al. 1994; VIEIRA, 2004).

Por ser uma espécie que apresenta tubérculos lenhosos, tem como característica alta resistência o fogo; pode sobreviver a geadas leves e apresenta tolerância

á deficiências hídricas. Para sobreviver e apresentar rendimento necessita de um mínimo de pluviometria anual em torno de 600 mm, e para crescimento mais rápido essa precipitação mínima deve ser da ordem de 900 mm. Pela descrição das características de sua área de ocorrência natural, pode afirmar que há grande possibilidade de serem selecionadas populações geneticamente superiores para resistência a geada e a seca. (FERREIRA et al.1993; VIEIRA 2004).

Siqueira et al. (2002) concluíram que aos 18 meses após o plantio, em um teste de desenvolvimento silvicultural na região de Mata Atlântica de Sergipe, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Corymbia citriodora* foram as melhores espécies na avaliação de diâmetro e altura de plantas.

A condução silvicultural apropriada de plantios dessa espécie se mostra imprescindível, pois ultimamente, há uma série de restrições bióticas e abióticas, como por exemplo, a queima do ponteiro causada pela deficiência de boro, em regiões de déficit hídrico, principalmente. Verificou-se que após a queima, há bifurcação da planta, perda da dominância apical e até posterior ataque de doenças como a de fungos oportunistas, como *Dothiorella ssp*, além de pragas específicas como a vespa-da-galha do citriodora.

Boland et al. (1991) comentam que as características quantitativas e qualitativas do óleo essencial são atribuídas a três grandes fatores: genéticos, fisiológicos e ambientais. No Brasil, o óleo de *Corymbia citriodora* é comercializado bruto, ou então, tendo como base o citronelal para se obter o citronelol, o hidrixitronelale e o mentol, (VITTI e BRITO, 2003).

2.6. Óleos Essenciais

Os óleos essenciais são compostos por uma complexa mistura de componentes orgânicos voláteis, frequentemente envolvendo de 50 a 100 ou mais componentes isolados, apresentando grupos químicos como hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas, ácidos e ésteres (VITTI, 1999; VIEIRA, 2004).

Os óleos essenciais são compostos voláteis, quimicamente complexos e, no caso particular dos eucaliptos, a folha é o órgão responsável pela sua produção. São considerados óleos por serem, geralmente, líquidos de aparência oleosa a temperatura ambiente; por apresentarem volatilidade, recebem ainda o nome de óleos

voláteis; e são chamados de essências, devido ao aroma agradável e intenso da maioria de seus representantes. (VITTI e BRITO, 2003).

Dentre as espécies arbóreas produtoras de óleo, uma se destaca, o *Corymbia citriodora*, antigo *Eucalyptus citriodora*. O produto extraído de suas folhas é o citronelal, de importância na indústria de perfumaria em geral, e de interesse tanto no mercado doméstico quanto no internacional.

Os óleos essenciais provenientes do eucalipto ocorrem principalmente nas folhas, onde são produzidos em pequenas cavidades globulares, chamadas glândulas. A origem biossintética dos óleos essenciais de eucalipto relaciona-se com seu metabolismo secundário, que não é considerado como fundamental para manutenção da vida do organismo, porém, confere às plantas capacidade de adaptação às condições do meio em que vivem (VIEIRA, 2004).

O óleo essencial contido nas folhas é um produto utilizado para a aromatização de ambientes e produção de desinfetantes, detergentes, sabões, mascarantes industriais, ceras, saponáceos, pedra sanitária e como matéria-prima para a indústria de perfumaria, sendo que algumas espécies de eucaliptos têm óleo com ação repelente de inseto e antimicrobiana (BATISH et al.2008; SILVA et al. 2009).

A composição química do óleo de *Corymbia citriodora* é constituída, principalmente, por citronelal, um monoterpênóide, que é o principal componente na mistura dos compostos químicos que dão origem ao óleo essencial e corresponde a aproximadamente 75% do óleo que é constituído por mais de 20 componentes voláteis (BATISH et al. 2006; SILVA et al. 2009), possuindo também propriedades de repelência contra insetos.

No caso dos eucaliptos, especificamente, as referências são as de que a ocorrência do óleo essencial estaria relacionada com a defesa da planta contra insetos, resistência ao frio quando no estágio de plântulas, ao efeito alelopático e a redução de perda de água, resultados estes que dependem ainda da realização de estudos mais comprobatórios (DORAN, 1991; VITTI e BRITO, 2003; VIEIRA, 2004).

2.7. Classificação dos óleos essenciais do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*

Entre as aproximadamente 600 espécies de eucaliptos descritas, pouco mais de 200 foram examinadas em relação a produção e ao teor de óleo essencial, e

menos de 20 têm sido citadas como usadas na exploração comercial (PENDOLF e WILLIS, 1961; LASSAK, 1988 e DORAN, 1991).

Os óleos essenciais de eucalipto estão divididos em três grupos básicos (Tabela 1) que se correlacionam com seu uso final: óleos destinados a produtos medicinais; óleos industriais e óleos de perfumaria (VIEIRA, 2004).

Os óleos essenciais podem ser classificados com bases em diferentes critérios, como: consistência (viscosidade), origem e natureza química dos componentes majoritários (BRAGA, 2002).

Tabela 1. Classificação de óleos essenciais extraídos de espécies de gênero *Eucalyptus spp.* e *Corymbia spp.*

Espécies	Componente principal		Rendimento
Óleos medicinais	Nome	Teor (%)	(%)*
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Cineol	80-90	0,3-2,8
<i>Eucalyptus cneorifolia</i>	Cineol	40-90	2,0
<i>Eucalyptus dives</i> (var cineol)	Cineol	60-75	3,0-6,0
<i>Eucalyptus dumosa</i>	Cineol	33-70	1,0-2,0
<i>Eucalyptus elaeophara</i>	Cineol	60-80	1,5-2,5
<i>Eucalyptus globulus</i>	Cineol	60-85	0,7-2,4
<i>Eucalyptus leucoxyton</i>	Cineol	65-75	0,8-2,5
<i>Eucalyptus oleosa</i>	Cineol	45-52	1,0-2,1
<i>Eucalyptus polybractea</i>	Cineol	60-93	0,7-5,0
<i>Eucalyptus radiata</i> (var cineol)	Cineol	65-75	2,5-3,5
<i>Eucalyptus siredoxylon</i>	Cineol	65-75	0,5-2,5
<i>Eucalyptus smithii</i>	Cineol	70-80	1,0-2,2
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Cineol	45	0,9-1,0
<i>Eucalyptus viridis</i>	Cineol	70-80	1,0-1,5
Óleos industriais			
<i>E. dives</i> (var. <i>Felandreno</i>)	Felandreno	60-80	1,5-5,0
<i>E. dives</i> (var. <i>piperitona</i>)	Piperitona	40-56	3,0-6,5
<i>E. elata</i> (var. <i>piperitona</i>)	Piperitona	40-55	2,5-5,0
<i>E. radiata</i> (var <i>felandreno</i>)	Felandreno	35-40	3,0-4,5
Óleos para perfumaria			
<i>C. citriodora</i> (var <i>citronelal</i>)	Citronelal	65-80	0,5-2,0
<i>E. macarthurii</i>	A. de geranyl	60-70	0,2-1,0
<i>E. staigeriana</i>	Citral (a+b)	16-40	1,2-1,5

*Rendimento base de peso de folha fresca
 Fonte: Lassak (1988), Doran (1991)

2.8. Sistema silvicultural por talhadia

A maioria dos plantios destinados à produção de óleo essencial de eucalipto são realizados sob regime de manejo por talhadia, que consiste no corte raso da planta e na condução da brotação das cepas (VITTI e BRITO, 2003).

O sistema silvicultural de talhadia simples se caracteriza por ser aquele no qual, após o corte das árvores existentes numa floresta, as gemas dormentes ou adventícias dos tocos e/ou raízes que permaneceram na área se desenvolvem emitindo brotações que iniciam um novo ciclo florestal, sendo, portanto, aplicável apenas às espécies florestais que tenham capacidade de brotar após o corte raso (PANCEL, 1993 e STAPE, 1997).

A sua grande utilização se justifica, dentre outros, pelos seguintes aspectos: produção de madeira de pequenas a médias dimensões, simplicidade de execução do corte, dispensa a produção de mudas, preparo de solo e novo plantio, facilidade de planejamento da produção madeireira a curto e médio prazo, menores custos por volume de madeira produzido, e ciclos de cortes mais curtos com antecipação de retornos financeiros (LAMPRETTCH, 1990; EVANS, 1992 e STAPE, 1997).

Para que ocorra a brotação de forma adequada, devem-se considerar vários fatores, destacados por Stape (1997), como: genéticos, operacionais e ambientais. Acerca dos genéticos, o *Corymbia citriodora* apresenta boa capacidade de brotar devido às suas gemas e ao lignotúber. Em termos operacionais, os devidos cuidados começam na colheita, onde se deve deixar uma altura de toco de 10 a 15 cm, bem como tomar cautela para não ferir ou descascar o toco, prejudicando a brotação. Outro aspecto é a remoção de qualquer resíduo de cima das cepas, para que todas as brotações possam ser emitidas de forma adequada. Segundo Stape (1997), todos os tratos culturais empregados na reforma devem ser executados no sistema de talhadia simples, para garantir produtividade viável. Por fim, os aspectos ambientais devem ser levados em conta, pois tanto o regime térmico como hídrico influenciam no crescimento florestal.

2.9. Manejo do *Corymbia citriodora* para produção de óleo

O rendimento do óleo essencial está relacionado com as condições do solo, clima, época de colheita, idade da planta, teor de umidade da matéria-prima, método de destilação e procedência da planta (GALANTI, 1987; BRAGA et al., 2001).

Com a finalidade de produzir óleo, o manejo florestal desta espécie deve ser particularizado para produção maior de biomassa foliar, comparando com plantios convencionais que objetivam a produção de madeira.

Uma mudança importante é em relação ao tipo de espaçamento empregado, que em geral estabelece uma área útil por planta que varia entre 1 m² a 4,5 m², resultando em uma alta densidade de indivíduos por hectare. A partir disso, a colheita de folhas é realizada anualmente até chegar a uma idade onde as árvores atingem alturas que inviabiliza o procedimento de coleta. Essa idade varia em função das características de sítio, tratos silviculturais empregados e da espécie ou material genético utilizado. Normalmente a colheita de folhas se dá anualmente até o quarto ou quinto ano.

Ao fim da última coleta de folhas, a floresta apresenta diferentes destinos, como, por exemplo, madeira para carvão vegetal, moirões, serraria (no caso de desbastes) e outros.

2.10. Relação benefício/custo da aplicação do lodo de esgoto compostado

De acordo com Vera-Calderón e Ferreira (2004), uma das formas de se determinar a viabilidade econômica de um sistema de produção é através da análise de custos e receitas geradas pelo sistema produtivo.

Assim, custo de produção é um instrumento de planejamento e gestão que permite mensurar o sucesso de uma empresa, seja ela qual for seu esforço econômico (OLIVEIRA & VEGRO, 2004).

No caso deste experimento, o importante foi saber qual o tratamento que apresentou a melhor relação benefício/custo, de modo a atrelar esses dados aos resultados técnicos. Este tipo de avaliação é pontual, focando apenas no emprego dos diferentes tipos de adubação e doses, aplicação e os gastos mínimos de manutenção silvicultural ao longo da rotação. Ressalta-se que esta é uma avaliação acessória, não fazendo parte do escopo inicial do projeto, porém de grande importância, principalmente no que tange os critérios de produção.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência do composto de lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí como fornecedor de nutrientes para *Corymbia citriodora*. Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito do composto de lodo de esgoto na produção de massa foliar de *Corymbia citriodora*;
- Avaliar o possível aumento dos teores de macro e micronutrientes em folhas de *Corymbia citriodora*, após a aplicação do composto de lodo de esgoto ao longo do projeto (1 ano de avaliação);
- Avaliar o efeito na fertilidade do solo após a aplicação do composto de lodo de esgoto;
- Avaliar a produção e a qualidade de óleo essencial extraído das folhas das árvores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área experimental

O experimento foi instalado no município de Santa Maria da Serra, centro do Estado de São Paulo. O município tem classificação climática pelo método de Köppen como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais quente superior a 23 °C e do mês mais frio inferior a 17°C. A área pertence a empresa Essence Flora S/A, cujo foco é a produção de óleo essencial proveniente de *Corymbia citriodora*.

A floresta foi implantada no início de 2006 e o término desta rotação em 2010. Em outubro de 2010 procedeu-se o corte raso do povoamento para que se desse início o manejo de talhadia, onde consiste em conduzir os brotos que emergem das cepas. Não houve fertilização ou calagem durante o período de crescimento da floresta na sua primeira rotação (2006-2010) e, no que diz respeito a tratos siviculturais, houve apenas o controle da matocompetição e de formigas cortadeiras durante o primeiro ano (2006).

O experimento foi instalado no início da segunda semana de dezembro de 2010 (09/12/2010), e já se constatava a presença de brotos nos tocos. Esse

fato é necessário para a alocação, já que se nota as falhas de brotações e se escolhe a melhor área dentro do talhão.

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, plano e pobre quimicamente (Tabela 2). Sua análise granulométrica está apresentada na Tabela 3.



Figura 1. Vista geral da área do experimento (Instalação-Dezembro de 2010).

Tabela 2. Análise química completa de solo por ocasião da instalação.

pH	MO	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	mmolc/dm ³					mg/dm ³			
4	17	4	11	46	1,3	5	4	11	57	20	4
B			Cu		Fe		Mn		Zn		
0,13			0,8		201		1,5		0,2		

Tabela 3. Análise granulométrica do solo por ocasião da instalação do experimento.

Areia			Argila	Textura
Grossa	Fina	Total		
(g/Kg)				
592	280	872	128	Arenosa

O experimento foi alocado ao centro do talhão, distante da estrada para evitar qualquer tipo de efeito de borda ou qualquer tipo de contaminação.

Antes da instalação do experimento foi feita a amostragem do solo obtendo-se 4 amostras compostas a partir de 10 subamostras simples na camada de 0 a 20 centímetros de profundidade. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 40 °C e, após secas, foram peneiradas em peneira de 2 mm e analisadas quimicamente, em relação ao pH CaCl₂ 0,01mol L⁻¹, matéria orgânica, fósforo (extrator de resina), cálcio, magnésio e potássio trocáveis, acidez total (H+Al) e micronutrientes com DTPA, de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

O lodo é proveniente da estação de tratamento do município de Jundiaí- SP, e é caracterizado como material compostado. O material foi gerado a partir de lagoas aeradas de mistura completa, seguidas de lagoas de decantação, depois processo de floculação com polímeros catiônicos seguidos de centrifugação e secagem em pátio com revolvimento mecânico. A empresa forneceu as características químicas e físicas do material (Tabela 4).

Tabela 4. Análise do composto de lodo de esgoto utilizado.

Parâmetro	Unidade (1)	Valores
pH (em água 1:10)	-	7,7
Umidade, a 60-60°C	% (m/m)	48,3
Carbono Orgânico	g de C/Kg	205
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/Kg	17,1
Nitrogênio Amoniacal	mg de N/Kg	1678
Nitrogênio Nitrato-Nitrito	mg de N/Kg	43,8
Alumínio	mg de Al/Kg	16610
Relação C/N	g/g	12:1
Boro	mg de B/Kg	15
Cádmio	mg de Cd/Kg	4,0
Cálcio	g de Ca/Kg	25,3
Chumbo	mg de Pb/Kg	61,2
Cobre	mg de Cu/Kg	192
Enxofre	g de S/Kg	24,3
Ferro	mg de Fe/Kg	19527
Fósforo	g de P/Kg	5,8
Magnésio	g de Mg/Kg	3,1
Manganês	mg de Mn/Kg	211
Níquel	mg de Ni/Kg	36,8
Zinco	mg de Zn/Kg	1488
Sódio	mg de Na/Kg	4042
Bário	mg de Ba/Kg	400
CTC	mmolc/Kg	315

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

(2) Valores totais

Seu processo de compostagem envolve o lodo cru misturado com material orgânico, como poda urbana, palha e outros. Esse processo é essencial para que o material contenha as concentrações adequadas de metais pesados, além de melhorar características físicas do material e diminuir drasticamente microorganismos patógenos e outros. As doses de lodo propostas para o experimento não foram elaboradas levando apenas em consideração aspectos técnicos, mas também, respeitando as concentrações de metais pesados que seriam aplicadas no solo pela lei que regulamenta seu uso do material. Portanto, a análise de todos os metais pesados e nutrientes foi feita apenas antes da aplicação.

4.2. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos completos ao acaso, contendo 8 tratamentos e 4 repetições, num total de 32 parcelas. Os resultados foram analisados pelo pacote estatístico R. Cada parcela foi constituída por 63 plantas, em espaçamento de 3,0 metros entre linhas e de 1,0 m entre plantas; deste modo, a parcela apresentou uma área total de 108 m² e área útil de 75 m², sendo que o experimento teve uma área total de 3456 m². A área útil é constituída pelas 25 plantas centrais. Todas as parcelas apresentaram a mesma distribuição e quantidades de mudas quando plantadas em 2006.

Os tratamentos utilizados no experimento foram:

- 1- Testemunha absoluta: sem aplicação de qualquer tipo de fertilizante ou composto de lodo;
- 2- Adubação mineral: conforme cálculo baseado no boletim 100.
- 3- Suplementação com K e B;
- 4- 2,5 Mg ha⁻¹ de composto lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K e B;
- 5- 5,0 Mg ha⁻¹ de composto lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K e B;
- 6- 10,0 Mg ha⁻¹ de composto lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K e B;
- 7- 15,0 Mg ha⁻¹ de composto lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K e B;
- 8- 20,0 Mg ha⁻¹ de composto lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K e B.

4.3. Tratos silviculturais

Após a colheita florestal realizada em sistema mecanizado, com o uso de motosserra, a quantidade de resíduos no piso florestal era expressiva, representada por galhos de variados tamanhos e espessura, e cascas, pois toda a madeira colhida foi descascada, processada em toretes e empilhada em campo. Portanto, o primeiro passo foi remover os resíduos que permaneciam em cima dos tocos, pois é imprescindível para uma brotação de qualidade. Essa limpeza também foi feita de forma a remover os resíduos em uma faixa de 1 metro de cada lado da linha de plantio, para favorecer a aplicação e incorporação dos fertilizantes e do composto de lodo de esgoto.

Tanto antes da instalação, quanto durante toda a condução do experimento, foi feito controle das formigas cortadeiras com isca a base de Sulfluramida em área total e também de forma localizada nos olheiros. A cada quinze dias foi realizado o monitoramento tanto na área útil quanto ao redor do experimento, em uma faixa de 30 metros, em busca de olheiros ativos. O monitoramento quinzenal também consistia na varredura de toda área experimental para observar se o plantio estava sofrendo de ataques de pragas, doenças ou apresentando desordens de caráter nutricional.

O controle da matocompetição foi realizado quatro vezes durante o horizonte de avaliação do experimento (12 meses), porém é válido ressaltar que após o quarto mês a incidência de luminosidade no piso florestal era mínima, impedindo o desenvolvimento de plantas daninhas. As três primeiras atividades de controle foram feitas durante os três primeiros meses, sendo uma anterior a instalação, de modo mecânico, e a última no quarto mês, por meio de herbicida pós-emergente *Glyphosate*, já que a base das plantas se encontrava em uma altura que possibilitou a operação.

4.4. Aplicação do composto de lodo de esgoto e dos fertilizantes químicos

O lodo foi aplicado em faixas de 50 centímetros de largura a uma distância de 30 centímetros dos tocos nos dois lados da planta, de forma contínua. Toda aplicação do composto foi feita dessa forma com o intuito de abranger uma área maior de alcance das raízes, pois como as árvores apresentam sistema radicular já estabelecido, esse tipo de aplicação se fez indispensável. Potássio e boro utilizados para complementar o resíduo foram aplicados posteriormente, em cobertura, em faixas de 50 cm de extensão paralelo às plantas, e posteriormente incorporados junto com o lodo a uma profundidade de cerca de 10 centímetros (Figura2).

As quantidades de nutrientes aplicados na adubação química e nos tratamentos com lodo são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5. Quantidades de nutrientes aplicados (teores totais em Kg ha⁻¹) nos tratamentos.

Tratamentos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Zn
-----Kg ha ⁻¹ -----								
Ad. Química	80	80	60	240	93	16	2	3
K+B	0	0	60	0	0	0	2	0
2,5	43	35	60	63	8	61	2	3,7
5	86	69	60	127	16	122	2	7,4
10	171	137	60	253	31	243	2	14,9
15	257	206	60	380	47	365	2	22,3
20	342	275	60	506	62	486	2	29,8

A adubação química seguiu o mesmo procedimento usado para os fertilizantes que complementaram o composto de lodo (potássio e boro) quanto ao local aplicado, diferindo no fato de que a adubação de base foi feita em um sulco e coberto com solo por questão da dinâmica de nutrientes de baixa ou nula percolação no perfil do solo, como o caso do zinco e fósforo, por exemplo, (Figura 2).

**Figura 2.** Adubação química (a) e com composto de lodo (b) na dose de 20 Mg ha⁻¹.

No programa de adubação, duas adubações de cobertura foram realizadas, com 1/3 do potássio total aplicado em cada, sendo a primeira após três meses da implantação e a segunda no quinto mês, Fevereiro e Abril, respectivamente, para abranger o período chuvoso. O adubo também foi aplicado nos dois lados da planta em proporções iguais, em faixas de 50 cm, sem incorporar.

