

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA
FERTILIDADE DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DE
EUCALIPTO**

Vitor Corrêa de Mattos Barretto

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, *Campus* de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

SETEMBRO DE 2008

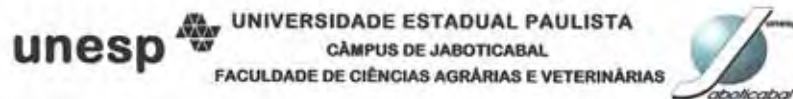
Barretto, Vitor Corrêa de Mattos
B273r Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e
no desenvolvimento de eucalipto / Vitor Corrêa de Mattos Barretto. --
Jaboticabal, 2008
vii, 64 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: Sérgio Valiengo Valeri
Banca examinadora: Miguel Luís Menezes Freitas, Iraê Amaral
Guerrini, Rinaldo César de Paula, Mara Cristina Pessoa da Cruz
Bibliografia

1. Adubação orgânica. 2. Composto. 3. Nutrição Florestal. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 634.0.2:631.872

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Jaboticabal.



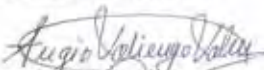
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA FERTILIDADE DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO

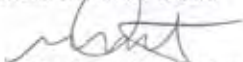
AUTOR: VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO

ORIENTADOR: Dr. SERGIO VALIENGO VALERI

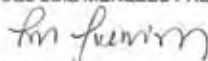
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:



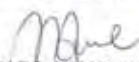
Dr. SERGIO VALIENGO VALERI



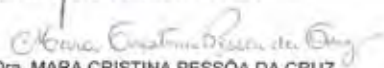
Dr. MIGUEL LUIZ MENEZES FREITAS



Dr. IRAE AMARAL GUERRINI



Dr. RINALDO CÉSAR DE PAULA



Dra. MARA CRISTINA PESSÔA DA CRUZ

Data da realização: 29 de setembro de 2008.



Presidente da Comissão Examinadora

Dr. SERGIO VALIENGO VALERI

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO - filho de Antonio Luiz Nardy de Mattos Barretto e Marineide Corrêa de Mattos Barretto, nascido em 30 de janeiro de 1977 na cidade de Santos, São Paulo. Formou-se em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras, MG, em 2000. Obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *Campus* de Jaboticabal, em 2003. Em 2004 iniciou o doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *Campus* de Jaboticabal. Atualmente é Professor substituto nos cursos de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, GO, e no curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) em Urutaí, GO.

Aos meus pais,
Antônio Luiz e Marineide que sonharam com
este grande momento;

Aos meus irmãos,
Vanessa e Antônio Luiz, pelo carinho e
amizade;

Aos amados tios,
Osvaldo e Marina que me proporcionaram
realizar tudo o que tenho;

À minha namorada Flávia,
pelo amor, compreensão e incentivo nos
momentos decisivos da elaboração desse
trabalho;

E aos seus pais,
Wlandemir e Teresa, pela torcida e apoio

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me fortaleceu e me concedeu mais uma graça em minha vida.

Ao Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri, pela orientação, amizade, dedicação, ensinamentos, inesgotável força e incentivo durante todo o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida e pelo auxílio financeiro (taxa de bancada) que possibilitaram a realização deste trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal e aos professores do programa de pós-graduação, pelo aperfeiçoamento profissional.

À Votorantim Celulose e Papel S/A, nas pessoas da Eng^a. Florestal Celina Ferraz do Valle, Eng. Florestal Ernesto Norio Takahashi, Walmir Franciscatte e Ailton Carlos da Silva pelo suporte técnico para a realização do trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Lenine Corradini pelo apoio técnico e amizade.

Aos membros da Comissão Examinadora: Dr. Miguel Luiz Menezes Freitas, Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, Prof. Dr. Rinaldo César de Paula, Prof^a. Dr^a. Mara Cristina Pessôa da Cruz e Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, pela participação e sugestões apresentadas.