4.5. Avaliação de altura e diâmetro de copa

A cada três meses foram mensurados a altura das árvores com régua graduada, bem como o diâmetro de copa com o auxílio de uma trena. Este último consistiu em medir o diâmetro médio da copa, a partir da medição dos comprimentos dos brotos representativos dos quatro pontos cardeais da planta, para então resultar na média entre eles. O dado produzido por essa variável é importante, pois copas maiores podem produzir maior massa de folha e, conseqüentemente, de óleo.



Figura 3. Medição da altura total do broto superior aos 6 meses após instalação.

4.6. Análise do solo, folhas e clorofila

Além da análise prévia à instalação, o solo foi coletado aos 6 e 12 meses para verificar o efeito dos fertilizantes/composto de lodo; por isso, amostrou-se nas faixas onde foram aplicados os mesmos. Foram coletados com um trado a uma profundidade de 20 centímetros, 12 pontos por parcela, constituindo 4 amostras compostas por parcela e, conseqüentemente, 4 amostras por tratamento.

Coletaram-se folhas dos quatro pontos cardeais da árvore no terço superior, priorizando as recém-maduras sem qualquer tipo de injúria. A análise foi feita aos

3, 6, 9 e 12 meses após a instalação do experimento para se observar a quantidade e absorção dos nutrientes ao longo do tempo e também verificar o fenômeno da diluição dos mesmos. A análise química de nutrientes nas folhas foi feita amostrando 10 plantas representativas por parcela.

As folhas foram submetidas à lavagem com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60–70° C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. A quantidade acumulada de macronutrientes e micronutrientes foi avaliada segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Para a análise de clorofila das folhas (Índice de Cor Verde - ICV), foi utilizado o clorofilômetro o Minolta, modelo SPAD-502-8. Foram escolhidas 8 das 10 plantas para análise foliar, devidamente marcadas, para poder comparar os dados da análise química com o teor de clorofila. Amostraram-se folhas dos quatro pontos cardeais da planta no terço superior obedecendo aos mesmos critérios de escolha que foram utilizados para análise química. Como o aparelho mede o quão verde está a folha, para que a luz solar não interfira na medição, as mensurações foram feitas antes das 9 horas da manhã.

Aos 12 meses, foram colhidas todas as folhas das árvores do terço médio e inferior, conforme os procedimentos adotados na empresa, e feita a pesagem em campo logo após a colheita (biomassa verde). Para quantificar o acúmulo de nutrientes, utilizaram-se os valores obtidos da análise foliar aos 12 meses de idade e multiplicou-se pela massa média das repetições, resultando a quantidade total de cada nutriente por tratamento.

4.7. Massa foliar

Ao fim da rotação, coletaram-se as folhas das 25 árvores úteis de todas as 32 parcelas para mensurar a massa. Como é o procedimento usual da empresa e relatado na literatura, removeu-se 2/3 da copa da árvore, o terço inferior e terço médio, deixando o terço superior para que ocorra a continuidade da produção foliar e não prejudicar o crescimento das árvores.

A coleta foi realizada pelos funcionários da empresa, o que garantiu eficiência e homogeneidade na operação. Logo que colhidas eram feitas pilhas e prontamente pesadas em uma balança (precisão de 100 gramas) que foi colocada em

campo, para que não ocorresse a perda de água, o que interferiria diretamente na massa verde das folhas.

4.7.1. Medição de área foliar total

Coletou-se 100 gramas de folhas do terço médio das árvores com o auxílio de uma tesoura de poda no período da manhã, as quais foram acondicionadas em sacos de papel. As folhas foram coletadas em cinco árvores por parcela formando uma amostra composta por parcela, resultando em quatro amostras por tratamento, e, logo após a coleta, as mesmas foram transportadas para a Faculdade de Ciências Agrônômicas, pertencente à Universidade Estadual Paulista (Campus de Botucatu), para medição da área foliar.

O equipamento utilizado para medir a área foliar total foi o LI-1300C, devido à sua praticidade. Após a medição de cada tratamento, considerou-se a média entre os mesmos para representar a área foliar de cada tratamento.

4.8. Avaliação do rendimento do óleo e teor de citronelal

Realizou-se a hidrodestilação do material coletado através do processo de arraste do óleo com vapor d'água. Foi utilizado o destilador Clevenger MA 553, volume nominal de 2 litros, onde se colocou 50 gramas de folha e 1 litro de água destilada, sendo o processo conduzido por uma hora a partir do início da fervura. Após a obtenção do óleo foi feita sua pesagem com o intuito de avaliar o rendimento comparado com a massa de folhas (MAFFEIS et al., 2000).

Para teor de Citronelal foi realizada análise cromatográfica gasosa em amostras de 0,5 μ L, usando coluna capilar carbowax 20Me *flame ionization detector* (FID), conforme metodologia descrita por Maffeis et al. (2000).

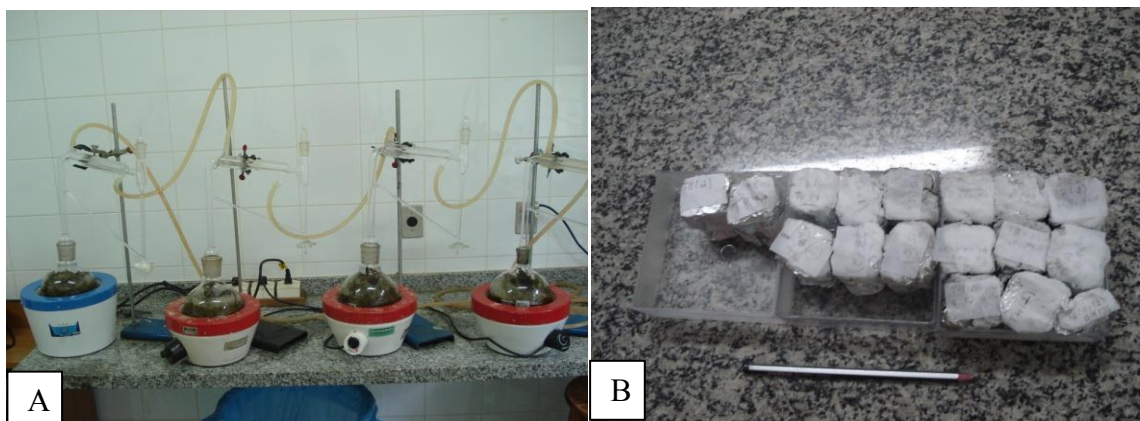


Figura 4. Hidrodestilação das folhas de *Corymbia citriodora* (A), e acondicionamento das amostras para análise cromatográfica (B).

4.9. Avaliação da relação benefício/custo

Para se determinar qual foi o manejo nutricional mais rentável economicamente, adotou-se a análise da razão benefício/custo. Nesse caso, benefício é todo o lucro obtido pela venda do óleo essencial produzido em 1 hectare no preço proposto pela empresa, e os custos são todos os dispêndios necessários para manejar 1 hectare durante a rotação de produção. Nesta análise, alguns tipos de custos que são iguais para todos os tratamentos, como por exemplo, o valor da terra, não foram contabilizados, com o objetivo de abreviar a análise sem que a mesma não sofresse prejuízo do rigor técnico.

Nesta análise, os preços dos fertilizantes químicos, isca formicida, herbicida, foram fornecidos pela empresa Essence Flora, que é a mantenedora da floresta, e os dados sobre o composto de lodo e frete foram fornecidos pela empresa Biossolo Agricultura e Ambiente Ltda, que presta serviços para aplicação deste produto. Para custos relativos ao composto nas doses propostas pelo experimento, foi empregado o cálculo da capacidade operacional do equipamento Jumil Bertanha TTD com capacidade de 12 m³ de carga, e simulou-se esta aplicação para 1 hectare conforme dados obtidos no Agriannual (AGRIANUAL, 2012).

Como se tratou de um manejo silvicultural em talhadia, os gastos para implantação da floresta e aquisição de mudas não foram contabilizados. Os dispêndios que compuseram a relação benefício/custo foram os preços e aplicação de: herbicida pós-emergente (a base de *Gliphosate*), fertilizantes químicos, isca formicida, composto de lodo de esgoto, bem como o frete para a compra dos mesmos. Todos os custos foram dimensionados para 1 ha, porém, obviamente a empresa adquire quantidades que atendam

a demanda da área a ser manejada, o que torna os gastos globais mais baixos. Também não foi computada a compra de um trator específico para aplicação do composto, pois a empresa dispõe de um implemento agrícola que comporta a aplicação do referido produto.

A dose da fertilização química bem como os tipos de adubos utilizados e gastos de aplicação estão expressos na Tabela 6. Deve-se lembrar de que a empresa forneceu valores referentes à compra de 1 tonelada de cada tipo de fertilizante, mas esse valor foi redimensionado para a compra de apenas a quantidade utilizada em 1 ha, ou seja, na aquisição de quantidades maiores dos adubos para atender às necessidades de uma empresa, pode-se obter economia de preço dos insumos (Tabela 6).

Tabela 6. Descrição dos custos referentes à adubação química para 1 ha.

Fertilizantes	Quantidade (Kg ha ⁻¹)	Preço + Frete ha ⁻¹ (R\$)
Adubo (6-30-6)	532	663,00
Adubo (20-00-20)	320	390,00
Calagem	1145	99,00
FTE BR 12 (Micro)	170	230,00
Aplicação dos adubos	-	90,00
Controle formiga/Capina química	-	70,00*
Total	-	1542,00

* Custo referente à aplicação sistemática e localizada de isca formicida granulada e de aplicação de herbicida pós-emergente à base de *glyphosate*, ambos em 1 ha.

No caso da aplicação do composto de lodo de esgoto, além dos gastos inerentes da aquisição, frete e aplicação do produto, foi acrescentado o gasto com a compra dos fertilizantes simples (bórx e cloreto de potássio), utilizados para a complementação (Tabela 7). Para dados operacionais de aplicação foi utilizado como referência o manual Agriannual (AGRIANUAL, 2012), o que é comumente consultado para adquirir dados de capacidade operacional em campo, considerando aplicação em área plana, a qual foi a situação real do experimento.

Segundo os dados fornecidos pela Biossola Agricultura e Ambiente Ltda, o custo do frete para raio de distância de 180 a 200 km é de R\$ 45,00 por viagem. Devido à densidade do produto, que é de 650 Kg m⁻³, para um composto de lodo com umidade habitual de 35%, é possível transportar em uma só viagem até 25 toneladas através de carretas com 5 eixos, e isso atende à demanda de todas as dosagens utilizadas no experimento.

Tabela 7. Valores relativos aos custos globais de todos os tratamentos para 1 ha.

Tratamentos	Preço + Frete (R\$)/ha	K+B (R\$)/ha	Aplicação (R\$)/ha	Tratos (R\$)/ha	Total* (R\$)/ha
Testemuha	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00
Ad. química	-	-	-	-	1542,00**
0 Mg ha ⁻¹ de composto	0,00	20,00	25,00	70,00	115,00
2,5 Mg ha ⁻¹ de composto	95,00	20,00	34,00	70,00	219,00
5,0 Mg ha ⁻¹ de composto	145,00	20,00	34,00	70,00	269,00
10,0 Mg ha ⁻¹ de composto	245,00	20,00	34,00	70,00	369,00
15,0 Mg ha ⁻¹ de composto	345,00	20,00	34,00	70,00	469,00
20,0 Mg ha ⁻¹ de composto	445,00	20,00	34,00	70,00	569,00

*Custo total de cada tratamento referente aos tratos culturais, compra dos insumos e aplicação dos mesmos em 1 ha de floresta, no sistema de talhadia.

**A estrutura de custos da adubação química está detalhada na tabela 6, não sendo inserida nesta tabela.

A receita proveniente deste tipo de manejo é, principalmente, com a venda do óleo essencial dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado. O produto é vendido tanto no mercado interno quanto no externo, porém, como se trabalhou com médias gerais nos custos de produção, também se optou por utilizar um valor médio de venda, na época em que se levantaram todos os gastos, que se deu no ano de 2012, após o término do experimento. Nesse contexto, o valor do Kg do óleo essencial de *Corymbia citriodora* para venda foi cotado em R\$ 30,00.

De posse dos dados de custo de todos os tratamentos, procedeu-se a aplicação da fórmula de custo benefício (BERGER, 1980), conforme demonstrado abaixo de maneira simplificada.

$$\text{Relação Benefício/Custo} = \frac{\sum R_j}{\sum C_j}$$

Onde:

$\sum R_j$: Receitas oriundas do projeto no ano j

$\sum C_j$: Custo do projeto no ano j

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Biometria

A Tabela 8 apresenta a variação de altura das plantas em função da idade e dos tratamentos. A diferenciação entre os tratamentos iniciou-se a partir do mês de setembro (nove meses após a instalação), porém a diferença estatística ocorreu apenas no último mês mensurado.

Tabela 8. Altura (m) ao longo do período de avaliação.

Tratamentos	Período de Avaliação - Altura (m)				
	Instalação	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Testemunha	1,30	3,34	4,45	4,66	4,74b
Ad. Química	1,33	3,48	4,54	4,92	5,46a
K+B	1,34	3,58	4,63	4,97	5,16a
2,5+ K+B	1,37	3,47	4,47	4,97	5,15ab
5,0+ K+B	1,33	3,41	4,59	5,04	5,20a
10,0+ K+B	1,30	3,55	4,62	5,11	5,44a
15,0+ K+B	1,53	3,54	4,61	4,90	5,33a
20,0 + K+B	1,28	3,42	4,52	4,93	5,30a
Teste F	0,7	1,2	0,5	1,6	6,7
CV(%)	15,92	4,83	3,53	3,78	2,51*

*Significativo a 5%; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

A testemunha apresentou a menor altura, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos aos doze meses de idade, sendo esse fato relevante, pois como o objetivo da floresta é a produção de óleo pelas folhas, a altura é uma variável que impacta na biomassa foliar, pois é um indicativo do volume da copa. A amplitude entre a maior e menor média foi de 0,72 m, podendo ser considerada expressiva devido aos motivos já comentados (Tabela 6).

Trabalhando com *Corymbia citriodora* em vasos com adubação de lodo de esgoto, Pérez et al. (2011) obtiveram melhores resultados em altura, diâmetro de colo, número de folhas e massa seca aérea com doses de 30 e 40 Mg ha⁻¹ base seca em relação a adubação química. Apesar de o experimento ter sido realizado em condições de casa de vegetação e não trabalhar com brotações, os resultados foram semelhantes ao deste experimento no que se diz respeito a incremento em altura, a partir da adubação com lodo de esgoto em doses elevadas. Ressalta-se que em vaso o lodo foi incorporado ao solo e isso propicia um contato mais íntimo com o sistema radicular, propiciando um “arranque” maior nos tratamentos de melhor desempenho. Em campo esse processo é mais lento, devido ao fato de que o sistema radicular depende inicialmente de fertilização para arranque inicial do que mudas recém-plantadas.

Avaliando caracteres silviculturais e de produção de óleo de progênies de *Corymbia citriodora* em plantio de primeira rotação, Vieira (2004) obteve altura média de árvores de 3,89 m aos 11 meses de idade. O autor não trabalhou com doses de nenhum resíduo nem de fertilizantes químicos, porém a floresta foi fertilizada com adubação química usual apenas no plantio com superfosfato triplo (45% de P₂O₅) em sulco, e na dosagem de 110 Kg ha⁻¹, em espaçamento 3x2m. Em um comparativo com a adubação química realizada neste trabalho, nota-se que a média da altura do broto dominante foi maior (5,46 m, aos 12 meses). Isso pode ter sido proporcionado, pelo fato de se ter trabalhado com brotações, que num primeiro instante apresenta crescimento mais vigoroso sustentado por um sistema radicular já estabelecido. O fato comprobatório da afirmação anterior é a análise da testemunha deste experimento, que já aos nove meses de avaliação apresentava média de altura de 4,66 m, superior aos dados de Vieira (2004).

Silva et al. (2008), trabalhando com lodo úmido e seco em plantio seminal de *Eucalyptus grandis*, verificaram aumento significativo de altura e volume de madeira em parcelas adubadas com 5 Mg ha⁻¹ e 10 Mg ha⁻¹ de lodo em relação a testemunha sem qualquer tipo de fertilização, e em igualdade com tratamento químico convencional. Os

autores perceberam maior altura das plantas com fertilização química aos 4 meses de idade, devido a liberação imediata de nutrientes; porém, aos 18 meses, os tratamentos 5 Mg ha⁻¹ e 10 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto úmido e seco igualaram estatisticamente ao tratamento químico, diferindo tanto em altura quanto em volume de madeira às parcelas não fertilizadas, caso observado também neste experimento.

Tabela 9. Diâmetro de copa (m) ao longo do período de avaliação.

Tratamentos	Período de Avaliação- Diâmetro de Copa (m)				
	Instalação	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Testemunha	0,61	1,34bc	1,67d	2,56d	2,73e
Ad. Química	0,59	1,72a	2,40bc	2,99abcd	3,36bcd
K+B	0,55	1,12c	2,19c	2,79bcd	3,00cd
2,5+ K+B	0,61	1,34bc	2,3bc	2,63cd	3,01cd
5,0+ K+B	0,62	1,45abc	2,38bc	2,88abcd	3,22cd
10,0+ K+B	0,59	1,36bc	2,45ab	3,10ab	3,49abc
15,0+ K+B	0,66	1,44abc	2,53ab	3,08abc	3,71ab
20,0 + K+B	0,63	1,57ab	2,67a	3,27a	3,83a
Linear	ns	-	-	-	-
Quadrático	ns	0,73*	0,97**	0,93**	0,99**
Teste F	0,3	5,6	32	6,2	25
CV(%)	17,61	9,41	3,92	3,23	2,7

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

A diferença estatística entre os tratamentos apareceu aos três meses, sendo que o maior diâmetro foi encontrado no tratamento onde foi aplicada adubação química convencional, seguido da maior dose de lodo, com diferença pequena entre ambos (0,15m). Neste primeiro momento é difícil relatar se as doses influenciaram nesta diferenciação, porém ao longo da rotação, ficou evidente a influência dos tratamentos.

Aos seis meses, houve diferença tanto para as doses quanto para comparação múltipla. Quanto às doses, verificou-se aumento da variável conforme se aumentava a dose do resíduo (Figura 5). O coeficiente de variação, de modo geral foi muito baixo, em se tratando de um experimento em campo e com um material genético seminal não melhorado geneticamente.

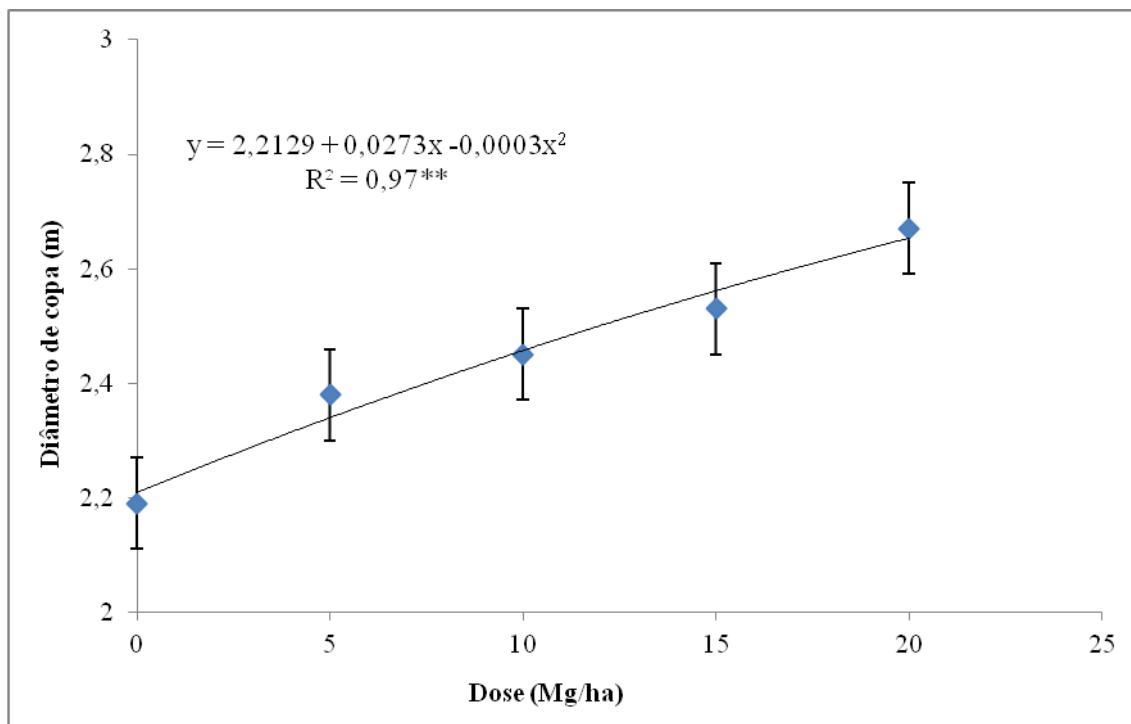


Figura 5. Curva de regressão para diâmetro de copa aos 6 meses após a instalação.

Aos nove meses houve uma diferenciação um pouco mais acentuada das médias, tanto no teste Tukey quanto na regressão das doses, sendo que no tratamento onde se aplicou mais composto de lodo de esgoto obteve-se o maior diâmetro de copa, 3,27 m, seguido do tratamento com 10,0 Mg ha⁻¹ (3,10 m de diâmetro, Tabela 7). A testemunha representou o pior resultado, 0,71 m a menos do que o tratamento dominante, repetindo o comportamento em avaliações anteriores.