Aos irmãos de república: Claudenir Franco Facincani, Luís Fernando Braghirolli, Nei André Arruda Barbosa, Leandro Sanches Simplício de Oliveira, Vinícius Espúrio Cavalari, Tulíbio Fernandes da Silva e André Luís Matheus Ghivotto, pela amizade e convivência. E à Edna Aparecida Moiteiro (Veia loka) e sua filha Márcia pela alegria e força de vida.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	ix
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 Referências.....	4
CAPÍTULO 2 – RESPOSTA DO EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	7
2.1 Introdução.....	8
2.2 Material e Métodos.....	9
2.2.1 Localização.....	9
2.2.2 Solo e Composto.....	9
2.2.3 Determinação das Doses do Composto e Preparo do Solo.....	10
2.2.4 Instalação e Condução do Experimento.....	11
2.2.5 Avaliações.....	12
2.2.6 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas.....	13
2.3 Resultados e Discussão.....	13
2.3.1 Atributos de Fertilidade do Solo.....	13
2.3.2 Crescimento e Produção de Matéria seca.....	19
2.3.3 Concentrações e Quantidades de Nutrientes e Sódio nas Folhas.....	24
2.4 Conclusões.....	33
2.5 Referências.....	33
CAPÍTULO 3 – RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA FERTILIDADE DO SOLO, NO DESENVOLVIMENTO DAS ÁRVORES E PRODUÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO.....	38
RESUMO.....	38
3.1 Introdução.....	39
3.2 Material e Métodos.....	41
3.2.1 Descrição da Área de Estudo e Preparo do Solo.....	41
3.2.2 Instalação e Condução do Experimento.....	44
3.2.3 Avaliações.....	46
3.2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística	47
3.3 Resultados e Discussão.....	48
3.3.1 Atributos de Fertilidade do Solo.....	48
3.3.2 Crescimento e Produção de Madeira.....	52
3.3.3 Teores e Quantidades de Nutrientes e Sódio nas Folhas.....	56
3.4 Conclusões.....	59
3.5 Referências.....	60

RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA FERTILIDADE DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO

RESUMO – Foram conduzidos experimentos em casa de vegetação e em condições de campo, com os seguintes objetivos: a) avaliar o efeito de doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo, no desenvolvimento, na produção de matéria seca e na concentração e acúmulo de nutrientes nas folhas de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*; b) avaliar os efeitos da aplicação em diferentes épocas de dois resíduos da indústria de celulose e papel (lodo ativado e não decomposto e dregs + grits), no desenvolvimento das árvores, produção de madeira e acúmulo de nutrientes nas folhas de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. As principais conclusões foram: a) A aplicação de composto de resíduos de indústria de celulose e papel (CRICP) propiciou ganhos em altura aos 60 dias após o plantio em colunas de PVC, em diâmetro do coleto e em produção de biomassa das plantas de eucalipto aos 120 dias. O CRICP resultou em aumento no valor de pH e nos teores de Ca e Mg do solo. Também elevou os teores de P, K e Na no solo. A concentração nas folhas e o acúmulo de P, K, Ca e S aumentaram com a aplicação do composto; b) Os resíduos da fábrica de celulose e papel são eficientes corretivos da acidez do solo. A aplicação de 8 t ha⁻¹ de dregs + grits no plantio proporcionou maior crescimento em diâmetro e produção de madeira de eucalipto do que a aplicação de 15 t ha⁻¹ de lodo ativado não decomposto. Essa dose elevou os teores de Ca e Mg e a porcentagem de saturação por bases de Latossolo Vermelho distrófico para valores adequados para uma produtividade de madeira de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 6,5 anos, quando aplicados no plantio ou três meses após o mesmo.