Ao término do experimento (12 meses), as doses refletiram o mesmo comportamento da curva, porém neste caso, houve uma tendência de estabilização, provavelmente porque já ocorria significativa competição entre as árvores por espaço, principalmente na linha de plantio, (Figura 6).

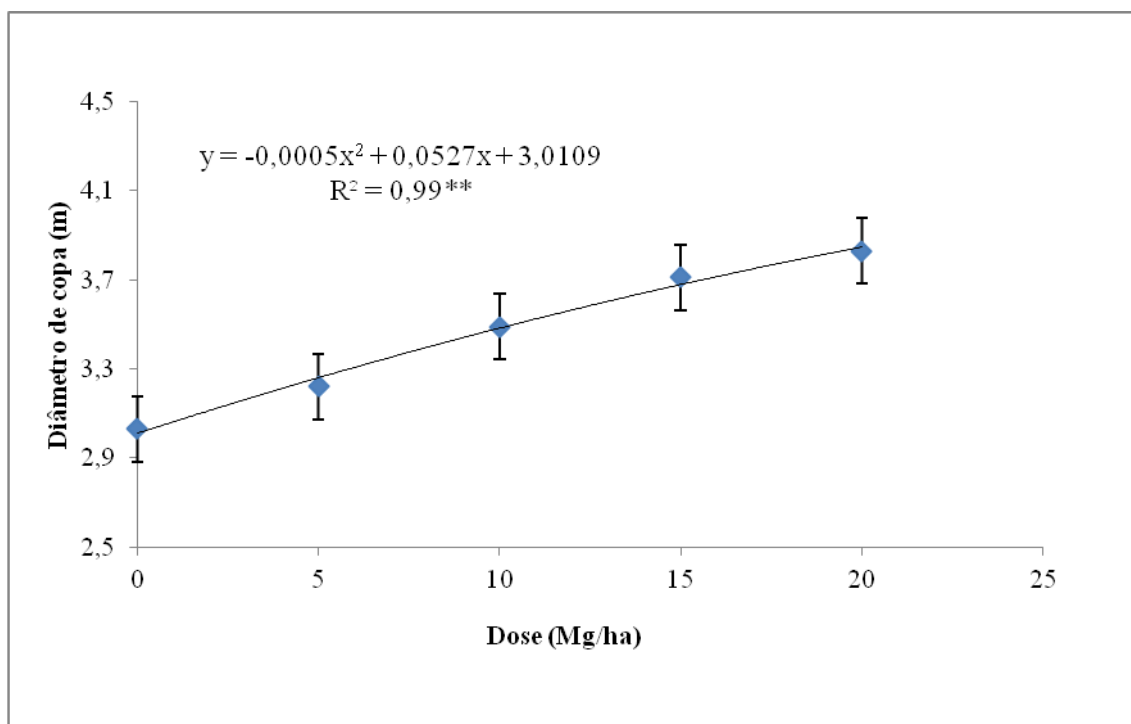


Figura 6. Curva de regressão para diâmetro de copa aos 12 meses após a instalação.

A testemunha resultou tanto na menor altura quanto no menor diâmetro de copa, permitindo afirmar que a ausência de fertilização resultou em parâmetros biométricos menores que os demais, onde houve aplicação de adubos. Como o objetivo do plantio é a produção de folhas, pode-se inferir que alturas menores com diâmetros de copa reduzidos, tendem a produzir menor quantidade de folhas.

Destacam-se os tratamentos onde foi aplicado 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹ de composto lodo, os quais resultaram em valores próximos ou até superiores, no caso de 20 Mg ha⁻¹, à adubação química, concluindo-se que o resíduo atende a demanda de nutrientes da floresta em equivalência à fertilização química utilizada pelas empresas se complementado com potássio e boro.

5.2. Índice de cor verde (ICV)

Quanto ao ICV, não houve diferença significativa entre as doses de composto de lodo qualquer que seja o período de avaliação (Tabela 10). Isso revela que mesmo aumentando a concentração de composto lodo, e conseqüentemente, do teor de nitrogênio, não houve aumento na intensidade de coloração verde nas folhas, sem contemplar adubação química e testemunha.

Tabela 10. Índice de cor verde ao longo do período de avaliação.

Tratamentos	Índice de Cor Verde - ICV				
	Instalação	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Testemunha	36,18	42,68	41,00b	41,15	40,41b
Ad. Química	36,73	46,18	43,77ab	40,83	43,30a
K+B	39,08	43,08	42,55ab	41,53	41,20ab
2,5+ K+B	36,13	41,63	43,22ab	41,58	41,50ab
5,0+ K+B	36,88	41,85	42,97ab	41,03	41,60ab
10,0+ K+B	39,23	43,95	43,3ab	42,48	42,90ab
15,0+ K+B	38,75	43,70	43,6ab	41,45	42,42ab
20,0 + K+B	37,95	43,05	45,35a	42,38	42,80ab
Teste F	0,8	1,9	2,6	0,5	2,8
CV(%)	8,61	4,17	3,11*	3,65	3,05*

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significante; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

Entretanto, na comparação entre todos os tratamentos, percebe-se diferença estatística em duas épocas, aos seis e doze meses. Aos seis meses, apenas o tratamento com maior dose de composto (20 Mg ha⁻¹) foi superior a testemunha, enquanto que aos doze meses apenas a adubação química superou estatisticamente a testemunha.

As doses de lodo, aos doze meses, foram numericamente similares ao melhor tratamento (fertilização química). Esse fato deve ser considerado, pois como resíduos orgânicos possuem a propriedade de liberar lentamente elementos às plantas, como por exemplo, o nitrogênio, pode ocorrer uma mineralização eficiente na segunda rotação, refletindo em índices equivalentes ou maiores de cor verde em relação ao primeiro ano, ressalvando que fertilização química não possui essa capacidade de mineralização gradual de seus nutrientes como ocorre com o resíduo abordado. Assim, como nas variáveis já analisadas, a testemunha representou o comportamento menos interessante.

Trabalhando em vaso com *Corymbia citriodora*, variando doses de Mg e B, Fávoro et al. (2011) evidenciaram para ambos nutrientes na concentração de clorofila e a partir de doses altas ocorreu diminuição no teor, ou seja, parâmetros nutricionais influenciam na condição fisiológica das plantas.

Duarte (2007), conduzindo experimento em vaso com *Corymbia citriodora* relatou aumento de clorofila, mensurado indiretamente com clorofilômetro, com a aplicação de doses de composto homeopático em mudas, o que confirma que compostos

que fornecem nutrientes ou substâncias desejáveis afetam o teor de clorofila nas plantas, reflexo do índice de cor verde nas folhas.

Trigueiro e Guerrini (2003), testando lodo de esgoto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, observaram um maior valor no teor de clorofila (ICV) em plantas que cresceram em substratos com a aplicação do resíduo em relação à testemunha (substrato convencional). Esse fato foi explicado pelo fornecimento de nitrogênio presente no lodo de esgoto, aumentando a produção de clorofila e melhorando o status nutricional e fisiológico das mudas.

5.3. Área foliar total e massa verde de folhas

Embora não tenha ocorrido diferença estatística entre os tratamentos, é notório que a adubação química, bem como as doses de 15,0 e 20,0 Mg ha⁻¹ de composto de lodo, apresentaram valores acima dos outros tratamentos, sendo respectivamente 57, 56 e 38% à testemunha, ratificando a necessidade da fertilização em florestas nesse sistema de manejo (Tabela 11).

Tabela 11. Área foliar total (AFT) de árvores individuais e por hectare (m²) ao término do experimento (12 meses).

Tratamentos	Área Foliar	
	m ² planta ⁻¹	m ² ha ⁻¹
Testemunha	7,3 a	24384 a
Ad. Química	11,5a	38283 a
K+B	8,6 a	28811 a
2,5+ K+B	8,3 a	27711 a
5,0+ K+B	8,1 a	27054 a
10,0+ K+B	8,7 a	28947 a
15,0+ K+B	11,4 a	38081 a
20,0 + K+B	10,1 a	33729 a
Teste F	1,5	1,5
CV(%)	27,4	27,4

*letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

O tratamento químico apresentou melhor resultado, porém, apenas com 0,1m² a mais do que a dose de 15,0 mg ha⁻¹ e 1,4 m² do que a maior dose de lodo de esgoto compostado. Vale ressaltar que o tratamento onde se aplicou 15,0 mg ha⁻¹

apresentou destaque nesta avaliação, praticamente equivalente ao melhor tratamento, fato que não ocorreu com a mesma intensidade no tratamento de maior dose do resíduo. A testemunha sem fertilização apresentou o pior resultado, confirmando que a ausência de adubação resulta em crescimento menor dos parâmetros biométricos.

Ao comparar com outros trabalhos, deve-se atentar ao fato de que este é um plantio manejado por talhadia, onde não houve a desbrota nos tocos, e, portanto, tanto a área foliar como a produção em massa de folhas tende a ser maior nesse sistema silvicultural. Como o objetivo da floresta é a produção de folhas, deixa-se nesse tipo de manejo a emissão total de brotos, sem selecionar os dominantes.

Em experimento com *Corymbia citriodora* em vasos com doses de bio-sólido e dois tipos de aplicação (superficial e incorporado), Freier et al. (2007) não observaram diferença estatística para área foliar sob diferentes doses do resíduo; porém quanto ao modo de aplicação, quando aplicado em superfície, a área foliar foi maior do que quando incorporado, e esse aspecto também se verificou para parâmetros biométricos, como por exemplo, massa seca da parte aérea.

Pérez et al. (2011) verificaram aumento de área foliar em *Corymbia citriodora* em vaso, para doses de 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ base seca de lodo, aplicado no plantio das mudas em condições de casa de vegetação. A dose maior, de 40 Mg ha⁻¹, foi estatisticamente inferior às demais, demonstrando que doses muito altas podem ser tóxicas ou não adequadas para determinada espécie ou estágio de crescimento, lembrando que nesse caso se trabalhou com mudas em vaso, mais sensíveis a doses “pesadas” de qualquer tipo de fertilizante ou resíduo.

Dentre as variáveis biométricas mensuradas em campo, a massa de folhas se destaca por estar intimamente ligada a produção de óleo essencial. Ela compõe um dos três parâmetros usados para definir qual é o melhor tratamento, sendo os outros dois o rendimento de óleo e o teor de citronelal.

Para massa individual de folhas das árvores aos 12 meses de idade, quando as empresas em geral procedem à primeira coleta, o melhor tratamento foi aquele em que se empregou a adubação química, conferindo 2,78 Kg de massa verde por planta, em média. Em sequência, 20,0 e 15,0 Mg ha⁻¹ produziram 2,62 Kg e 2,52 Kg, respectivamente. Apesar da diferença aparentemente pequena entre as maiores doses de composto de lodo, essa diferença se faz significativa quando se observa a massa que seria

produzida em um hectare utilizando uma adubação de 20,0 e 15,0 Mg ha⁻¹ deste resíduo por hectare (Tabela 12).

Tabela 12. Massa verde de folhas de árvores individuais e por hectare (Kg), ao término do experimento (12 meses).

Tratamentos	Massa Verde de Folhas	
	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹
Testemunha	1,96	6516
Ad. Química	2,78	9262
K+B	2,21	7365
2,5+ K+B	2,06	6849
5,0+ K+B	2,19	7299
10,0+ K+B	2,29	7632
15,0+ K+B	2,52	8382
20,0 + K+B	2,62	8722
Teste F	1,4	1,4
CV(%)	20,33	20,33

*letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

Esses valores foram expressos em massa de folhas verdes por planta e por hectare, para que se possa ter a noção real de produção, caso a floresta seja manejada segundo os preceitos deste experimento.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos, mas deve-se ressaltar que em termos de produção, há diferenças representativas entre os tratamentos, principalmente entre a testemunha e a adubação química.

Os tratamentos que receberam 0, 2,5, 5 e 10 Mg ha⁻¹ de composto de lodo de esgoto complementado com potássio e boro, produziram quantidades similares de massa de folhas por árvore. Pensando em apenas na aplicação de lodo de esgoto compostado, a diferença entre o tratamento que mais produziu massa de folhas (20,0 Mg ha⁻¹) e o que menos produziu (2,5 Mg ha⁻¹) foi de 0,56 Kg/planta. Obviamente, essa diferença é significativa quando se analisa a massa por hectare (produção total), sendo, nesse caso, de 1873 Kg ha⁻¹ de massa verde de folhas. Esse fato permite concluir que o lodo aplicado forneceu nutrientes suficientes para uma produção maior de folhas, e que ainda poderia ser maior, caso aumentasse a dose desse fertilizante, pois não se verificou uma estabilização da produção de massa em relação à dosagem de composto.

Doses superiores a 20 Mg ha^{-1} poderiam produzir massa foliar acima de 8722 Kg ha^{-1} , aproximando ainda mais do valor obtido pelo tratamento químico usual.

A ausência de qualquer tipo de fertilização refletiu em uma produção de massa menor do que os outros tratamentos (6516 Kg ha^{-1}). Comparando-se a testemunha com a adubação química e com a maior dose de composto, tem-se uma diferença de 2746 e 2206 Kg por ha^{-1} , respectivamente (Tabela 12).

Novamente o manejo silvicultural onde não é considerado qualquer tipo de fertilização mostra-se desvantajoso quando são avaliados parâmetros estritamente técnicos e de produção, como no caso da massa foliar por hectare. Porém, deve-se atrelar a viabilidade econômica a esse processo para se tomar uma decisão mais completa de quanto adubar e qual tipo de fertilizante a ser utilizado.

Silva et al. (2009), em um estudo avaliando dois espaçamentos ($3 \times 1 \text{ m}$ e $1 \times 1 \text{ m}$) e doses de 10 mg ha^{-1} base seca de lodo de esgoto, comparando com adubação química, evidenciaram que a dosagem do resíduo produziu massa de folhas equivalentes ao tratamento químico, nas idades de 12, 18, 24 e 30 meses. Os valores de massa de folhas, aos 12 meses, foram bem menores do que os obtidos neste trabalho, não alcançando a ordem de 4 toneladas por hectare para o mesmo espaçamento. O motivo crucial desta discrepância é o fato dos experimentos terem padrões silviculturais diferentes, pois no caso deste, trabalhou-se com brotações totais de cepas com idade de 4 anos, e no caso do experimento em comparativo, foi implantação de mudas de *Corymbia citriodora*, conferindo uma produção de biomassa inferior. Comparando-se a doses de 10 Mg ha^{-1} com a adubação química, obteve-se neste estudo, diferenças consideráveis de produção foliar; portanto, o único tratamento que se equipara com o químico é aquele em que se aplicou a maior dosagem do resíduo, ou seja, 20 Mg ha^{-1} .

Vieira (2004), avaliando progênies de *Corymbia citriodora*, verificou uma produção média de folhas por árvore de 2,16 Kg aos 11 meses de idade. Ao comparar com a massa produzida pelas brotações neste estudo, percebe-se que a produção média das progênies foi relativamente alta, pois além de ser uma floresta implantada, a fertilização foi realizada com apenas a aplicação de fósforo por ocasião de plantio. Porém, deve-se atentar em duas diferenças metodológicas importantes entre os trabalhos, onde no caso do experimento de Vieira (2004) foram coletadas todas as folhas da árvore, e no deste projeto, a coleta foi realizada em 2/3 da copa, deixando o terço superior intacto. Outra

diferença é o espaçamento, 3x1m no caso deste trabalho e 3x2m no realizado por Vieira (2004), propiciando maior área para exploração de recursos e, em tese, maior produção de massa foliar.

Vitti (1999), aos 18 meses no espaçamento 3x1m, encontrou média de folhas por árvore de *Corymbia citriodora* na ordem de 1,89 Kg, bem inferior aos dados de literatura e do valor do tratamento testemunha deste trabalho, que é de 1,96 Kg por árvore.

Devido ao foco do plantio e de suas variáveis mais importantes no tocante à produção, observou-se correlação estatística positiva (Pearson) entre massa verde de folhas e área foliar total (Figura 7). Foi estabelecida correlação entre a massa de folhas gerada pelas médias dos tratamentos e suas respectivas áreas foliares.

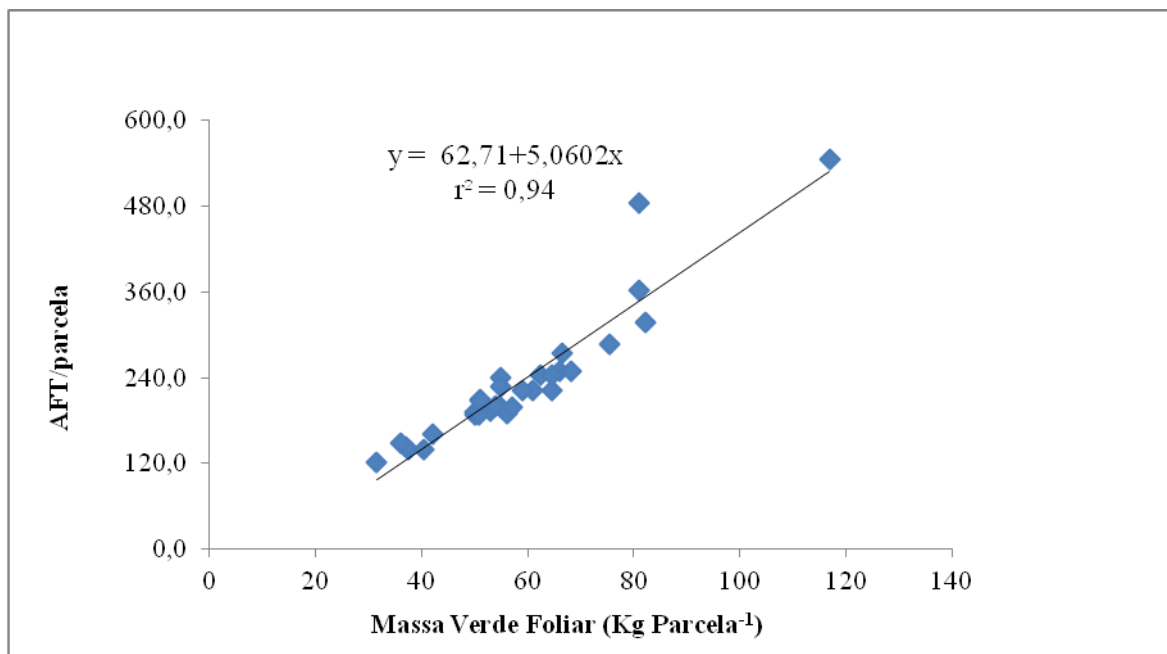


Figura 7. Correlação simples entre Área Foliar Total (AFT, m²) e Massa Verde Foliar entre parcelas de *Corymbia citriodora* colhidas aos 12 meses.

Esta comprovação estatística é de grande valia, pois confirma também a precisão da metodologia empregada no experimento, com uma correlação alta ($r^2 = 0,94$) entre as variáveis de área foliar total e massa verde de folhas, ambas por parcela mensurada.

5.4. Rendimento de óleo, massa de óleo e teor de Citronelal.

Para rendimento de óleo por massa de folhas secas em estufa (Tabela 11), obteve-se efeito de doses (regressão) a 5% de significância e de comparação múltipla pelo teste de Tukey (Tabela 13).

O melhor tratamento foi o de 10,0 Mg ha⁻¹ de lodo compostado, sendo que o rendimento em porcentagem de massa destilada foi de 1,80%, diferente estatisticamente dos demais (Tabela 13). O segundo maior rendimento foi à testemunha absoluta com 1,67%, aproximadamente, porém, este foi igual estatisticamente aos demais com exceção do tratamento onde se aplicou de potássio e boro apenas que refletiu no menor rendimento.

Tabela 13. Rendimento de óleo (%), massa de óleo essencial por planta (g planta⁻¹) e por hectare (Kg ha⁻¹) proveniente de folhas de *Corymbia citriodora* aos 12 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	Rendimento %	Massa óleo (g planta ⁻¹)	Massa óleo (Kg ha ⁻¹)
Testemunha	1,67ab	15,84	52,80
Ad. Química	1,52ab	20,40	67,98
K+B	1,35b	14,55	48,48
2,5+ K+B	1,43ab	14,57	48,57
5,0+ K+B	1,62ab	17,10	57,00
10,0+ K+B	1,80a	19,68	65,58
15,0+ K+B	1,41ab	17,58	58,61
20,0 + K+B	1,51ab	19,25	64,17
Linear	ns	ns	ns
Quadrático	0,47*	ns	ns
Teste F	3,3	1,9	1,9
CV(%)	10,56	19,2	19,21

*Significativo a 5%; ns = não significativo.

Um dos motivos pelo qual a testemunha pode ter tido um rendimento acima do esperado é o fato das árvores estarem em uma condição de estresse, e sendo o óleo é um mecanismo de defesa da planta, pode ter havido uma produção maior desse composto.

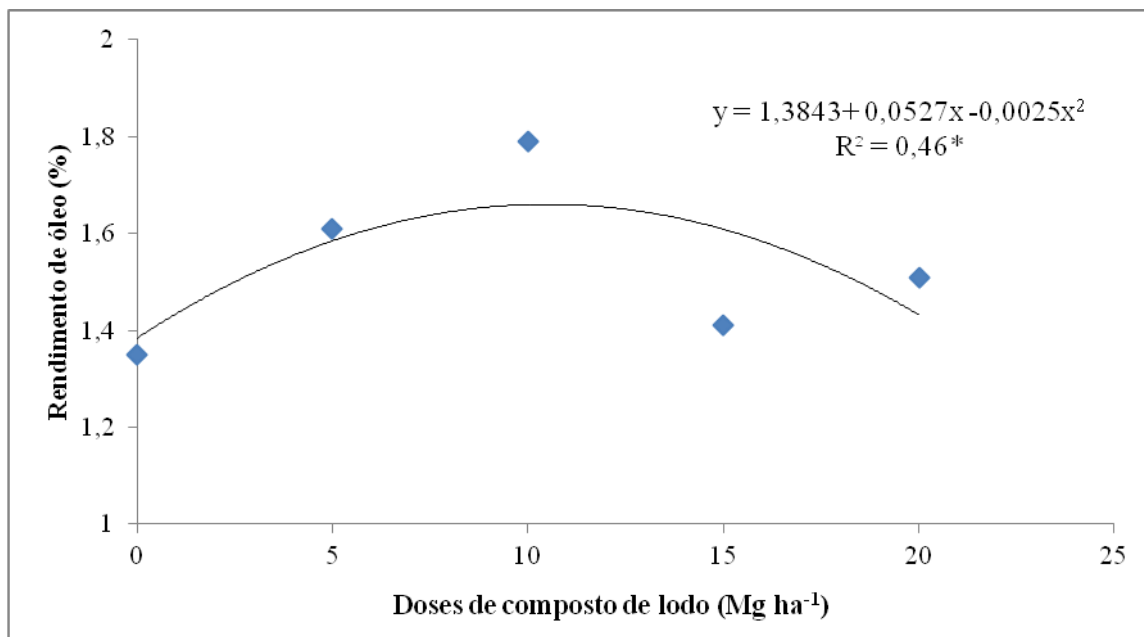


Figura 8. Curva de regressão entre rendimento de óleo (%), e doses de composto de lodo de esgoto (Mg ha⁻¹).

Como mencionado, 10,0 Mg ha⁻¹ foi o tratamento que proporcionou o melhor rendimento de óleo. Observa-se que o aumento da dose de composto de lodo aumenta o rendimento, tendo como pico 10,0 Mg ha⁻¹ e decrescendo nos tratamentos com maiores dosagens.

Deve-se considerar que a destilação do óleo foi feita com base na matéria seca de folhas, para que todas estivessem em mesma condição de umidade e sem que as mesmas iniciassem um processo de fermentação, fato que comprometeria a produção de óleo e sua qualidade, além de deixar as amostras heterogêneas em vários aspectos, como por exemplo, na condição bioquímica. Caso fosse possível destilar as folhas na condição real de umidade em que se encontra logo após serem colhidas (sendo que este é o procedimento normal nas empresas), provavelmente o rendimento teria sido um pouco maior, devido à deterioração de glândulas de óleo que pode ter ocorrido durante o processo de secagem em estufa.

O rendimento multiplicado pela massa de folhas fornece dados de produção de massa de óleo, que neste estudo foi expressa por árvore e por hectare. Por isso se faz importante analisar rendimento, massa de folhas e o teor do Citronelal, para definir qual o melhor manejo nutricional da floresta.

No aspecto massa de óleo por planta, a estatística aplicada não detectou diferença entre os tratamentos. Já na análise dos valores, que se faz de extrema

importância para critérios de produção, a adubação química é a que proporcionou o maior valor (67,98 Kg de óleo ha⁻¹), seguida do tratamento onde foi aplicado 10,0 Mg ha⁻¹ de composto de lodo, com 65,58Kg ha⁻¹ e de 20,0 Mg ha⁻¹ com 64,17 Kg ha⁻¹. A testemunha, que obteve o segundo maior rendimento de óleo essencial, apresentou a menor produção de biomassa foliar, resultando em uma produção de óleo de 52,8 Kg ha⁻¹.

Foi verificada inexpressiva diferença entre os tratamentos com aplicação de 10,0 Mg ha⁻¹ e 20,0 Mg ha⁻¹ de composto quanto a produção de massa de óleo por hectare. O rendimento de óleo das parcelas onde se adubou com 15,0 Mg ha⁻¹ foi baixo (1,41%), e este foi o fator determinante para baixa massa de óleo por hectare produzida, comparando com 10,0 e 20,0 Mg ha⁻¹, já que a produção de massa foliar foi coerente com a quantidade fornecida de nutrientes provenientes do lodo de esgoto compostado.

Diferindo-se em 2,4 Kg de óleo por hectare do tratamento onde foi realizado adubação química, o tratamento com 10,0 Mg ha⁻¹ de composto de lodo de esgoto apresentou destaque na produção, pois produziu quantidade elevada de massa de óleo com uma aplicação de composto de lodo intermediária, considerando as doses propostas pelo experimento. No caso de 20,0 Mg ha⁻¹, o rendimento em óleo essencial foi intermediário (1,51%), porém a produção de folhas foi a segunda mais alta, resultando em uma quantidade de óleo promissora, apenas 3,81 Kg por hectare menor do que o melhor tratamento. Deve-se considerar o fato de que uma aplicação na ordem de 20,0 Mg ha⁻¹ pode refletir em produções futuras promissoras, devido a mineralização gradual dos nutrientes ao longo dos anos, evitando reaplicações do composto em um curto espaço de tempo, o que encarece o manejo.

Silva et al. (2009), em estudos com *Corymbia citriodora*, encontraram valores de rendimento de 1,6% e 2% nos espaçamentos 3x1m e 1x1 m, respectivamente. Porém, não houve diferença entre a adubação química convencional e a dose de 10 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto para parâmetros de rendimento. Os autores explicaram esse resultado pelo fato das folhas no espaçamento fechado (1x1m) serem colhidas aos seis meses, e por serem mais jovens, apresentam maior acúmulo de glândulas de óleo do que o espaçamento 3x1m, onde são colhidas aos doze meses de idade, sendo consideradas fisiologicamente mais velhas. Os mesmos autores evidenciaram quantidades de óleo essencial produzidas similarmente no comparativo de adubação química e dose de

lodo (10 Mg ha^{-1}), fato que também ocorreu neste experimento quando compara esses mesmos tratamentos (Tabela 11).

O rendimento de 1,6% no trabalho citado anteriormente de Silva et al. (2009) é similar ao rendimento da testemunha deste experimento (1,67%, aproximadamente), porém, 2% deste índice, encontrado quando a floresta foi plantada em espaçamento adensado, é alto, comparado aos valores deste trabalho. Para a mesma dosagem de 10 Mg ha^{-1} , o rendimento deste trabalho foi maior (1,8%) do que o encontrado por Silva et al. (2009), nas mesmas condições de espaçamento, e mesmo as folhas sendo secas antes da destilação, no caso deste experimento.

Os rendimentos de óleo de todos os tratamentos se enquadram nos valores encontrados constantemente na literatura, citados por Vitti e Brito (2003), que apresentaram um intervalo de conversão de massa em óleo de 0,5 a 2,0%, e Silva (2006) que relata intervalos de 1,59 a 2,15% dentre destilações realizadas nas diferentes estações do ano.

Vitti e Brito (1999), trabalhando com progênies e famílias de *Corymbia citriodora* advindas da Austrália, e Vieira (2004), que também avaliou desempenho de progênies da mesma espécie, encontraram valores de rendimento compatíveis com a literatura base proposta por Vitti e Brito (2003), que fornecem uma tabela que descreve rendimentos de óleos essenciais de várias espécies de *Eucalyptus spp* e *Corymbia spp* (Tabela 1).

O rendimento de óleo deste estudo também se enquadrou nos intervalos descritos pelos autores supracitados, não destoando em nenhum ponto da literatura utilizada.

Não houve diferença estatística para teor de citronelal, principal composto do óleo. Menor e maior dose de lodo proporcionaram as maiores concentrações de citronelal. Vitti (2003) preconiza intervalo de valores entre 65-80% para de teor desse composto.

Tabela 14. Teor de Citronelal (%) extraído das folhas de *Corymbia citriodora* aos 12 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	Citronelal (%)
Testemunha	50.61
Ad. Química	41.42
K+B	57.81
2,5+ K+B	63.30
5,0+ K+B	59.42
10,0+ K+B	58.28
15,0+ K+B	48.84
20,0 + K+B	60.80
Teste F	0,2036
CV%	24.99

*letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

Vieira (2004), avaliando progênies de *Corymbia citriodora* com intuito de selecionar caracteres silviculturais e de produção de óleo, obteve médias variando entre 85 e 89% de teor de citronelal.

Experimentos realizados por Maffei & Brito (2000) demonstraram que a omissão de boro e de enxofre não influenciou no rendimento do óleo essencial de *Corymbia citriodora*, porém alterou a composição química do mesmo. Foram observadas reduções no teor de citronelal, o que pode ser um indicativo de que estes nutrientes possam estar diretamente relacionados com a rota biossintética deste composto, ou atuarem como precursores.

Silva et al. (2009), trabalhando com *Corymbia citriodora* em dois tipos de espaçamento (3x1m e 1x1m) com doses de 10 mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, obtiveram teores de citronelal que se enquadram dentro do intervalo proposto por Vitti (2003). Porém, folhas colhidas no segundo ano no espaçamento convencional (3x1m) continham teores abaixo de 75%, provavelmente devido à idade das folhas colhidas, que permaneceram mais tempo conectadas aos ramos do que no espaçamento 1x1m, onde a colheita foi feita 2 vezes ao ano.

Avaliando procedências e raças de *Corymbia citriodora*, Vitti e Brito (2003) encontraram teores de citronelal entre 82 e 89 %, valores superiores quando comparados ao deste trabalho e equivalentes ao encontrado por Vieira (2004).

Os teores encontrados neste trabalho podem ser classificados como abaixo do que os encontrados pelos autores supracitados, porém um fator que pode ter

proporcionado esse resultado é o fato das folhas terem sido secas após a coleta, para evitar heterogeneidade nas amostras, devido à logística de transporte das mesmas. Os experimentos que serviram de base para comparação a este estudo puderam utilizar folhas recém coletadas (até uma hora após a coleta) para destilação, o que pode ter contribuído significativamente para um teor de citronelal maior.

Em suma, os tratamentos de lodo de esgoto compostado mais promissores são $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ e 20 mg ha^{-1} , tendo em vista também o custo-benefício de todo o manejo silvicultural, proporcionando economias ao produtor ou empresa devido ao fato de produzir similarmente à adubação química. Obviamente, um estudo em longo prazo deve ser realizado para saber o efeito do material em rotações futuras, o que pode ainda se tornar mais interessante tanto do ponto de vista técnico como econômico, devido ao efeito residual e cumulativo do composto em questão.

5.5. Análise química de solo aos 6 e 12 meses de idade.

Aos seis meses após instalação, a análise química do solo na camada de até 20 cm de profundidade (Tabela 17) demonstra que o aumento nas doses de composto de lodo promoveu um incremento significativo dos teores de P, Cu e Zn em relação à adubação química e testemunha. Para os nutrientes potássio e enxofre no solo, a variação pode ser considerada aleatória, sem apresentar uma tendência específica.

Para as concentrações de potássio neste tipo de solo, onde a porcentagem de argila é baixa (Tabela 3), a menor concentração no solo foi encontrada na testemunha, embora não de forma significativa em relação à adubação química e doses de composto de lodo. Isso demonstra a importância da adição de cloreto de potássio nos tratamentos onde foi aplicado o resíduo, pois os resultados foram satisfatórios, variando de $1,2 \text{ mmol/dm}^3$ a $1,7 \text{ mmol/dm}^3$ (Tabela 17). Segundo Gonçalves et al. (2011), valores acima de $1,6 \text{ mmol/dm}^3$ são considerados altos e praticamente isentam a floresta de adubação potássica vigorosa. Porém, atualmente devido ao crescimento rápido de muitos clones de eucalipto e dos problemas decorrentes à deficiência deste nutriente, bem como a melhora no vigor fitossanitário do povoamento, a aplicação de potássio é indispensável. Caso o solo esteja nas condições desejadas, devido ao fato do potássio ser de alta mobilidade no solo, principalmente nos arenosos, o silvicultor pode lançar mão de adubações potássicas mais tardiamente, parcelando-as no decorrer do crescimento florestal.

A aplicação de fertilizantes potássicos juntamente com composto de lodo de esgoto pode ainda refletir em outra vantagem, quando o alto teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (Tabela 4) inerente ao resíduo adsorver os íons do nutriente, mitigando efeitos da lixiviação, tão comum para esse elemento devido à sua alta mobilidade no solo.

Tabela 15. Análise química de solo na faixa de 0 a 20 cm de profundidade aos 6 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol/dm ³ -----							-----mg/dm ³ -----						
Testemunha	4,1	25	5,7c	7	53	0,8b	9	6	16	70	25	6ab	0,32	0,5c	114	2,7	0,3b
Ad. Química	4,0	23	5,2c	8	54	1,5ab	9	5	16	70	24	5ab	0,31	0,6c	122	3,5	0,9b
K+B	4,0	22	3,4c	6	52	1,2ab	9	5	15	67	24	3b	0,33	0,4c	104	2,8	0,3b
2,5+ K+B	4,1	28	5,8bc	9	66	1,9a	10	6	18	84	23	5ab	0,43	0,7bc	142	3,8	2ab
5,0+ K+B	4,1	25	6,6bc	8	64	1,7ab	10	5	17	81	24	6ab	0,37	0,7bc	133	2,6	3ab
10,0+ K+B	4,1	24	6,4bc	9	60	1,7ab	10	5	16	77	22	6ab	0,40	0,7bc	130	2,5	3ab
15,0+ K+B	4,1	25	13,1ab	7	57	1,5ab	10	6	17	74	24	8ab	0,38	1ab	122	2,7	8a
20,0 + K+B	4,3	26	15,8a	6	54	1,2ab	14	5	20	74	30	10a	0,36	1,27a	108	2,7	9a
Teste F	2,0	0,5	8,1	1,3	0,9	2,6*	1,9	0,2	0,7	0,8	1,0	7,3	1,7	9,4	1,1	1,0	5,0
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,97*	ns	0,95**	ns	ns	0,91*
Quadrático	ns	ns	0,94**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4	24	43	28	22	31	22	34	23	20	22	19	17	26	24	34	92

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

A fertilização com composto de lodo de esgoto proporcionou um aumento no aporte de enxofre na camada superficial do solo (0-20 cm), sendo este fato observado na regressão linear retratada na Figura 9.

Nos solos tropicais e subtropicais, o enxofre está presente nas formas orgânica e inorgânica, sendo a primeira forma predominante, em geral constituindo mais de 90% do total (STIPP e CASARIN, 2010).

O incremento do teor de enxofre no solo ocorreu de forma linear, ou seja, quanto mais se aplicou composto de lodo de esgoto, mais o nutriente se apresentou disponível na camada do solo avaliada. Gonçalves et al. (2011) não determina valores ótimos de concentrações no solo para enxofre, porém ficou mostrado que o composto tem a capacidade de fornecer este nutriente ao solo.

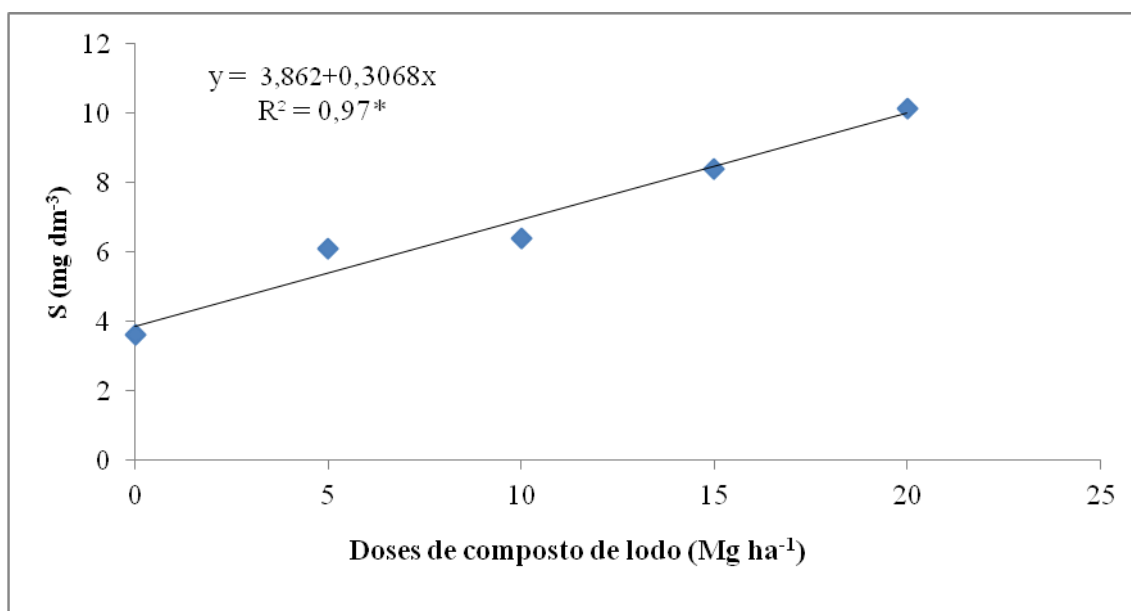


Figura 9. Regressão entre teores de enxofre no solo (mg dm^{-3}) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.

As doses de composto de lodo refletiram em teores de P no solo variando de 5,8 à 15,8 mg/dm^3 , da menor para a maior dose, respectivamente, sendo que as maiores doses foram significativamente superiores a adubação química e testemunha, (Tabela 15 e Figura 10).

A respeito dos teores de fósforo no solo aos seis meses após instalação, a adubação química e testemunha apresentaram teores similares, não evidenciando um fornecimento de fósforo condizente com a aplicação dos fertilizantes

químicos inorgânicos (Tabela 15). Este resultado é controverso, pois se houve aporte do nutriente pelo resíduo, teria que apresentar o mesmo comportamento no caso da adubação química convencional. Uma possível explicação para esse fato é o erro no momento da amostragem, ou seja, coleta de solo onde o fertilizante não foi aplicado.

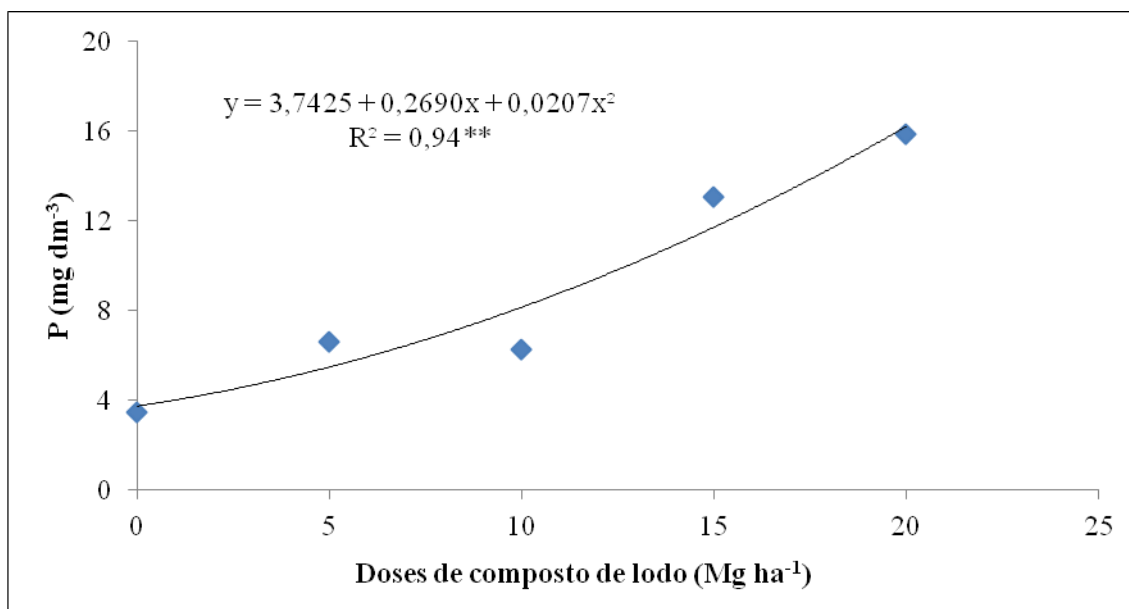


Figura 10. Regressão entre teores de fósforo no solo (mg dm^{-3}) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.

Vaz e Gonçalves (2002), trabalhando com doses de lodo em *Eucalyptus grandis*, observaram que aos seis meses após a aplicação do material as quantidades de fósforo no solo na camada superficial eram baixas, não ultrapassando 5 mg dm^{-3} . Esse comportamento foi igual tanto para as doses de lodo (10 mg ha^{-1} e 10 mg ha^{-1} base seca complementado com potássio e fósforo) como também para a adubação química convencional.

Rezende (2005), assim como neste experimento, constatou fornecimento de fósforo na camada superficial a partir da aplicação de 20 mg ha^{-1} base seca, resultando em concentração de $22,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de P.

Seguindo parâmetros de Gonçalves et al. (2011), as doses de composto de lodo aplicadas levaram o solo a uma condição mais favorável quanto ao fornecimento de fósforo. Neste mesmo raciocínio, $15,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ base seca do composto forneceria fósforo de forma a não necessitar de aplicação do nutriente durante a rotação, no caso do solo conter os mesmos percentuais de areia que o utilizado no experimento.

As concentrações de cobre no solo também aumentaram significativamente de acordo com o aumento do resíduo aplicado (Figura 11). Esse aumento se mostrou significativo estatisticamente para regressão linear, fato que mostra que ainda poderia ser fornecido mais cobre com aplicações mais “pesadas”, caso fosse necessário. Aos seis meses, nos tratamentos testemunha, adubação química, 0, 2,5; 5,0 e 10 Mg ha⁻¹, os níveis de cobre se enquadraram na faixa considerada como intermediária para os parâmetros adotados. As doses de 15 e 20 Mg ha⁻¹ de composto resultaram em altas concentrações do micronutriente no solo (>0,9 mg dm⁻³).