Palavras-Chave: adubação orgânica, compostagem, macronutrientes

INDUSTRIAL RESIDUES FROM PULP AND PAPER MILL ON SOIL FERTILITY AND EUCALYPT DEVELOPMENT

SUMMARY – Experiments in greenhouse and field were carried out with the objectives: a) to evaluate the effect of industrial residues from pulp and paper mill compost rates on soil fertility, on development, on dry matter production and nutrient contents and accumulation in the leaves of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clone; b) to evaluate the application effects in different times of two industrial residues from pulp and paper mill (cellulose sludge and dregs + grits) on tree development, wood production and nutrient accumulation in the leaves of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clone. The main conclusions were: a) the industrial residues from pulp and paper mill compost (IRPPMC) application promoted increases on height at 60 days after planting, on stem diameter and on biomass production of eucalypt plants at 120 days. The IRPPMC increase the pH value and Ca and Mg soil content. The P, K, and Na soil content also increased. The P, K, Ca e S contents and accumulation in the leaves were increased with compost application; b) industrial residues from pulp and paper mill are efficient in the liming of soil acidity. The application of 8 Mg ha⁻¹ of dregs + grits promoted major growth on diameter and on wood production of eucalypt that 15 Mg ha⁻¹ of activated sludge in combination with chemical fertilizer application. This dose increased Ca and Mg and the base saturation of Red Latosol (Oxisol) to adequate values to reached 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ wood productivity, at 6,5 years, when application was in the plantation or three months later.

Keywords: composting process, macronutrients, organic manure,

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

No Brasil existem aproximadamente seis milhões de hectares de florestas plantadas para diversos fins, dos quais três milhões são ocupados pelo gênero *Eucalyptus* e o restante por outros gêneros. O setor florestal brasileiro contribui com 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, representando US\$ 37,3 bilhões (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2007).

A produção nacional de celulose foi de 11,8 milhões de toneladas em 2007 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), e o Brasil é o país que mais exporta celulose branqueada de madeira de eucalipto. Estima-se que a produção anual de celulose chegará a 14,5 milhões de toneladas até 2012 (GUERRA, 2007).

A crescente demanda por produtos provenientes da indústria de celulose e papel é responsável pela elevação da produção de celulose e, conseqüentemente, de resíduos sólidos gerados durante o processo de produção, sendo que, para cada tonelada de celulose produzida são gerados 800 kg de resíduos sólidos (GUERRA, 2007).

Os resíduos das indústrias florestais são as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico e que não são incorporadas ao produto final. Na produção de celulose são considerados resíduos a casca, a lama de cal, o lodo ativado e a cinza de caldeira da queima de biomassa (BELLOTE et al., 1998).

As cascas representam o maior percentual (24%), seguido pela lama de cal (22%), lodos primário e ativado (17%), “dregs e grits” (14%) e cinzas (11%), conforme NOLASCO et al. (2000), embora haja variações nas quantidades geradas em cada empresa.

O processo “Kraft” é o processo químico mais empregado para a produção de celulose de eucalipto. Esse processo usa no cozimento da madeira, sulfeto e hidróxido de sódio (licor branco) como os agentes químicos ativos, em pH ajustado entre 13 e 14 no início do cozimento. Durante o cozimento, as fibras são separadas por meio da dissolução da lignina e de parte das hemiceluloses no licor de cozimento, transformando-o em licor negro. O processo “Kraft” também é conhecido como “sulfato”,

pois na recuperação química do licor negro no processo, as perdas dos compostos químicos inorgânicos são feitas com sulfato de sódio.

A lama de cal é um resíduo de coloração branca formado predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3), extraída da caustificação do licor verde, ou seja, após a adição de óxido de cálcio (CaO).

Dregs significa escória, sedimento. É um material sólido, de cor escura, com odor característico, sedimentado e removido na clarificação do licor verde. Durante esse processo de clarificação as impurezas, são separadas por sedimentação, tais como: carbono não queimado, ferro, sílica, cálcio, alumina, magnésio e sulfetos. O dregs é lavado e processado em filtro a vácuo, para remover o máximo possível de álcali e água (ALBUQUERQUE et al., 2002).

Grits, que significa grânulo, é o resíduo sólido e granulado de cor amarelada, sem odor e pouco solúvel, resultante do processo de calcinação da lama de cal e do calcário nos fornos de cal. A ação do grits, que contém 88% de CaCO_3 e 2% de NaOH , na correção da acidez do solo avaliada pelo aumento do valor do pH e neutralização do Al^{3+} do solo, foi semelhante a do carbonato de cálcio (TEDESCO & ZANOTO, 1978).