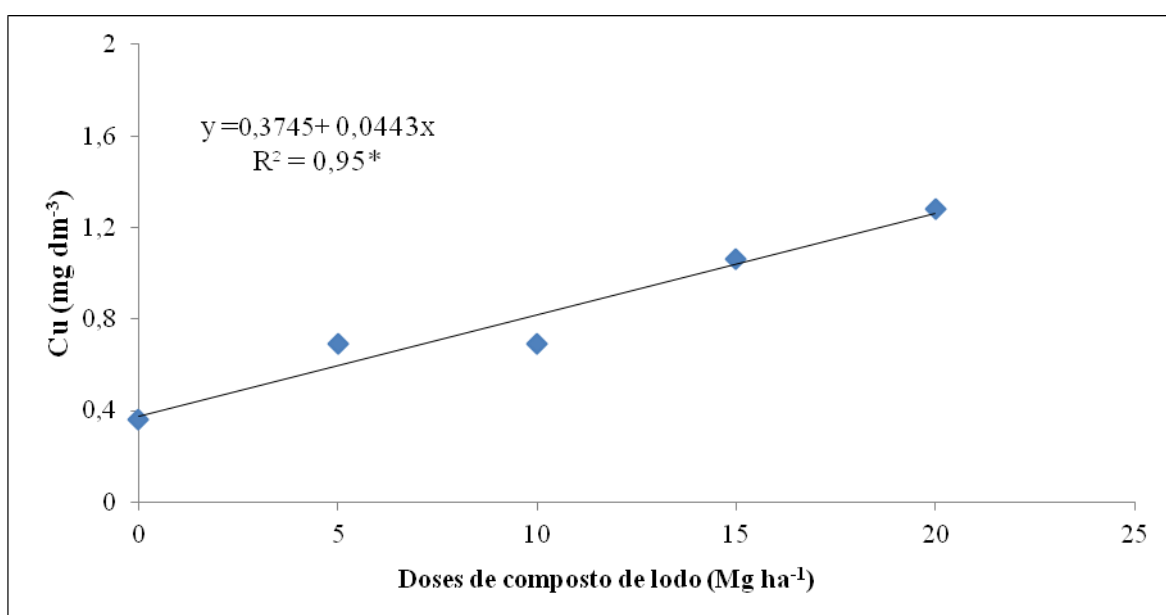


Figura 11. Regressão entre teores de cobre no solo (mg dm⁻¹) e doses de composto de lodo de esgoto aos 6 meses de idade.

Quando se analisa os teores foliares (Tabela 14) e de solo (Tabela 17) para o nutriente zinco, nota-se que a aplicação de lodo de esgoto compostado é extremamente eficaz no fornecimento deste micronutriente. Os aumentos das doses do resíduo refletiram já aos três meses nos teores foliares, sendo que aos seis meses a análise de solo comprovou a liberação do elemento nas camadas superficiais onde foi incorporado o resíduo. Há uma proporcionalidade entre o que foi aplicado e o que foi absorvido pelas plantas, comprovando que o material consegue fornecer este elemento de forma satisfatória e eficiente, e até em quantidades superiores à aplicação química, que foi realizada com o coquetel de micronutrientes FTE BR 12, amplamente usado no setor agrícola e florestal. A

Figura 12 demonstra um comportamento linear positivo nos teores de Zn no solo com o aumento das doses do composto de lodo.

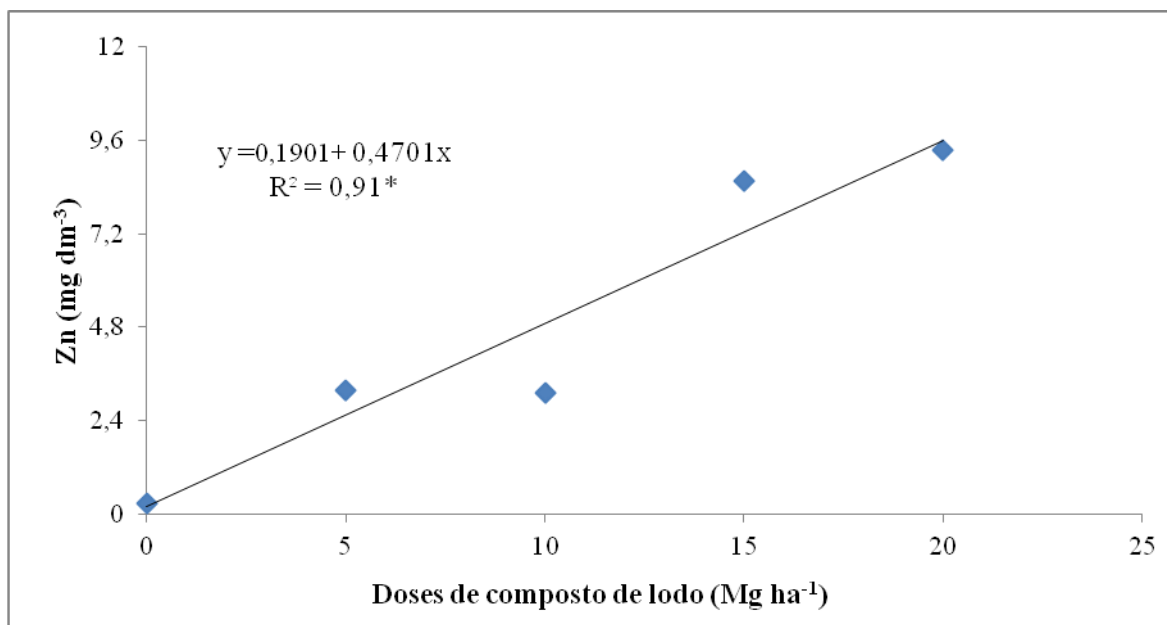


Figura 12. Figura 17 – Regressão entre teores de zinco no solo (mg dm^{-3}) e doses de composto de lodo aos 6 meses de idade.

Gonçalves et al. (2011) preconizam concentrações limitantes de zinco no solo na ordem de $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$. Nesta situação, é indispensável a aplicação do micronutriente para assegurar a produtividade do eucalipto. Aos seis meses após a aplicação e condução dos brotos, apenas os tratamentos que não receberam zinco (testemunha e K+B) estão abaixo das prescrições destes autores, sendo os outros tratamentos mantendo os níveis bem acima do recomendado e sendo absorvido de forma significativa pelo povoamento.

5.6. Análise química de solo aos 12 meses de idade.

A análise química de solo realizada aos doze meses de idade (Tabela 16), quando se inicia o processo de colheita das folhas, fornece dados mais relevantes sobre os efeitos do composto de lodo de esgoto nos atributos do solo, pois o mesmo necessita de um tempo para começar a mineralizar os nutrientes e influenciar na fertilidade do solo como um todo. Observa-se o efeito das doses de composto de lodo nas concentrações de matéria orgânica, fósforo, enxofre, cobre e zinco, e houve diferença no teste Tukey para potássio em boro no solo.

Para o pH não houve diferença entre os tratamentos do composto, e este resultado não era esperado devido o referido material conter quantidades relevantes de CaO (Tabela 4), e ainda se tratar de doses elevadas de composto utilizadas neste experimento.

Para o potássio, houve diferença estatística entre os tratamentos para teste Tukey, sendo que a testemunha sem aplicação do nutriente apresentou menor concentração no solo após 12 meses de aplicação. Esse fato impactou na floresta, sendo que foi diagnosticada deficiência visual do nutriente, como já foi citado anteriormente.

Segundo Gonçalves et al. (2011), concentrações iguais ou acima de $1,6 \text{ mmol dm}^{-3}$ de potássio no solo são consideradas altas para plantações de eucalipto. Nesse sentido, observou-se que os tratamentos adubação química, aplicação de potássio e boro e os tratamentos com lodo de 2,5 e 5,0 Mg ha^{-1} de composto de lodo atenderam o parâmetro relatado de $1,6 \text{ mmol dm}^{-3}$.

Dentro das classes de interpretação da fertilidade de solos florestais que foi adotado neste trabalho, os teores de cálcio e magnésio se mantiveram dentro dos parâmetros intermediários. Vale ressaltar que o composto de lodo de esgoto aplicado não foi complementado com cálcio e magnésio, apenas com potássio e boro, porém, o conteúdo de cálcio presente no composto é relevante. Sobre a adubação química, esta forneceu cálcio e magnésio de forma adequada ao povoamento e, aos doze meses após aplicação, notaram-se concentrações destes nutrientes de forma ideal na camada de solo amostrada.

Doses de 10, 15 e 20 Mg ha^{-1} refletem similares condições de fertilidade de solo comparado com a adubação química que recebeu calagem dolomítica, e esta semelhança se faz também no plano da análise química das folhas no mesmo período.

Tabela 16. Análise química de solo na faixa de 0 a 20 cm de profundidade aos 12 meses de idade em função dos tratamentos.

Tratamentos	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----							-----mg/dm ³ -----						
Testemunha	4,0	18	5,5b	7	55	0,6b	5	4	9	66	24	4c	0,25b	0,5b	105	2,5	0,2b
Ad. Química	4,1	21	26,7a	8	47	2,0ab	7	4	12	59	21	8ab	0,76a	1,1ab	136	5,3	7,2ab
K+B	3,9	18	4,1b	8	42	1,9ab	5	3	10	52	19	7bc	0,63a	0,5b	118	3,9	0,2b
2,5+ K+B	4,0	18	4,6b	9	51	2,1ab	3	3	9	59	15	7bc	0,67a	0,7b	139	4,6	0,7ab
5,0+ K+B	4,0	18	5,4b	9	47	2,2a	5	4	11	59	19	7bc	0,66a	0,7b	136	4,6	0,7ab
10,0+ K+B	4,0	21	8,7b	9	49	1,0ab	6	4	11	60	19	9ab	0,67a	0,9ab	145	4,3	4,1ab
15,0+ K+B	4,1	21	7,1b	8	45	1,5ab	6	4	12	57	22	9ab	0,57a	0,9ab	124	4,4	3,9ab
20,0 + K+B	4,0	23	12,7b	8	49	1,3ab	7	4	13	62	21	10a	0,62a	1,3a	138	4,5	8,3a
Teste F	0,8	2,5	7,0	1,0	1,1	3,0*	2,3	0,6	1,5	1,0	1,6	7,8	7,0**	5,0	1,5	2,0	3,7
Linear	ns	ns	v	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,92**	ns	ns	ns
Quadrático	ns	0,94*	0,82*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,87*	ns	ns	ns	ns	0,92**
CV (%)	3	12	61	23	18	42	19	21	18	17	19	19	19	31	14	30	77

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

Rezende (2005), em um trabalho com lodo de esgoto tratado com cal hidratada em dose de $20,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ base seca, verificou que na camada superficial (0-10cm) o tratamento químico e aplicação do resíduo resultaram em valores adequados, no que se diz respeito a teores de cálcio. Gonçalves et al. (2011) preconiza como teores médios valores entre 5 e $6 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, sendo que considera-se como altos valores iguais ou maiores a $7 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ para cálcio. Sendo assim, os resultados deste experimento demonstraram que os teores de cálcio trocável na camada de 0-20 cm do solo estão dentro das faixas ressaltas. Cabe salientar que o composto contém 2,5% de CaO, concentração que propiciou fornecimento adequado de cálcio para plantio de florestas.

Na análise do teor de matéria orgânica, o aumento das doses do composto resultou em incremento do teor desta variável no solo, conforme mostra a Figura 13.

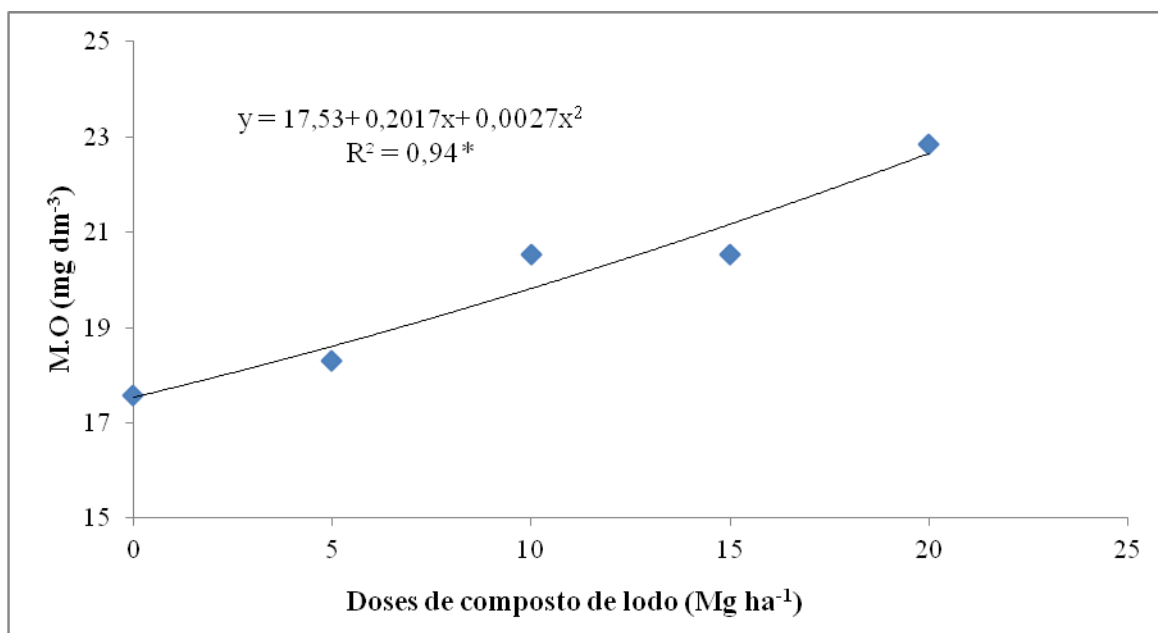


Figura 13. Regressão entre teores de matéria orgânica no solo (mg dm^{-3}) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.

Vaz e Gonçalves (2002), em experimento com doses da ordem de 10 Mg ha^{-1} base seca, obtiveram teores de matéria orgânica acima de 30 mg dm^{-3} aos 12 meses e de mais de 50 mg dm^{-3} aos 24 meses, para tratamentos com lodo aplicado. Rezende (2005), trabalhando com dose de 20 Mg ha^{-1} de lodo base seca, adubação química e parcelas sem adubação também notou baixa diferença entre testemunha e parcelas com aplicação do resíduo na referida dosagem. Na camada superficial, a testemunha apresentou teor de 37 mg dm^{-3} , enquanto parcelas onde foi aplicado o resíduo tiveram concentrações

de 40,7 mg dm⁻¹, sendo que a adubação química apresentou valor de 37,5 mg dm⁻¹, valores similares ao deste experimento.

Guedes (2005), após cinco anos em plantio de *Eucalyptus grandis* adubado com doses de lodo de esgoto (10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ na base seca), notou disponibilidade aumentada de nutrientes em camadas superficiais de solo em detrimento do acréscimo do lodo rico em matéria orgânica, podendo destacar o nitrogênio e enxofre como alguns dos nutrientes liberados. Vale lembrar que a matéria orgânica no solo está diretamente relacionada com a adubação nitrogenada, portanto, teores adequados propiciam menores aplicações de nitrogênio.

Nos parâmetros propostos por Gonçalves et al. (2011), todos os tratamentos ao término do experimento se enquadraram nas faixas médias (15-30 g dm⁻³). Os efeitos residuais do composto de lodo devem ser considerados, pois análises futuras podem demonstrar um intervalo maior do teor de matéria orgânica nas parcelas fertilizadas com o resíduo em comparação com os tratamentos controle e parcelas onde foram aplicados apenas potássio e boro e testemunha. Já foi ressaltado que o piso florestal, bem como as camadas superficiais do solo nessa floresta foram beneficiados por quatro anos de deposição de folhas e outros tipos de compartimentos vegetais, o que provavelmente resultou em um aporte considerável de matéria orgânica no solo, fato observado no tratamento testemunha.

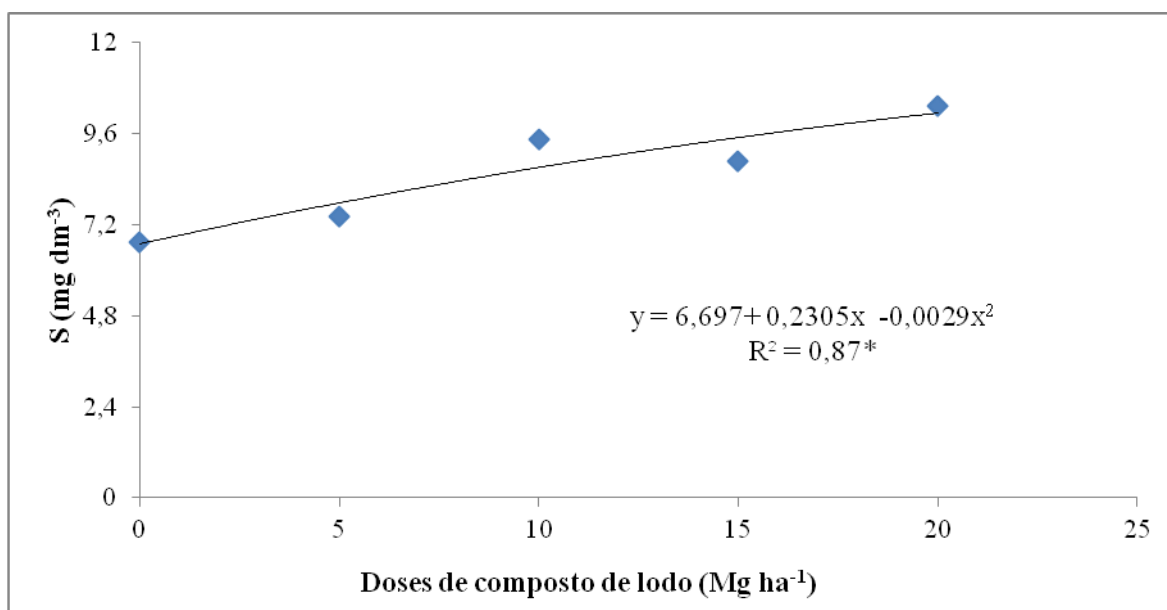


Figura 14. Regressão entre teores de enxofre no solo (mg dm⁻¹) e doses de composto de lodo aos 12 meses de idade.

Quanto ao teor de fósforo no solo, o aumento das doses do composto promoveu um aumento dos teores desse nutriente. A figura 15 mostra que o composto foi eficiente em aumentar os teores de fósforo no solo, os quais estão dentro da faixa considerada média segundo Gonçalves et al. (2011), que varia de 5 a 7 mg dm⁻³ de P₂O₅, com exceção da menor dose que refletiu em uma concentração de 4,6 mg dm⁻³ de P₂O₅.

A adubação química promoveu a maior concentração no solo de fósforo, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos no teste Tukey aos 12 meses de idade após a instalação (Tabela 16).

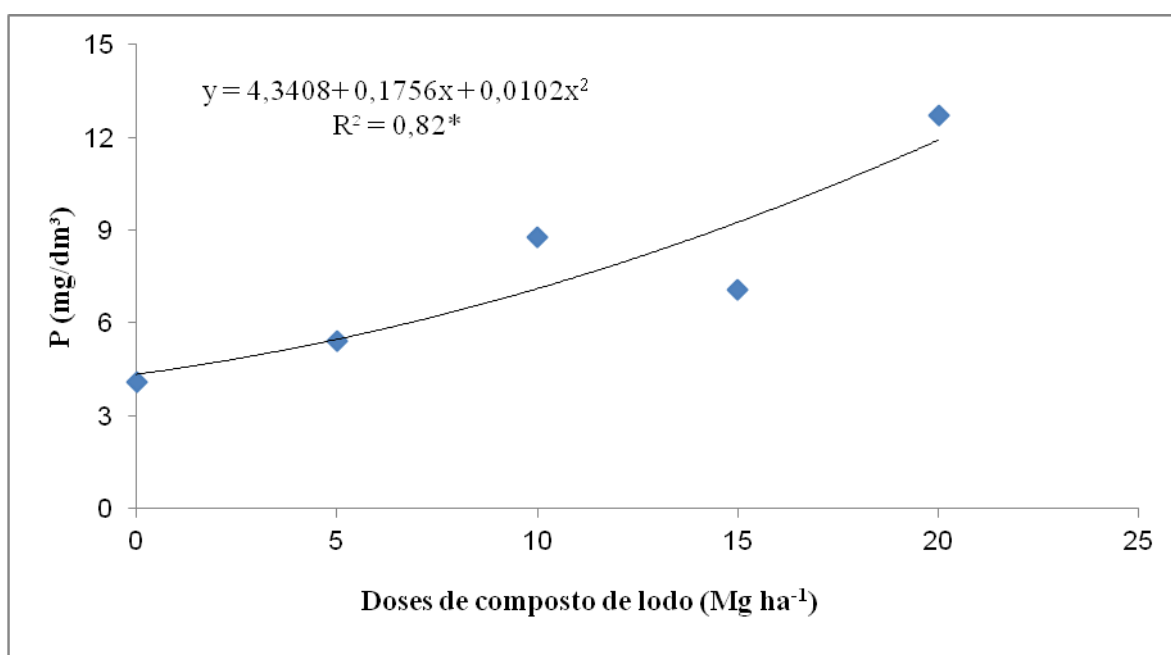


Figura 15. Regressão entre teores de fósforo no solo (mg dm⁻³) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.

Os teores de cobre no solo também aumentaram com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto (Figura 16). A maior dosagem do composto refletiu em concentrações no solo equivalentes à adubação química convencional (Figura 18). Segundo Gonçalves et al. (2011), teores iguais ou acima de 0,9 mg dm⁻³ de cobre no solo são considerados altos, nesse sentido, os tratamentos que atingiram esse parâmetro foram: adubação química, 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹ de composto.

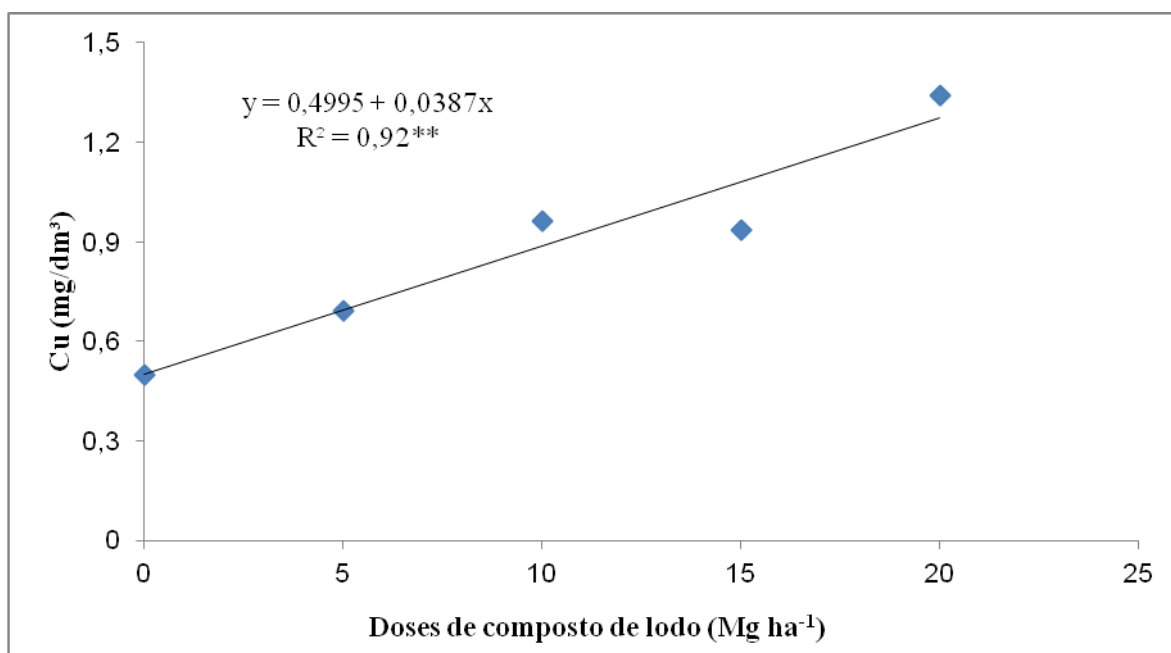


Figura 16. Regressão entre teores de cobre no solo (mg dm^{-3}) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.

Conforme amplamente ressaltado, o micronutriente zinco teve aumentos expressivos nos seus teores devido à aplicação do composto. No solo, aos doze meses de idade, houve aumento dos teores na medida em que se aplicavam maiores dosagens de composto, conforme a Figura 17.

Segundo Gonçalves et al. (2011), os teores no solo nessa condição estão altos para todos os tratamentos onde se aplicou o composto de lodo de esgoto e para adubação química. Válido lembrar que a menor dose de composto empregada ($2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) já se mostrou eficiente para fornecer zinco à floresta.

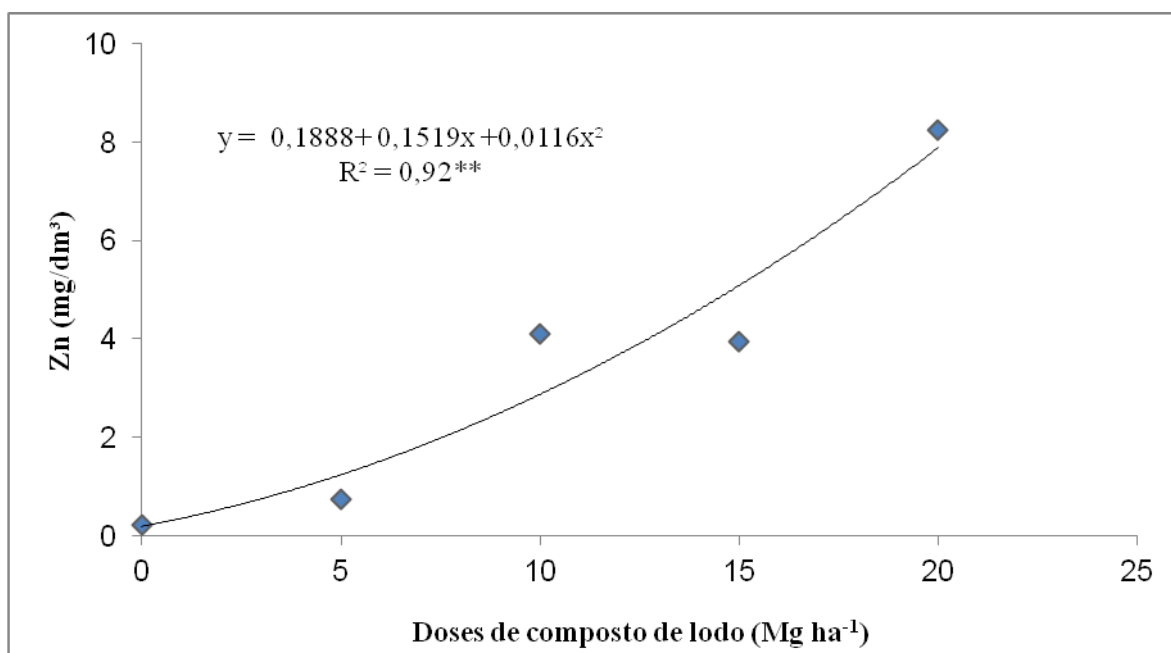


Figura 17. Regressão entre teores de zinco no solo (mg dm^{-3}) e doses composto de lodo aos 12 meses de idade.

Aos doze meses de idade, tempo que contemplou uma rotação florestal para este tipo de manejo, a aplicação de composto de lodo de esgoto proporcionou aumento de atributos no solo importante para a manutenção da fertilidade e nutrição adequada do povoamento florestal. A remoção de folhas anualmente para produção de óleo essencial afeta a ciclagem biogeoquímica florestal, e, portanto, a aplicação de fertilizantes orgânicos, como no caso do lodo, contribui tanto no fornecimento de nutrientes como no aumento do teor de matéria orgânica no solo.

5.7. Análise química foliar aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade.

Como o ciclo das florestas utilizadas para produzir óleo essencial é curto, girando em torno de doze meses na maioria dos casos, deve-se considerar os parâmetros de análise foliar de uma floresta jovem. O parâmetro utilizado neste trabalho foi o de Gonçalves et al. (2011), devido a sua contemporaneidade e embasamento científico sobre teores de nutrientes nas folhas e no solo.

A análise foliar realizada aos três meses de idade (Tabela 17) não apresenta diferença estatística entre os tratamentos para nenhum nutriente, exceto para zinco e magnésio. A maior absorção de zinco se deu nos tratamentos com as maiores doses de lodo (15 e 20 Mg ha^{-1}), em virtude da alta concentração desse nutriente no composto de

lodo de esgoto, conforme evidenciado na análise do resíduo (Tabela 4). Apesar disso, essas concentrações não foram estatisticamente diferentes ao tratamento com adubação química.

Tabela 17. Teores foliares de macro e micronutrientes em *Corymbia citriodora* aos 3 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g Kg ⁻¹						mg Kg ⁻¹				
Testemunha	20	1,0	6	6	2,4ab	1,6	47	7	65	495	30c
Ad. Química	20	1,0	6	7	2,6ab	1,6	50	7	61	588	51abc
K+B	20	1,0	7	6	2,6ab	1,6	58	8	64	555	43cd
2,5+ K+B	19	1,0	7	9	2,9a	1,6	60	7	61	564	45abc
5,0+ K+B	20	1,0	6	7	2,3ab	1,6	58	8	59	421	44cd
10,0+ K+B	21	1,0	7	6	2,3ab	1,6	58	8	57	433	51abc
15,0+ K+B	20	1,0	7	8	2,5ab	1,6	57	7	57	547	79a
20,0 + K+B	22	1,1	7	6	2,2b	1,7	54	9	60	365	71ab
Teste F	1,2	1,2	0,6	2,1	2,5*	0,81	2,7	1,0	0,9	1,9	4,6
Linear	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,77*
CV (%)	8	7	16	20	12	5	9	18	7	20	20

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

A análise de regressão entre as doses de lodo e o teor de foliar de zinco aos três meses (Figura 18) mostrou-se positiva, ou seja, quando aumentou a dosagem, aumentou-se a concentração do micronutriente nas folhas. Sem o fornecimento do zinco, notou-se que sua concentração nas folhas permaneceu dentro da faixa indicada como adequada por Gonçalves et al. (2011) do nutriente nas folhas (10-18 mg Kg⁻¹).

Para o magnésio, notou-se diferença estatística no teste Tukey, indicando maiores teores foliares no tratamento onde se aplicou 2,5 Mg ha⁻¹ de composto de lodo de esgoto, diferindo do tratamento onde se empregou a maior dose do composto. Esse resultado não foi observado nas avaliações subsequentes (6, 9 e 12 meses).

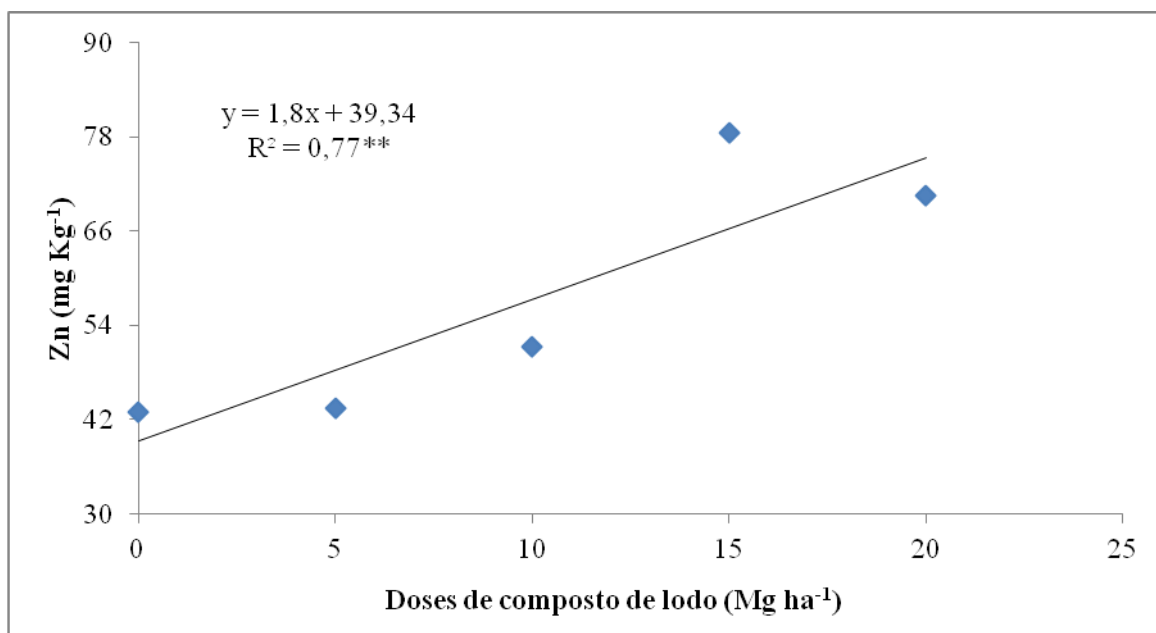


Figura 18. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg⁻¹) e doses de composto de lodo (Mg ha⁻¹), aos 3 meses de idade.

Ainda baseado nos valores adequados fornecidos por Gonçalves et al. (2011), apenas nitrogênio e ferro estão abaixo das concentrações consideradas adequadas.

As análises de solo e folhas aos seis meses de idade fornecem dados muito importantes da situação do povoamento, que se encontra na metade da rotação. Qualquer problema que ocorra neste período no tocante a distúrbios nutricionais e queda de produtividade pode ser ainda corrigido, via adubação de correção, caso seja viável.

No caso da absorção de zinco aos seis meses de idade, as concentrações ainda permanecem nas faixas consideradas como adequadas por Gonçalves (2011). Houve diferença estatística entre os tratamentos para as duas análises propostas (Tukey e regressão), retratando que quando se forneceu maiores quantidades de zinco via composto, os teores foliares aumentaram. Entretanto, nessa idade, a concentração foliar desse elemento no tratamento com 15 Mg ha⁻¹ foi superior estatisticamente à adubação química, o que não ocorreu aos 3 meses de idade.

A análise de regressão demonstrou que os teores foliares de zinco aumentaram quando se aplicou maiores quantidades do composto de lodo de esgoto (Tabela 18). Também se observou queda generalizada dos teores desse micronutriente na folha, fato que pode ser atribuído ao efeito de diluição.

Para o potássio, as faixas estão dentro do considerado adequado segundo Gonçalves et al. (2011). Com o aumento da idade, a demanda de potássio aumenta; portanto, seu monitoramento através da análise foliar e de solo é imprescindível para detectar possíveis deficiências e conseqüentemente queda de produtividade, sendo este macronutriente limitante da produção. A quantidade de potássio disponível nos primeiros 20 cm da maioria dos solos florestais é insuficiente para atender a uma demanda de K pelo *Eucalyptus spp.* com idade de aproximadamente 8 anos, conforme relatam Silveira e Malavolta (2000).

No caso do micronutriente boro, de grande importância em florestas de *Corymbia citriodora*, não se observou diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 18. Teores foliares de macro e micronutrientes em *Corymbia citriodora* aos 6 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g Kg ⁻¹ -----						----- g Kg ⁻¹ -----				
Testemunha	18	1,0	8	5	2,1	1,6	40	9	106	428	27c
Ad. Química	20	1,1	8	5	2,1	1,5	39	8	116	373	33bc
K+B	19	1,0	9	5	1,9	1,5	39	8	101	396	28c
2,5+ K+B	19	1,1	9	5	1,9	1,5	38	9	115	361	29c
5,0+ K+B	19	1,0	8	5	1,9	1,5	37	9	114	327	33abc
10,0+ K+B	27	1,0	8	4	1,9	1,5	35	9	111	308	35abc
15,0+ K+B	19	1,1	9	5	2,1	1,5	36	9	119	320	48a
20,0 + K+B	21	1,1	8	5	1,9	1,5	38	8	112	290	45ab
Teste F	1,2	0,5	1,6	0,9	1,0	0,6	0,7	0,6	1,4	1,5	5,9
Linear	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,84*
CV (%)	32	6	9	17	11	3	6	13	7	21	18

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

Para o nitrogênio, os teores foliares ainda podem ser considerados estão baixos, conforme os parâmetros de Gonçalves et al. (2011), e não refletiram em diferenças estatísticas aos seis meses.

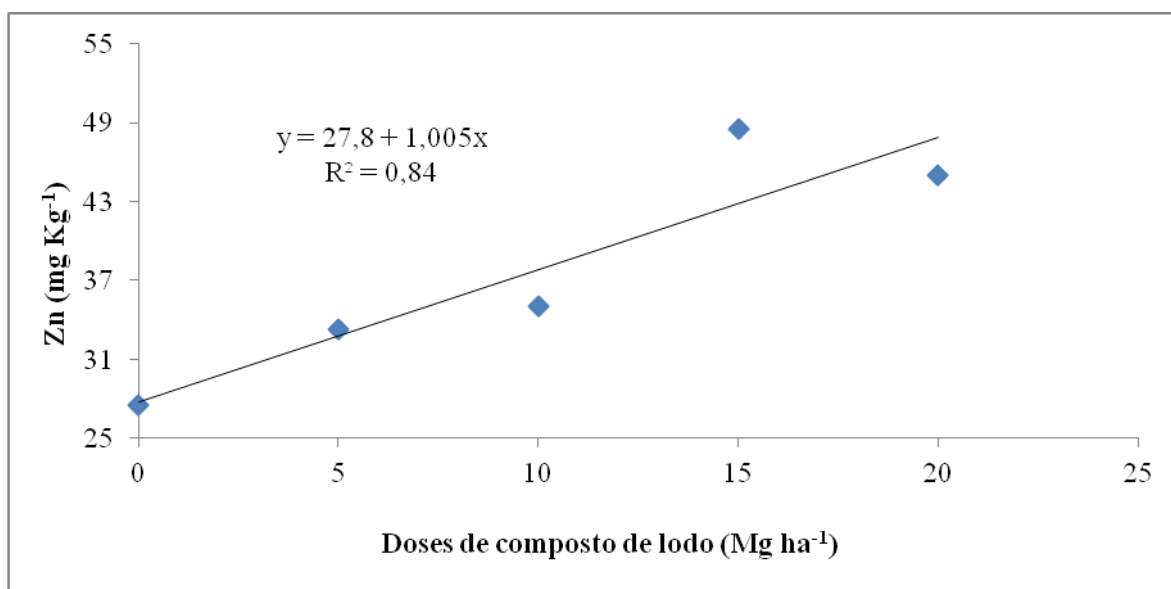


Figura 19. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg⁻¹) e doses de composto de lodo (Mg ha⁻¹) aos 6 meses de idade.

A respeito dos teores foliares de magnésio, os mesmos se encontram em uma faixa limítrofe entre a normalidade e a deficiência, porém esse fato não é explicado observando a análise de solo aos seis meses (Tabela 15), no qual o nutriente em questão apresenta concentrações consideradas adequadas utilizando como referência o padrão proposto por Gonçalves et al. (2011).

Aos nove meses após a instalação deste experimento (Tabela 19), os dados confirmam as pressuposições já feitas e mostram algumas tendências.

Para o nitrogênio, os resultados mostraram que a adubação química promoveu maiores concentrações do referido nutriente, e este foi diferente estatisticamente da testemunha. Para os tratamentos onde foi aplicado 15,0 e 20,0 Mg ha⁻¹ de composto de lodo, obteve-se teores foliares semelhantes à adubação convencional. Seguindo os parâmetros de Gonçalves et al. (2011), as faixas de nitrogênio foliar, incluindo o tratamento com fertilizantes convencionais, estão deficientes (Tabela 15).

O potássio manteve-se adequado aos valores padronizados por Gonçalves et al. (2011). Nesse período, entretanto, verificaram-se aspectos visuais de deficiência deste nutriente, como clorose marginal nas folhas (Figura 11). Esse fenômeno

foi verificado em árvores pertencentes às parcelas da testemunha. Verifica-se que mesmo sendo estatisticamente semelhantes em todos os tratamentos, quando não se aplica qualquer fonte de potássio há um decréscimo mesmo que ténue nos teores foliares, e este, mesmo se encontrando dentro do intervalo adequado, refletiram em deficiências visuais características (Figura 11).

Acerca dos micronutrientes, houve aumento expressivo dos teores em relação aos teores com 6 meses de idade, principalmente de ferro, manganês e de boro, embora os teores não sejam diferentes entre os tratamentos. Os mesmos se encontram dentro das faixas adequadas no que tange a teores de nutrientes nas folhas.

Os teores de cálcio também permaneceram adequados segundo Gonçalves et al. (2011), incluindo a testemunha, ressaltando-se que este nutriente além de nas folhas é de grande importância para formação da casca, onde se apresenta em altas concentrações. Silva et al. (2008), em experimento com doses de lodo úmido e seco e adubação química comum, verificaram valores de cálcio e magnésio abaixo dos prescritos por Gonçalves et al. (2011).

Guedes (2005), avaliando a ciclagem de nutrientes após a aplicação de biossólido alcalino no sistema, também verificou teores foliares de magnésio em concentrações baixas, e maior relação Ca/Mg quando aumentada a dosagem do resíduo, pelo fato do mesmo ter sido tratado com cal virgem. No caso do experimento de Guedes (2005), pode ter havido desbalanço nutricional causado pelo excesso de cálcio, o que pode ter induzido baixa absorção de magnésio.



Figura 20. Clorose marginal em folhas de *Corymbia citriodora* aos nove meses de idade.

Ainda aos nove meses após a instalação, não houve diferença estatística para teores foliares de fósforo (Tabela 19), sendo que os mesmos permaneceram

com valores similares a avaliação anterior, porém já adentram na faixa indicada como deficiente segundo o parâmetro empregado neste trabalho, ou seja, menor que $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$. É sabido que a absorção de fósforo decresce de forma acentuada ao longo do crescimento das árvores, relatado amplamente na literatura científica da área.

Tabela 19. Teores foliares de macro e micronutrientes em *Corymbia citriodora* aos 9 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g Kg ⁻¹ -----						----- g Kg ⁻¹ -----				
Testemunha	17b	0,7	7	7	2,2	1,6	52	8	147	488	28d
Ad. Química	19a	0,9	9	7	2,2	1,7	60	8	158	600	28d
K+B	16ab	0,8	9	8	2,0	1,6	55	10	168	645	29cd
2,5+ K+B	17ab	0,8	9	9	2,2	1,7	52	9	181	665	39bcd
5,0+ K+B	16b	0,8	8	7	2,1	1,7	56	10	167	537	35cd
10,0+ K+B	17ab	0,8	8	8	2,1	1,7	54	10	171	686	49abc
15,0+ K+B	18ab	0,9	9	8	2,3	1,7	58	10	177	589	57ab
20,0 + K+B	19ab	0,9	9	7	2,4	1,7	56	10	154	652	66a
Teste F	3,4*	1,7	1,2	1,0	1,0	0,6	0,5	1,1	0,9	2,1*	11,2
Linear	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,99**
CV (%)	7	16	12	21	7	13	7	16	12	9	15

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

No período de avaliação em questão, os teores foliares de zinco permaneceram bem acima das faixas consideradas como adequadas por Gonçalves et al. (2011). Para testemunha e o tratamento com K+B, os valores não se alteraram de maneira relevante dos encontrados aos seis meses, porém a adubação química apresentou decréscimo. Esse fato pode ser explicado pelo crescimento biométrico vigoroso das árvores adubadas com fertilizantes químicos, que diluíram na massa de folhas os níveis de zinco.