De acordo com PAJARA et al. (2003), dregs e grits são resíduos alcalinos sólidos que apresentam alto valor de neutralização (VN), granulometria desuniforme, altos teores de cálcio e sódio e teores relativamente baixos de magnésio, fósforo, potássio e metais como Pb, Zn, Cu, Ni e Cd, e geralmente são descartados em aterros a céu aberto.

Os agricultores cujas propriedades estão próximas às indústrias de celulose usam esses resíduos alcalinos como corretivo da acidez do solo, que têm um baixo custo de aquisição (ALBUQUERQUE et al., 2002).

O lodo orgânico, após passar por decantadores primários do sistema de tratamento de efluentes, é chamado de lodo primário, e é composto por restos de fibras não utilizadas na produção de papel. É pobre em nutrientes e apresenta relação C/N alta (150 a 250). No tratamento secundário, o lodo é ativado por microrganismos aeróbicos, com adição de nitrogênio e fósforo e injeção de oxigênio, sendo denominado de lodo ativado ou secundário, com relação C/N baixa (5 a 30). Posteriormente, o lodo é

floculado através de tratamento com sulfato de alumínio e polieletrólitos, seguido de decantação e correção do valor de pH com calcário, antes de ser levado para a área de depósito (GUERRINI, 2003).

As cinzas são os resíduos gerados nas caldeiras auxiliares de energia, com a combustão de cavacos e carvão mineral. É uma mistura homogênea de frações de areia, moinha de carvão e cinzas. Indústrias com capacidade de produção de 1000 t por dia de celulose geram, aproximadamente, 80 t por dia de cinzas (NOLASCO et al., 2000).

O efeito benéfico das cinzas na fertilização de cobertura é devido a sua composição química e à lenta solubilização dos macro e micronutrientes, podendo ser grosseiramente comparada a uma fórmula NPK de relação (1:3:7) mais cálcio, magnésio e micronutrientes (NOLASCO et al., 2000).

Dessa forma, a aplicação dos resíduos em plantios florestais é considerada viável, pois eles apresentam características favoráveis aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Além disso, os solos destinados aos plantios florestais normalmente possuem baixa fertilidade natural, o que resulta em menores produtividades.

A presença de nutrientes na composição dos resíduos permite o uso como fertilizantes, além de serem reaproveitados como corretivos de acidez do solo. Ainda, o reaproveitamento desses resíduos minimiza os impactos econômicos e ambientais da disposição final de seus componentes (TRIGUEIRO, 2006).

De acordo com BARROS et al. (2000), muitas florestas são limitadas em seu crescimento devido às deficiências nutricionais, as quais podem ser supridas através da aplicação de resíduos orgânicos. Os resíduos oriundos da produção de celulose e papel estão sendo usados no condicionamento e na fertilidade do solo, melhorando as propriedades necessárias para o desenvolvimento da cultura florestal (BELLOTE et al., 1994; GUERRINI & MORO, 1994).

BELLOTE et al. (1994), em experimento com aplicação de cinzas e resíduo celulósico (lodo) em *Eucalyptus grandis*, observaram que os maiores teores foliares de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram obtidos nos tratamentos em que foram aplicadas maiores quantidades de cinza e resíduo celulósico (50 t de cada). Os autores

observaram diminuição na acidez do solo e aumentos nos teores das bases trocáveis potássio, cálcio e magnésio, redução dos teores de alumínio trocável, influenciando no aumento do valor da saturação por bases do solo (V%).

As empresas florestais, preocupadas com a gestão de resíduos sólidos, têm desenvolvido projetos para destinar e reutilizar os resíduos, aumentando assim, o tempo de uso dos aterros industriais (GUERRA, 2007).

Os resultados da pesquisa realizada com resíduos da indústria de celulose e papel serão apresentados nos capítulos subseqüentes, na forma de artigos científicos, cujos objetivos foram: avaliar a aplicação de composto de resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade de um Neossolo Quartzarênico e no desenvolvimento inicial de um clone de eucalipto, em casa de vegetação (Capítulo 2) e avaliar o efeito da aplicação do lodo ativado e dregs + grits na fertilidade do solo e em plantas de eucalipto até 6,5 anos de idade (Capítulo 3).