Houve significância estatística para regressão linear simples nesse período, destacando que as doses aplicadas resultaram em absorções crescentes, proporcionais às quantidades de zinco aplicadas pelo composto de lodo de esgoto (Figura 21). Observa-se também um aumento na significância da equação em relação as idades de 3 e 6 meses.

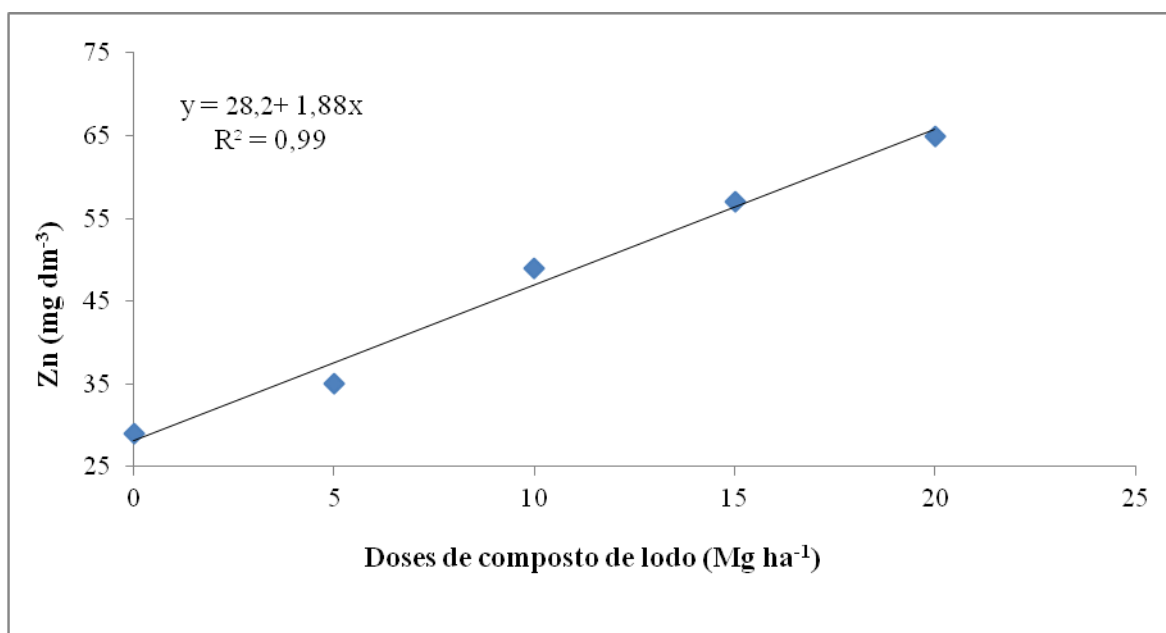


Figura 21. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg^{-1}) e doses de composto de lodo (Mg ha^{-1}) aos 9 meses de idade.

Aos doze meses de idade, época de coleta das folhas (final da rotação), percebe-se que não houve grandes alterações em comparação com as avaliações anteriores em geral (Tabela 20).

O nutriente potássio permaneceu dentro do intervalo considerado como adequado por Gonçalves et al. (2011), porém os sintomas visuais de deficiência continuaram a se manifestar em árvores do tratamento testemunha, com casos de início de necrose na margem do limbo foliar.

O fósforo, que até então possuía valores de teores próximos e em alguns casos dentro do estipulado como adequado pelo autor referenciado, apresentou decréscimo dos valores, adentrando em faixas consideradas deficientes. É difícil afirmar se estes teores propiciaram decréscimos em alguma variável, pois aos três e seis meses havia teores adequados do nutriente nas folhas, sendo que aos seis meses a análise de solo (Tabela 17) mostra a presença de fósforo em concentrações adequadas segundo parâmetros propostos por Gonçalves et al. (2011). Uma das causas possíveis desse fenômeno pode ser atribuída ao natural decréscimo de absorção do elemento ao passar do tempo, conforme já mencionado. O possível antagonismo entre os elementos fósforo e zinco é descartado devido ao fato do tratamento K+B ter apresentado semelhança quanto absorção de fósforo.

Aos doze meses após instalação, o comportamento dos teores foliares de zinco manteve-se semelhante ao das avaliações anteriores, confirmando o fato de que doses crescentes de composto de lodo proporcionaram maior absorção do nutriente (Figura 22). Os teores se mantiveram adequados para todos os tratamentos, segundo recomendações de Gonçalves et al. (2011).

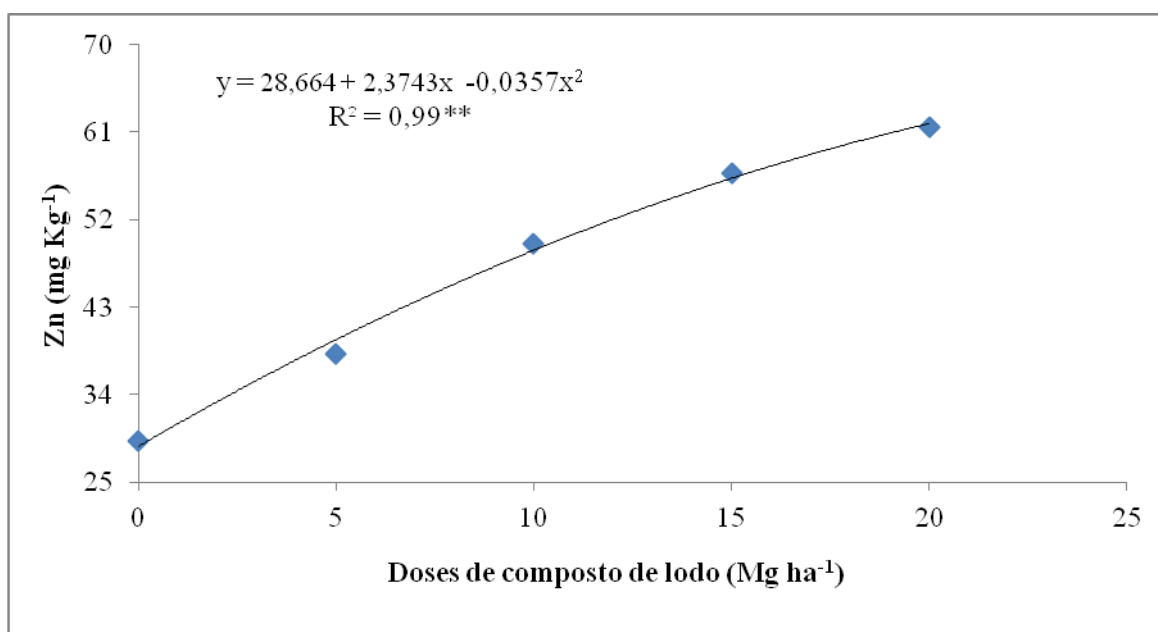


Figura 22. Regressão entre teores foliares de zinco (mg Kg⁻¹) e doses de composto de lodo (Mg ha⁻¹) aos 12 meses de idade.

Guedes (2005), em um estudo com doses de lodo base seca, adubação química e testemunha, verificou teores foliares de nitrogênio superiores ao deste experimento, na ordem de 22 g Kg⁻¹ e de fósforo acima de 1,1 g Kg⁻¹, porém com pico de

1,4 g Kg⁻¹. É válido ressaltar que esta avaliação foi realizada aos 5 anos após a fertilização, e que não houve diferença expressiva entre teores das parcelas adubadas tanto com lodo quanto com adubação química.

Acerca da absorção dos micronutrientes, pode-se destacar o boro, que na análise foliar sempre se manteve em concentrações adequadas em todas as avaliações, mesmo na testemunha. Na análise de solo realizada aos doze meses, notam-se concentrações de boro no solo em quantidades adequadas para todos os tratamentos exceto na testemunha, onde os valores permaneceram baixos (Tabela 16), segundo Gonçalves et al. (2011). Como mencionado, plantios de *Corymbia citriodora* têm sofrido com deficiências desse micronutriente, principalmente em regiões de estiagem intensas.

O fato que pode ter proporcionado fornecimento de boro ao povoamento mesmo em um solo arenoso, pedologicamente pobre em matéria orgânica, é o histórico da área atrelado ao grande volume de resíduos remanescentes da colheita do plantio anterior. A floresta em questão apresenta idade de quatro anos, e mesmo que o objetivo da produção seja a remoção de folhas, ocorre deposição de serrapilheira, constituída não somente de folhas, mas também de galhos de variadas dimensões. Essa deposição ao longo de quatro anos aliada com os resíduos de colheita, que contém principalmente casca e galhos, promoveu uma cobertura rica na superfície do solo, mitigando o efeito de fatores degradantes. Obviamente que os resíduos da colheita ainda não têm o papel de mineralizar e fornecer nutrientes às árvores de forma imediata e adequada, porém deve-se considerar que a queda de folhas durante quatro anos de floresta pode ter contribuído com o fornecimento de boro de forma adequada, resultando em um aporte desse nutriente na testemunha.

Outro fato a ser destacado é a diferença de concentração de boro no solo aos seis e doze meses, pois se notou que nos tratamentos onde foi aplicado o micronutriente houve aumento expressivo de concentração foliar entre as duas épocas amostradas, enquanto que a testemunha permaneceu praticamente inalterada quanto a esse parâmetro.

Tabela 20. Teores foliares de macro e micronutrientes em folhas de *Corymbia citriodora* aos 12 meses de idade, em função dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g Kg ⁻¹ -----						----- g Kg ⁻¹ -----				
Testemunha	17	0,8	7	7	2,2	1,6	51	8	148	600	28d
Ad.Química	16	0,8	8	7	2,1	1,6	59	8	159	590	27d
K+B	17	0,8	9	8	2,1	1,6	54	10	168	720	29cd
2,5+ K+B	17	0,7	9	9	2,3	1,6	50	9	181	668	39bcd
5,0+ K+B	16	0,7	8	7	2,0	1,7	51	10	168	512	38bcd
10,0+ K+B	16	0,7	8	8	2,1	1,6	50	10	172	636	50abc
15,0+ K+B	17	0,7	9	8	2,3	1,6	56	10	178	606	57ab
20,0 + K+B	17	0,8	9	7	2,3	1,6	54	10	154	475	61,5a
Teste F	0,4	0,8	1,3	1	0,9	0,3	0,6	1,2	0,9	1,2	9
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,99**
Quadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,41*	ns
CV (%)	7	16	12	21	9	4	15	16	12	17	22

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

5.7.1. Acúmulo de nutrientes na biomassa das folhas colhidas aos 12 meses de idade.

No que se diz respeito ao acúmulo de nutrientes na biomassa foliar aos 12 meses de idade, quando se coletou todas as folhas, deixando apenas o terço superior da copa das árvores, houve diferença estatística apenas para o zinco, tanto para Tukey como para regressão.

Para o nitrogênio, observa-se que os tratamentos que apresentaram quantidades similares ao apresentado pela adubação química foram as doses de 15 e 20 Mg ha⁻¹ de composto base seca.

No caso do fósforo, a doses de 20 Mg ha⁻¹ refletiram a mesma quantidade do que o tratamento químico, que apresentou a maior valor. Válido ressaltar que como não houve diferença expressiva entre os teores de fósforo aos doze meses de idade, coube à massa de folhas produzida pelos tratamentos evidenciar discrepância entre as quantidades de fósforo total presente nas árvores.

Para o nutriente potássio, também se destacou positivamente o tratamento onde se empregou a adubação química, bem como os tratamentos de 15 e 20 Mg ha⁻¹, sendo que esses três tratamentos destacados apresentaram quantidades totais de potássio semelhantes. No caso, este nutriente foi aplicado em quantidades iguais em todos os tratamentos onde se empregou o composto bem como na adubação química, podendo-se inferir que valores diferentes nas quantidades totais absorvidas refletiram o crescimento biométrico diferenciado das árvores, que apresentaram maior massa de folhas justamente nos tratamentos citados, devido um fornecimento mais adequado de todos os nutrientes.

No que se diz respeito às quantidades de magnésio e enxofre, evidenciou-se um comportamento semelhante desses dois nutrientes. A adubação química bem como as duas maiores dosagens do composto resultaram em quantidades semelhantes acumuladas e superiores aos demais tratamentos, ou seja, mais uma vez 15 e 20 Mg ha⁻¹ proporcionaram resultados promissores e semelhantes à fertilização química convencional, mesmo em uma rotação curta de apenas um ano.

Sobre os micronutrientes, boro e ferro apresentaram resultados coerentes com o que já foi mencionado, ou seja, as maiores médias se refletiram na adubação química e 15 e 20 Mg ha⁻¹ de composto. Neste caso, como houve complementação de boro na aplicação do composto, houve uma absorção adequada ao

longo do experimento; em tratamentos onde ocorreu maior crescimento dendrométrico das árvores, essa absorção foi proporcional, não resultando em distúrbios nutricionais. Quanto ao cobre e manganês, não houve diferença significativa entre tratamentos.

Para o micronutriente zinco, foi notado ao longo das avaliações que sua absorção foi considerável, ou seja, na medida em que se aumentou a dosagem do composto, houve expressivo incremento na absorção do micronutriente, e no caso da quantidade total contida na biomassa de folhas ocorreu o mesmo fenômeno. Para a adubação química, os teores foliares de zinco se encontraram dentro dos intervalos considerados como adequados por Gonçalves et al. (2011), porém quando se trata do seu conteúdo total na biomassa das folhas colhidas, este se deu de forma inferior comparado com as médias dos tratamentos de maiores doses composto de lodo (Tabela 21). Esse fato demonstra que como a produção de biomassa foliar das parcelas de 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹ não foi expressivamente discrepante ao da produzida pela adubação química, houve maior absorção de zinco quando o mesmo foi disponibilizado pelo composto (Figura 20).

O aumento da biomassa foliar juntamente a uma absorção elevada, propiciada pelo relevante conteúdo de zinco no composto de lodo (Tabela 4), resultou em quantidades maiores do micronutriente absorvido nos tratamentos onde se empregou maiores doses do material compostado (Figura 20).

A regressão linear (Figura 23) demonstrou que a espécie *Corymbia citriodora* foi altamente responsiva a fertilizações de zinco contido no composto, refletindo em teores foliares e quantidades totais bem superiores ao tratamento controle e adubação química.

Tabela 21. Quantidade total de nutrientes nas folhas, em função dos tratamentos aos 12 meses de idade.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g planta ⁻¹						g planta ⁻¹				
Testemunha	327	15	146	142	43	31	1,0	0,2	2,8	11,2	0,5c
Ad.Química	459	22	226	193	57	45	1,6	0,2	4,3	16,6	0,7c
K+B	369	17	193	184	45	35	1,2	0,2	3,7	16,0	0,6c
2,5+ K+B	347	15	178	170	46	33	1,0	0,2	3,6	13,3	0,7c
5,0+ K+B	358	16	184	163	45	36	1,1	0,2	3,6	11,2	0,8bc
10,0+ K+B	365	17	183	186	49	37	1,1	0,2	3,9	14,1	1,1abc
15,0+ K+B	425	18	224	204	56	41	1,4	0,3	4,4	15,4	1,4ab
20,0 + K+B	442	22	236	184	59	41	1,4	0,3	4,0	12,5	1,6a
Teste F	0,9	0,37	1,83	0,59	1,1	1,03	1,8	1,2	1,7	1	8,3**
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,99**
CV (%)	26	28	22	28	24	23	26	28	20	30	27

*Significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns = não significativo; letras iguais não diferem entre si para teste Tukey.

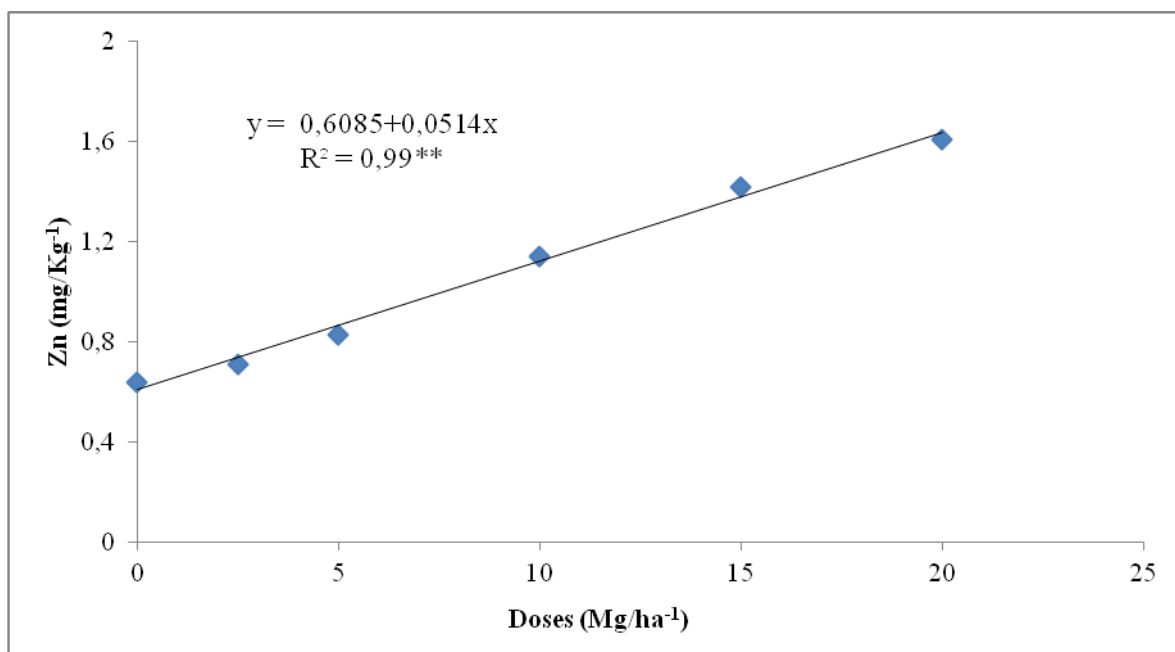


Figura 23. Regressão para quantidade de zinco total na biomassa de folhas aos 12 meses de idade.

A relevância que o micronutriente zinco adquiriu neste estudo demandou uma vasta pesquisa bibliográfica no sentido de explicar os motivos pelo qual a floresta absorveu quantidades expressivas ao longo da condução do experimento.

Sobre a absorção de zinco por povoamentos florestais, não há estudos que explicam claramente como esse processo ocorre. Recentemente as pesquisas sobre esse micronutriente mostram a importância em manter os seus teores adequados nas plantas, tanto para manutenção quanto incremento da produtividade, inclusive recomendando dosagens para *Eucalyptus spp.*, porém os mecanismos de absorção ainda não estão amplamente esclarecidos pelos trabalhos no campo da nutrição florestal.

Trabalhando com mudas em vaso de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna*) com a finalidade de fitorremediação em áreas contaminadas por zinco, Magalhães et al. (2011) detectaram teores altíssimos de zinco nas folhas, na ordem de 4500 mg Kg⁻¹ para *Eucalyptus urophylla*, cerca de 6 vezes acima dos valores considerados como níveis críticos de toxicidade (697,8 mg kg⁻¹) encontrados por Soares et al. (2005), para essa espécie, e muito superior à faixa de 100-400 mg kg⁻¹, considerada fitotóxica para o crescimento geral de espécies vegetais (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Magalhães et al. (2011) observaram sintomas de intoxicação por zinco nas mudas e morte das mesmas 30 dias após o transplante no tratamento onde houve maior absorção do elemento. Ressalva-se que teores foliares em mudas são

significativamente superiores aos encontrados em plantações adultas ou em pleno desenvolvimento vegetativo, porém mesmo assim, os números encontrados no trabalho de Magalhães et al. (2011) indicam que espécies distintas de eucalipto, e possivelmente os chamados Corymbias, como o *Corymbia citriodora*, podem absorver quantidades elevadas de zinco em detrimento de sua disponibilidade no solo até os níveis tóxicos, que causam mortalidade.

Eucalyptus spp. são espécies com grande plasticidade ambiental, com a habilidade de crescer em solos marginais, pobres e acumular altas quantidades de metais pesados (ARRIAGADA et al., 2004). No caso deste experimento, verificamos que a afirmativa feita por esses autores, é uma realidade. No caso, o zinco presente em grandes quantidades no solo se torna um problema de contaminação por metais pesados, e sua absorção por espécies de eucalipto foi significativa.

Além da capacidade de absorver grandes quantidades de zinco, um ponto que deve ser atentado e que possivelmente contribuiu para uma absorção elevada do referido micronutriente são as propriedades da matéria orgânica e suas frações como as substâncias húmicas e fúlvicas.

As substâncias húmicas contém um grande número de grupos funcionais OH, COOH, SH e CO, havendo grande afinidade para íons metálicos como o Zn^{+2} e Cu^{+2} . Muitos autores estudando as interações entre as substâncias húmicas e zinco, revelaram que os ácidos fúlvicos apresentam seletividade junto ao íon metálico, o que pode ser comprovado pelas constantes de estabilidade dos complexos e quelatos de ácido fúlvico e metal. Compostos orgânicos simples, como aminoácidos, são efetivos complexantes ou agentes quelantes para o zinco, o que aumenta a solubilidade e mobilidade deste metal no solo (SANTOS, 2005).