1.1 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1065-1073, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2007**. Brasília. 2008. 87 p. Disponível em:<<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF08-BR.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2008.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 269-286.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106. 1998.

GUERRA, M. A. S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 2003. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 188-215.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.

PAJARA, F. F. D.; TEIXEIRA, J. R.; BISSANI, A.; GIANELLO, C. Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústrias de celulose na correção da acidez do solo – II aspectos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil Florestal**. São Paulo. 2007. 110 p. Disponível em:<<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2008.

TEDESCO, M. J.; ZANOTTO, D. L. Utilização de resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez do solo. **Agronomia sulriograndense**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 329-336, 1978.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de “dregs e grits” nos atributos de um Neossolo Quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CAPÍTULO 2 – RESPOSTA DO EUCALIPTO À APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO EM CASA DE VEGETAÇÃO

RESUMO – Objetivou-se avaliar a aplicação de composto de resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade de um Neossolo Quartzarênico e no desenvolvimento inicial de um clone de eucalipto, em casa de vegetação. Foram avaliadas cinco doses de composto de resíduos de celulose e papel (0; 3,4; 7,9; 12,8; 18,6 t ha⁻¹, base seca). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com seis repetições. Usou-se amostras de um Neossolo Quartzarênico, coletado nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Depois de 30 dias de incubação do solo (0-20 cm) com o composto orgânico, amostras do solo foram coletadas e analisadas quimicamente. O solo foi colocado em colunas de PVC compostas por três anéis correspondentes a cada camada. Aos 120 dias, foram feitas avaliações da altura, do diâmetro do coleto, da matéria seca, das concentrações e do acúmulo de nutrientes nas folhas das plantas. A aplicação de composto de resíduos de indústria de celulose e papel propiciou ganhos em diâmetro do coleto e na produção de biomassa em plantas de eucalipto, bem como proporcionou aumento nos valores de pH e nos teores de P, K, Ca, Mg e Na no solo, favorecendo incrementos na concentração e acúmulo de P, K, Ca e S e diminuição de N nas folhas.

Palavras-Chave: *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, nutrição florestal, resíduos

2.1 INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais apresentam elementos químicos de interesse agrônômico em sua composição e, além do emprego como fertilizantes, têm potencial para serem reaproveitados como corretivos de acidez. Além disso, o reaproveitamento desses resíduos minimiza os impactos econômicos e ambientais da disposição final de seus componentes (TRIGUEIRO, 2006). Segundo GUERRINI (2003), a aplicação de resíduos orgânicos produzidos pelas empresas florestais em povoamentos de eucalipto permite menor aquisição de corretivos e fertilizantes. Ainda, os resíduos de origem orgânica melhoram os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, o que é de particular interesse nas áreas de reflorestamento, visto que o cultivo de eucalipto é feito em solos arenosos de baixa fertilidade e elevada acidez.

Como tratamento para os resíduos sólidos, as indústrias do setor de celulose e papel realizam a compostagem de resíduos orgânicos em usinas apropriadas, a partir da montagem de leiras com cascas de madeira misturadas com lodo ativado da estação de tratamento de efluentes e posterior adição de outros resíduos.

O composto resulta da ação de microrganismos, que modifica os resíduos orgânicos com relação C/N alta em compostos estáveis e humificados, com relação C/N baixa, permitindo sua aplicação diretamente no solo, sem prejuízos ao desenvolvimento inicial das plantas.

Nos processos industriais para fabricação de celulose e papel há a geração de resíduos que contêm altos conteúdos de cálcio e sódio (lama de cal, dregs e grits), resultando em um composto rico nestes elementos. Por isso, recomenda-se a aplicação de lama de cal e a mistura de dregs e grits em doses baixas (4 t ha^{-1}), com monitoramento periódico das concentrações de sódio, tanto no solo quanto nas plantas (NOLASCO et al., 2000).

Ainda não há resultados sobre doses de composto de resíduos químicos de celulose e papel, embora as indústrias do setor estejam aplicando cerca de 10 t ha^{-1} de composto orgânico nos povoamentos de eucalipto.

A maioria dos estudos sobre efeitos de compostos orgânicos na fertilidade de solo e na nutrição de plantas estão relacionados a resíduos orgânicos urbanos. Embora

as reações de decomposição dos compostos no solo sejam semelhantes, a composição química de cada composto apresenta particularidades. Sendo assim, há a necessidade de mais informações quanto à quantidade e efeitos de compostos orgânicos no solo e na planta de eucalipto.

GUERRINI (2003) verificou que o uso de compostos orgânicos de resíduos da indústria de celulose e papel (CRICP) pode substituir as adubações químicas de plantio e de cobertura aos três meses, na cultura do eucalipto, em Neossolo Quartzarênico.

Diante dos benefícios do reaproveitamento dos resíduos da indústria de celulose e papel nos povoamentos florestais e da necessidade do monitoramento dos efeitos no solo e nas plantas, com o presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito de doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo, no crescimento, na produção de matéria seca e na concentração e acúmulo de nutrientes nas folhas de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Viveiro Experimental de Plantas Ornamentais e Florestais da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, *Campus* de Jaboticabal – SP, no período de 28 de maio de 2007 a 24 de março de 2008.

2.2.2 Solo e Composto

O solo usado como substrato foi o Neossolo Quartzarênico, de baixa fertilidade natural, proveniente de uma área ocupada anteriormente por vegetação de cerrado do município de Santa Rita do Passa Quatro – SP, e que não recebeu calagem e adubo. A coleta do solo foi realizada nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, separadamente, em fevereiro de 2007.

O solo foi seco, passado em peneira de 4 mm de abertura de malha e homogeneizado. De cada camada de solo foi obtida amostra representativa para a

realização de análise granulométrica no Laboratório de Física do Solo, usando-se o método da pipeta (EMBRAPA, 1979). A análise química de rotina foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, empregando os métodos de avaliação de fertilidade do solo descritos em RAIJ et al. (1987). Os resultados da análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises química e granulométrica do Neossolo Quartzarênico, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Prof. cm	P resina mg dm ⁻³	M O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V	Argila	Silte	Areia
				-----mmol _c dm ⁻³ -----					%	----- g kg ⁻¹ -----		
0-20	5	21	3,8	0,3	1	0,2	2	60	3	70	30	900
20-40	3	19	3,9	0,1	1	0,2	1	65	2	90	40	870
40-60	2	12	3,9	0,1	1	0,1	1	53	2	90	40	870

O composto de resíduos da indústria de celulose e papel (CRICP) foi produzido na Central de Compostagem da International Paper do Brasil - IPBr, Unidade de Luiz Antônio – SP. O composto foi produzido a partir da combinação de diferentes resíduos, nas seguintes proporções, em massa: lodo ativado (62%), cinzas (8%), dregs (11%), rejeito de digestor (1%), borra de carbonato de cálcio (3%), grits (0,1%) e casca (15%). O composto orgânico foi obtido após 120 dias de compostagem em leiras.

Amostra do composto foi seca, homogeneizada e enviada ao Laboratório “João Carlos Pedreira de Freitas” da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda. (Cooxupé), em Guaxupé – MG, para caracterização química, de acordo com TEDESCO et al. (1985). Os resultados foram: umidade 7%; pH em CaCl₂, 10,0 e, na amostra seca, C orgânico, 107 g kg⁻¹; N, 4 g kg⁻¹; Relação C/N, 27, P, 1,9 g kg⁻¹; K, 7,6 g kg⁻¹; Ca, 114,2 g kg⁻¹; Mg, 6,7 g kg⁻¹; S, 1,5 g kg⁻¹ e Na, 16,2 g kg⁻¹.