Stevenson e Ardakani (1972) ainda postulam que compostos orgânicos são responsáveis por complexos com Fe, Mn, Cu e Zn, o que diminuiria a solubilidade desses nutrientes às plantas, liberando-os gradualmente ao longo do tempo. Porém, os mesmo autores afirmam que quando complexados por ácidos fúlvicos a disponibilidade desses elementos pode ser aumentada. No caso deste experimento, a matéria orgânica bem como substâncias húmicas e ácidos fúlvicos podem ter contribuído enormemente na absorção de zinco, juntamente com a quantidade deste micronutriente expressa no composto de lodo (Tabela 4).

5.8. Análise econômica da relação benefício/custo

É consenso na literatura de que um projeto só é viável quando apresenta uma relação benefício/custo acima de 1, caso contrário, independente do horizonte do projeto ou de taxas de juro, o mesmo não é interessante economicamente. Por essa ótica, todos os tratamentos são viáveis para se produzir óleo essencial (Tabela 22).

Dentre os tratamentos, o mais vantajoso economicamente foi a testemunha absoluta, onde se gastou apenas com os tratamentos silviculturais básicos (controle da matocompetição com herbicida pós-emergente à base de *Gliphosate* e controle sistemático e localizado de formigas cortadeiras com isca formicida à base de Sulfluramida). A relação benefício/custo foi expressivamente superior aos demais tratamentos, como era previsto, sendo cerca de quatorze vezes maior do que o tratamento com adubação química (tratamento com maior custo).

A aplicação somente de bórax e cloreto de potássio três vezes ao longo da rotação representou na segunda melhor opção em termos econômicos, onde sua relação benefício/custo foi de 12,65, (Tabela 22).

Quando se aplicou o composto de lodo de esgoto, o frete foi um componente a ser destacado, pois caso houvesse uma distância expressiva da fonte produtora ao local de aplicação, a utilização deste produto poderia ter sido prejudicada. A respeito dos tratamentos onde se utilizou o composto, os valores da relação benefício/custo foi inversamente proporcional a quantidade do produto aplicado, ou seja, as maiores doses resultaram em menores relações B/C (benefício/custo). No comparativo com as características biométricas da floresta, o aumento das dosagens do composto resultou em incrementos maiores de produção de massa foliar, diâmetro de copa e outros, e esse aumento impactou na produção de óleo essencial (Tabela 13).

A relação benefício/custo resultante dos coeficientes econômicos levantados revelou, de forma mais expressiva, que o tratamento onde se empregou a adubação química resultou no manejo mais dispendioso, portanto na menor relação econômica utilizada (Tabela 22). Ainda assim, a relação ficou acima de 1, critério básico para definir um projeto como sendo viável.

Nesse contexto, vários parâmetros devem ser considerados, pois como já mencionado, a avaliação econômica é um componente acessório importante que atrelado às outras medições realizadas, fornece subsídios que permitam saber qual é a dose

ideal e tipo de manejo silvicultural a ser empregado. Além desses benefícios, a avaliação econômica, mesmo que seja feita de forma pontual, permite que o silvicultor saiba onde está incidindo os maiores custos e a partir dessa análise tentar mitigar esses gastos, sem que haja prejuízo da parte técnica ou comprometimento da qualidade da floresta em geral.

Dentre os tratamentos onde se aplicou composto de lodo de esgoto, os tratamentos com doses 2,5 Mg ha⁻¹ e 5,0 Mg ha⁻¹ apresentaram relações B/C similares, em torno de 6,5 e os tratamentos com 15 e 20 Mg ha⁻¹ por volta de 3,6 em média, mesmo assim, aproximadamente 3 vezes maior do que a adubação química convencional.

Tabela 22. Massa de óleo, receitas, custos e relação B/C dos tratamentos por ha.

Tratamentos	Massa óleo (Kg ha ⁻¹)	Receita bruta* (R\$ ha ⁻¹)	Custos Totais (R\$ ha ⁻¹)	Relação B/C
Testemunha	52,8	1584,00	70,00	22,63
Ad. Química	67,98	2039,40	1542,00	1,32
0 Mg ha ⁻¹ de composto	48,48	1454,40	115,00	12,65
2,5 Mg ha ⁻¹ de composto	48,57	1457,10	219,00	6,65
5,0 Mg ha ⁻¹ de composto	57	1710,00	269,00	6,36
10,0 Mg ha ⁻¹ de composto	65,58	1967,40	369,00	5,33
15,0 Mg ha ⁻¹ de composto	58,61	1758,30	469,00	3,75
20,0 Mg ha ⁻¹ de composto	64,17	1925,10	569,00	3,38

*Preço de venda da massa (Kg) do óleo essencial produzida em 1 ha nas condições de manejo de cada tratamento.

O tratamento testemunha proporcionou o melhor resultado na relação benefício/custo, e isso ocorreu devido a dois fatores: o rendimento de óleo essencial, que foi o mais alto (Tabela 11), compensando, mesmo que pouco, a baixa quantidade de massa foliar produzida pelas árvores, e o baixo custo, resultando em economia com qualquer tipo de insumo e aplicação. Sendo assim, quando se divide a receita bruta (pela venda do óleo) pelos custos, obtém-se a maior relação benefício/custo para a testemunha.

No critério silvicultural, foi relatado distúrbios nutricionais como clorose nas bordas do limbo foliar em árvores pertencentes à testemunha aos nove meses. Aos doze meses após instalação, o sintoma de clorose já havia evoluído para necroses e encurvilhamento das folhas, o que provavelmente causou queda de crescimento e de produção das árvores.

Nas áreas da empresa, há grande ocorrência de problemas de caráter nutricional que progrediram para danos ocasionados por fungos, sendo o caso mais comum a “queima” e morte do ponteiro nas épocas de estiagem, seguido de ataque de fungos “oportunistas” que causam cancro, e podem levar a morte das árvores. A adoção do manejo silvicultural sem a aplicação de qualquer tipo de fertilizante em uma rotação de um ano apresentou problemas, como o aparecimento de sintomas de clorose nas folhas das árvores (Figura 20). Portanto, nas rotações seguintes, há grande possibilidade desses problemas se agravarem e causar até a mortalidade de árvores e declínio da produção de óleo essencial.

Outro ponto a ser abordado é a produção do coproduto madeira, de extrema importância para a empresa, pois apresenta um preço estável e valorizado no mercado. A maior parte da madeira produzida depois que se encerra o ciclo de produção de óleo é para energia, e uma pequena parte é vendida para postes, mourões e serraria, produtos de alto valor de mercado. A fertilização balanceada proporciona acréscimo no incremento volumétrico de madeira, conforme vasta literatura técnica comprova, e por isso este é outro ponto que se deve considerar antes de adotar um tipo de manejo, pois o mesmo refletirá na produção de madeira ao longo prazo e na rentabilidade econômica sob um ponto de vista amplo e empresarial.

6. CONCLUSÕES

O *Corymbia citriodora* respondeu significativamente à adubação com composto de lodo de esgoto e à fertilização química quanto aos parâmetros biométricos de altura de plantas e diâmetro de copa.

O composto de lodo nas doses 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹ promoveu teores foliares equivalentes à adubação química aos 12 meses de idade, sendo ainda significativamente superior para Zn.

O aumento das doses do composto aumentou a absorção de zinco pelas árvores em todas as avaliações realizadas, além de promover um aumento nos teores de M.O, P, K, S, B, Cu e Zn do solo aos 12 meses (término da rotação).

A produção de massa de óleo essencial, assim como o seu rendimento, foi semelhante em todos os tratamentos, mas com tendência de ser superior nos tratamentos com adubação química, 10 e 20 Mg ha⁻¹ de composto de lodo de esgoto. O mesmos resultados foram observados para os parâmetros área foliar total, Índice de Cor Verde e massa de folhas verdes.

Os tratamentos não refletiram em aumento no teor de Citronelal, mas a concentração do mesmo ficou acima dos níveis exigidos pelo mercado para todos os tratamentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos urbanos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v.4, p. 391-479, 2005.

AGRIANUAL 2012: Anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2012. 512p.

ANDREOLLI, C.V.; FERNANDES, F.; LARA, A.I.; BONET, B.; DOMASZAK, S.C. A reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná. Workshop Sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana. **Anais**. 1997, p.83-104.

ANDRADE, C. A. **Nitrato e metais pesados no solo e em plantas em *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em solos e em nutrição de plantas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ANDRADE, C. A. **Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um latossolo cultivado com eucalipto**. 2004, 121f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ARRIAGADA, C., HERRERA, M.A., GARCIA-ROMERA, I., OCAMPO, J.A., Tolerance to Cd of soybean (*Glycine max*) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi. **Symbiosis**, v 36, p 285-301, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAL PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010/ ABRAF. Brasília, DF, p. 140 2010.

BERTON, R.S., CAMARGO, A.O., VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, p.187-192, 1989.

BACKES, C.; GUERRINI, I, A.; OLIVEIRA, M, R.; MIGGIOLARO, A, E.; CORRÊA, J, C.; BÜLL, L, T. Dinâmica do nitrogênio em função da aplicação de lodos de esgoto em

sistema de plantio direto. In: FERTIBIO, 2010, Guarapari. **Dinâmica do nitrogênio em função da aplicação de lodos de esgoto em sistema de plantio direto.** Guarapari:.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; NIDHI, S.; SHALINDER, K.; KOHLI, R. K. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; NIDHI, S.; SHALINDER, K.; KOHLI, R. K. Chemical composition and phytotoxicity of volatile essential oil from intact and fallen leaves of *Eucalyptus citriodora*. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C, Biosciences**, Tubingen, v. 61, n. 7/8, p. 465-471, 2006.

BERGER, R. Análise benefício-custo: instrumento de auxílio para tomada de decisões na empresa florestal. Piracicaba: IPEF. Circular Técnica, n. 97. 1980. 8 p.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M.H.; CHIPPENDALE, G. M. et al. **Forest trees of Australia**, 4. ed. Melbourne: CSIRO, 1994. 703p.

BERTOLINO, M. L. A questão ambiental: florestas e biodiversidade. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHI, 2007. p. 245-252.

BOLAND, D. J.; BROPHY, J. J.; HOUSE, A. P. N. **Eucalyptus leaf oils-** use chemistry, distillation and marketing. Melbourne: INKATA; ACIAR; CSIRO, 1991. 247p.

BRAGA, N. P. Influência da secagem no rendimento e na composição do óleo essencial das folhas de *Eucalyptus citriodora*. Campinas, 202. 151p. Tese Mestrado-Faculdade de Engenharia e Química. Universidade Estadual de Campinas.

BRAGA, N.P.; BRITTO, J.O.; CREMASCO, M. A. estudo do efeito da temperatura na composição do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* durante a secagem em leito fixo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. Anais são João del' Rey: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 5p.

CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 8, p. 163-178.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de Le como fertilizante. **Fertilizantes**, v. 63, n.2, p.1-4, 1981.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 375:** Uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados: critérios para projeto e operação. Brasília, 2006. 31p.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S.O.; KURE, L.K. et al. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p.237-248, 2002.

DORAN, J. C. Commercial sources, uses, formation and biology. In: BOLAND, D. J.; BROPHY, J. J.; HOUSE, A. P. N. **Eucalyptus leaves oils: use, chemistry, distillation and marketing**. Melbourne: Inkata, 1991. p. 11-28.

DUARTE, E.S.M. **Crescimento e teor de óleo essencial em plantas de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus globulus* tratadas como homeopatia**. 2007. 202f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

DUTCH, J. & WOLSTENHOLME, R. The effects of sewage sludge to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. **Forest Ecology and Management**, 66:151-163, 1994.

EVANS, J. **Plantation forestry in the tropics**. Oxford: Clarendon Press, 1992, p. 403.

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

FARIA, L.C. de. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica**. 2007. 105p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superios de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JÜRGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In: ANDREOLI, C. V.; ILHENFELD, R. G. K.; LARA, A.I (Ed.). **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de janeiro: PROSAB, 1999.cap.1, p. 16-33.

FERREIRA, M.; SIMÕES, J. W.; SCANAVACA JÚNIOR, L et al. Variação entre procedências, raças locais e progênies de *Eucalyptus citriodora* Hook e suas implicações no melhoramento genético. **Série científica**. IPEF- ESALQ, v.1, p. 1-19, 1993.

FÁVARO, E. A. et al. Boro e magnésio na produção de óleo essencial de *Corymbia citriodora* e teor de clorofila. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 39-46, jan./mar. 2011.

FIRME, L. P. **Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo-eucalipto tratado com lodo de esgoto**. 2009, 83p. tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FREIER, M.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinária**, n. 5, n. 2, p. 102-107, 2007.

GALANTI, S. **Produção de óleo essencial do *Eucalyptus citriodora* Hook, no município de Torrinha, Estado de São Paulo**. Viçosa: UFV, 1987. 49p. (Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal).

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus*, e espécies típicas da Mata Atlântica, Piracicaba, SP, v. 5, p.15, 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B. van & GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas & Fundação IAC, 1996. p.245-259. (Boletim Técnico 100).

GUEDES, M.C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ. 74p. 2000 (Dissertação de Mestrado em Ciências – concentração em Ciências Florestais).

GUEDES, M.C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto biossólido sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154f. Tese (Doutorado em Recursos florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia forestalis**. Piracicaba, n. 23, p. 188-201, 2003.

HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e municipais em áreas de reflorestamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.198, julho 2003. 21p.

HENRY, C.L.; COLE, D.W. & HARRISON, R.B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. *For. Ecol. Manag.*, 66:137-149, 1994.

JORGE, J.A, CAMARGO, O.A., VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo vermelho – escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.15, p.237-40, 1991.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 315 p.

LANG, A. R. G.; McMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun’s beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 58, p. 79-92, 1992.

LAMPRECHT,H. Silvicultura nos trópicos. Eschborn: GTZ, p. 343, 1990.

LASSAK, E. V. The Australian *Eucalyptus* oil industry, past and present. **Chemistry in Australia**, v. 55, p. 396-398, 1988.

LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantações de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia sanitária ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n.2, p. 207-216, 2008.

MAGALHÃES, M. O. L. et al. Potencial de duas espécies de Eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v.42, n.3, p 805-812, jul-set. 2011.

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.

MAFFEIS, A.R.; SILVEIRA, R. L. V. A.; BRITTO, J. O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial de *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 87-98, jun. 2000.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; SIQUEIRA, J.O. MOREIRA, F.M.S. Crescimento de mudas de espécies arbóreas em solo contaminado com metais pesados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3, Ouro Preto, 1997. **Anais...** Viçosa: SOBRADE; UFV/DPS/DEF, 1997. p.429-436.

MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R. F.; GUEDES, M. C.; GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicações de doses crescentes de biossólido. **Scientia forestalis**. Piracicaba, n.65, p. 207-218, jun. 2004.

McDONALD, M.A.; HAWKINS, B.J.; PRESCOTT, C.E. & KIMMINS, J.P. Growth and foliar nutrition of western red cedar fertilized with sewage sludge, pulp sludge, fish silage, and wood ash on northern Vancouver Island. **Can. J. For. Res.** , v 24, p 297-301, 1994.

McNAB, W.H. & BERRY, C.R. Distribution of aboveground biomass in three pine species planted on a devastated site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. **For. Sci.**, v 31, p 373-382, 1985.

MELO, W.J., MARQUES, M.O., SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **R. Bras. Ciência. Solo**, Viçosa, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL.;CAMARGO, O, A (Ed) **Impacto do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap.5, p.109-142.

MORTVEDT, J.J. **Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. Fertilizer Research**, Netherlands, n.43, p.55-61. 1996.

OLIVEIRA, C H R. et al. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de um clone de Eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.59-68, dez. 2008.

OLIVEIRA, M. D. M.; VEGRO, C. L. R. Custo de produção e rentabilidade na cafeicultura paulista: um estudo de caso. **Informações Econômicas**, v.34, n.4, p.33-44, 2004.

PANCEL, L. **Tropical forestry handbook**. New York: Springer-Verlag, p. 1738,1993.

PENDOLF, A. R.; WILLIS, J. L. **The eucalypts- botany, cultivation, chemistry and utilization**. London. Leonard Hill, 1961. 550p.

PÉREZ, P. V. et al. Efeito de biossólido no crescimento inicial de *Corymbia citriodora*. **Ambiência Guarapuava**, Guarapuava, V.7, n.1, p. 13-23, jan./abr. 2011.

PHILLIPS, R.; FISHER, J.T. & MEXAL, J.G. Fuelwood production utilizing *Pinus elliottii* and sewage sludge fertilizer. *For. Ecol. Manag.*, 16:95-102, 1986.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I., reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 8, p. 163-178.

POLGLASE, P.J. & MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biosolids in Australia. In: ELDRIGE, K.G.; CROWE, M.P. & OLD, K.M., eds. **THE JOINT AUSTRALIAN/JAPANESE WORKSHOP HELD IN AUSTRALIA**, 1., Sydney, 1996. Proceedings. Calligwood: CSIRO, 1996. p.100-109

PRYOR, L.D.; JOHNSON, L.A. S. **A classification of eucalyptus**. Canberra: ANU, 1971. 112p.

RAIJ, B. V. Uso agrícola de biossólidos In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS NO MERCOSUL, 1., Curitiba, 1998. Curitiba: SANEPAR, ABES 1998, 1998. P. 147-151.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RANGEL, O. P. J.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. G. R.; DYNIA, J. F. Acúmulo DE Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.1, p. 15-23, 2004.

REZENDE, C.I.O. **Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do subbosque, na serrapilheira e no solo de um talhão de *E. grandis***. 2005. 81f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D, R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I- Atributos físicos e revegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 34, 535-542, 2010.

RUNNING, S. W.; COUGHLAN, J. C. A general model of forest ecosystem processes for regional applications: I. Hydrological balance, canopy gas exchange and primary production processes. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 42, p. 125- 154, 1988.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta.** 2000. 85p. Dissertação **diretor de uso e disposição dos lodos das ETEs da RMSP - Aterro Exclusivo.** 2005. Disponível em:

<http://www.sabesp.com.br/a_sabesp/tecnologia/apresentacao/plano_diretor_aterro_exclusivo.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2012.

SANTOS, G.C.G.; ABREU,C.A.; CAMARGO, O.A.; ABREU, M.F. Pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seus efeitos na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, V.61, n.3, p.257-266, 2002.

SILVA, P. H. M.; BRITO, J. O.; SILVA JUNIOR, F. G. Potential of eleven *Eucalyptus* species for the production of essential oils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 1, p. 121-127, jan./fev. 2006.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; BRITO, J. O.; MOREIRA, R. M. Produção de óleo essencial e balanço nutricional em *Corymbia citriodora* adubado com lodo de esgoto em diferentes espaçamentos. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n.3, p 346-354, jul./set. 2009.

SILVA, P. H.; 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**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, mar. 2008.

SILVA, F.C. da, 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.33, n.1, p.1-8, 1998

SILVEIRA, R.L.V.A; MALAVOLTA, E. Nutrição e Adubação Potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, n.91, set. 2000.

SIQUEIRA, E. R.; RIBEIRO, F.E.; CARVALHO, P. E. R.; DRUMOND, M. A. Comportamento inicial de espécies florestais exóticas na região da Mata Atlântica de Sergipe. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 16, n.1, p. 13-17, 2002.

SOARES, C. R. F. S. et al. Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, p. 175-183, 2005.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modelling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, Philadelphia v. 253, p. 130- 147, 2001.

SOOPER, W, E.; SEAKER, E.M.; BASTIAN, R.K. **Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge**, University Park; Pennsylvania State University Press, 1988.

STAPE, J.L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, SP, v 11, n30, p.51-62, mai. 1997.

STEVENSON, F.J.; ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: SSSA, 1972 Chap. 5, p79-114, 1972.

STIPP, S. R; CASARIN, V. A importância do Enxofre na agricultura Brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.129, mar./2010.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.64, p.150- 162, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. de M. Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.. In: **Revista Sitientibus** - n. 26 - p. 151-174. Feira de Santana, 2002. Disponível em: <www.scielo.br>. Acesso em: 8 jun. 2004.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. de M. .Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.. In: **Revista Sitientibus** - n. 26 - p. 151-174. Feira de Santana, 2002. Disponível em: <www.scielo.br>. Acesso em: 8 jun. 2004.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito nos atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, núm. 3, 2002, pp. 747-758, 2002.

VERA-CALDERÓN, L.E.; FERREIRA, A.C. M. Estudo da economia de escala na piscicultura em tanque-rede no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.1, p.7-17, jan. 2004.

VIEIRA, I. V. **Estudos de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K. D. Hill & L. A. S. JOHNSON procedente de Anhembi SP- Ex. Atherton QLD – Austrália**. 2004, 100f. Dissertação (Mestrado m Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VITTI, A. M. S.; BRITO, O. J. **Óleo essencial de eucalipto**. Documentos Florestais. Piracicaba: ESALQ, p.26. 2003.

VITTI, A. M. S. Avaliação do crescimento e do rendimento e qualidade do óleo essencial de procedências de *Eucalyptus citriodora*. Piracicaba, 1999. 71p. Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

WEETMAN, G.F.; McDONALD, M.A.; PRESCOTT, C.E. & KIMMINS J.P. Responses of western hemlock, Pacific silver fir, and western red cedar plantations on northern

Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. *Can. J. For. Res.*, 23:1015-1020, 1993.