2.2.3 Determinação das Doses do Composto e Preparo do Solo

Previamente a instalação do experimento em casa de vegetação foi preparada curva de neutralização da acidez do solo com o composto. Quantidades equivalentes a 0; 5; 10; 15; 20 e 25 t ha⁻¹ de composto foram misturadas a 0,2 dm³ de solo e a mistura

foi mantida úmida a 60% da capacidade de retenção de água, por 30 dias, em ambiente de laboratório. Empregou-se delineamento inteiramente ao acaso com três repetições. Após a incubação, as amostras foram preparadas para análise química (RAIJ et al., 1987) e, de acordo com os resultados, foi estimada regressão polinomial em função das doses de composto.

A equação obtida foi $V = 2,69 + 3,768x - 0,03667x^2$, com coeficiente de determinação (r^2) de 98,8%, e por meio desta, foram calculadas as doses de CRICP (x) variando os valores de $V\%$ (y) em 0; 15; 30; 45 e 60%.

As doses de CRICP equivalentes a 0; 3,4; 7,9; 12,8; 18,6 t ha⁻¹ foram misturadas a porções de 6,8 dm³ de solo da camada superficial (0-20 cm) e permaneceram em incubação, em vasos de plástico preto com capacidade para 7 dm³, sendo mantida a umidade a 60% da capacidade de retenção de água do solo, com água deionizada. Ao final de um mês, amostra de 0,5 dm³ de solo de cada vaso foi seca e homogeneizada para análise química de rotina (RAIJ et al., 1987).

2.2.4 Instalação e Condução do Experimento

O experimento em casa de vegetação foi conduzido em colunas de PVC compostas por três anéis de 20 cm de diâmetro e altura, exceto o anel superior (0 - 20 cm) que foi de 22 cm de altura para receber a água de irrigação, unidos por fita adesiva, e um “cap” de PVC, como um recipiente de base preenchido com areia grossa e fina previamente lavadas contendo um pedaço de mangueira de plástico para drenagem.

As paredes internas dos anéis receberam uma camada de resina líquida e de areia grossa e fina lavadas para criar rugosidade na superfície da coluna e evitar o escoamento preferencial de água pelas paredes dos anéis de PVC.

As colunas de PVC foram preenchidas com o solo das três profundidades, com auxílio de um funil de haste longa, empregando-se 6,3 dm³ de solo de cada profundidade, totalizando um volume de solo de 18,9 dm³ por coluna, de modo que o solo da camada de 40-60 cm ocupou o anel inferior; o de 20-40 cm, o intermediário, e o de 0-20 cm o anel superior. Posteriormente, foram colocadas sobre suportes de ferro com duas alças, para facilitar a pesagem de controle de umidade do solo.

Em 8 de julho de 2007 foi realizado o plantio de mudas de clone de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake nas colunas de PVC. A procedência do *E. grandis* (planta-mãe) é Coffs Harbour e do *E. urophylla* é de Timor. As mudas foram obtidas por miniestaquia em tubetes de 50 cm³ e apresentavam uma altura média da parte aérea de aproximadamente 25 cm no dia do plantio.

Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida em aproximadamente 60% da capacidade de retenção de água, com base no peso, aplicando-se água deionizada na parte superior do anel.

2.2.5 Avaliações

Aos 60 e 120 dias foi determinada a altura das plantas, correspondente à distância entre a superfície do solo e a inserção da gema apical, com fita métrica (trena de 5 m).

No encerramento do experimento, aos 120 dias, foi feita a medição do diâmetro do coleto das plantas, medido a 5 cm do solo, com auxílio de um paquímetro digital MITUTOYO modelo CD-6. Em seguida, as plantas foram separadas em folhas, caule e ramos, lavadas em água corrente, em solução de detergente neutro (1 mL L⁻¹) e em água deionizada, por três vezes. Os componentes da plantas foram secos em estufa com circulação forçada de ar, a aproximadamente 70°C, até massa constante, para obtenção da produção de matéria seca dos mesmos. As folhas foram moídas e uma amostra de cada parcela foi coletada para análises químicas. O material sofreu digestão nítrico-perclórica para a determinação das concentrações de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de P por colorimetria, de K e Na por fotometria de chama e de S por turbidimetria. O N total foi determinado após digestão sulfúrica, por destilação em aparelho Kjeldahl e quantificação por titulação (BATAGLIA et al., 1983). A quantidade de macronutrientes e sódio nas folhas foi calculada multiplicando-se a massa de matéria seca pela concentração dos mesmos nas folhas.

2.2.6 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso com seis repetições, e cada parcela foi composta por coluna de PVC contendo solo e uma planta, totalizando 30 parcelas.

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de F da análise de variância e os efeitos significativos das doses foram avaliados por meio de análises de regressão polinomial.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Atributos de Fertilidade do Solo

Os resumos das análises de regressão e variância para os atributos de fertilidade do solo após incubação com o composto são apresentados na Tabela 2.

O composto propiciou aumentos lineares significativos ($P < 0,05$) nos valores de pH em CaCl_2 e nas concentrações de P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Houve efeito quadrático para Na^+ . Contudo, não foi observado efeito significativo ($P < 0,05$) nos teores de matéria orgânica (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo dos resultados das análises de regressão, de variância e médias dos atributos de fertilidade do solo a 0-20 cm de profundidade, em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel após incubação por 30 dias.

Causas de variação	Quadrados Médios (significâncias)						
	P	MO	pH	K	Ca	Mg	Na
Reg Linear	412,9**	0,83ns	15,62**	2,63**	1903,4**	9,82**	115,97**
Reg. Quadrática	0,11ns	0,27ns	0,02ns	0,008ns	5,92ns	1,08ns	0,19*
Doses	103,7**	2,95ns	3,92**	0,67**	482,38**	2,87**	29,07**
Resíduo	0,43	3,30	0,004	0,009	4,77	0,26	0,04
C.V.%	6,45	8,15	1,42	11,41	18,04	33,4	5,87
Doses	----- Médias -----						
t ha^{-1}	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	CaCl_2	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$			
0	5	22	3,7	0,4	1	1	1
3,4	7	23	4,2	0,7	6	1	2
7,9	10	23	4,6	0,8	13	2	3
12,8	12	21	5,2	1,0	17	2	7
18,6	16	23	5,8	1,3	24	2	6

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

A adição de composto elevou significativamente ($P < 0,05$) o pH do solo de 3,7 para 5,8 na profundidade de 0-20 cm na maior dose (Figura 1A). O aumento de 2,1 unidade no pH para cada $18,6 \text{ t ha}^{-1}$ de composto aplicado, deve-se a presença de carbonatos e óxidos de cálcio na composição, o que confere ao composto característica de corretivo de acidez do solo (NOLASCO et al., 2000). A mistura de dregs e grits apresenta um poder de neutralização médio de 82%, de acordo com WALDEMAR & HERRERA (1986) e BERGAMIN et al. (1994).

O teor de P aumentou significativamente ($P < 0,05$) de 5 para 16 mg dm^{-3} com a adição do composto, sendo este aumento linear em função das doses (Figura 1B). O aumento na disponibilidade de P no solo deve-se à presença do nutriente no composto e devido ao aumento do valor de pH. Segundo NOVAIS & SMYTH (1999), o aumento do pH do solo até próximo a 7,0 propicia uma maior disponibilidade de P, uma vez que, em condições ácidas, ocorre reação do H_2PO_4^- com as formas iônicas de Fe e Al, formando compostos de baixa solubilidade, além de maior adsorção do ânion por óxidos de Fe e Al presentes na fase sólida.

GUERRINI (2003) constatou que a aplicação de compostos orgânicos de resíduos de indústria de celulose e papel elevaram os teores de P no solo aos 3 e aos 6 meses após plantio.

O teor de matéria orgânica não variou significativamente ($P < 0,05$) com a aplicação do composto após a incubação do solo (Tabela 2).

O teor de K^+ no solo no tratamento sem aplicação de composto foi de 0,4 e aumentou para $1,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na maior dose (Figura 2A), o que representa um aumento de aproximadamente três vezes. Este incremento é pequeno e fez o teor variar de muito baixo a baixo.

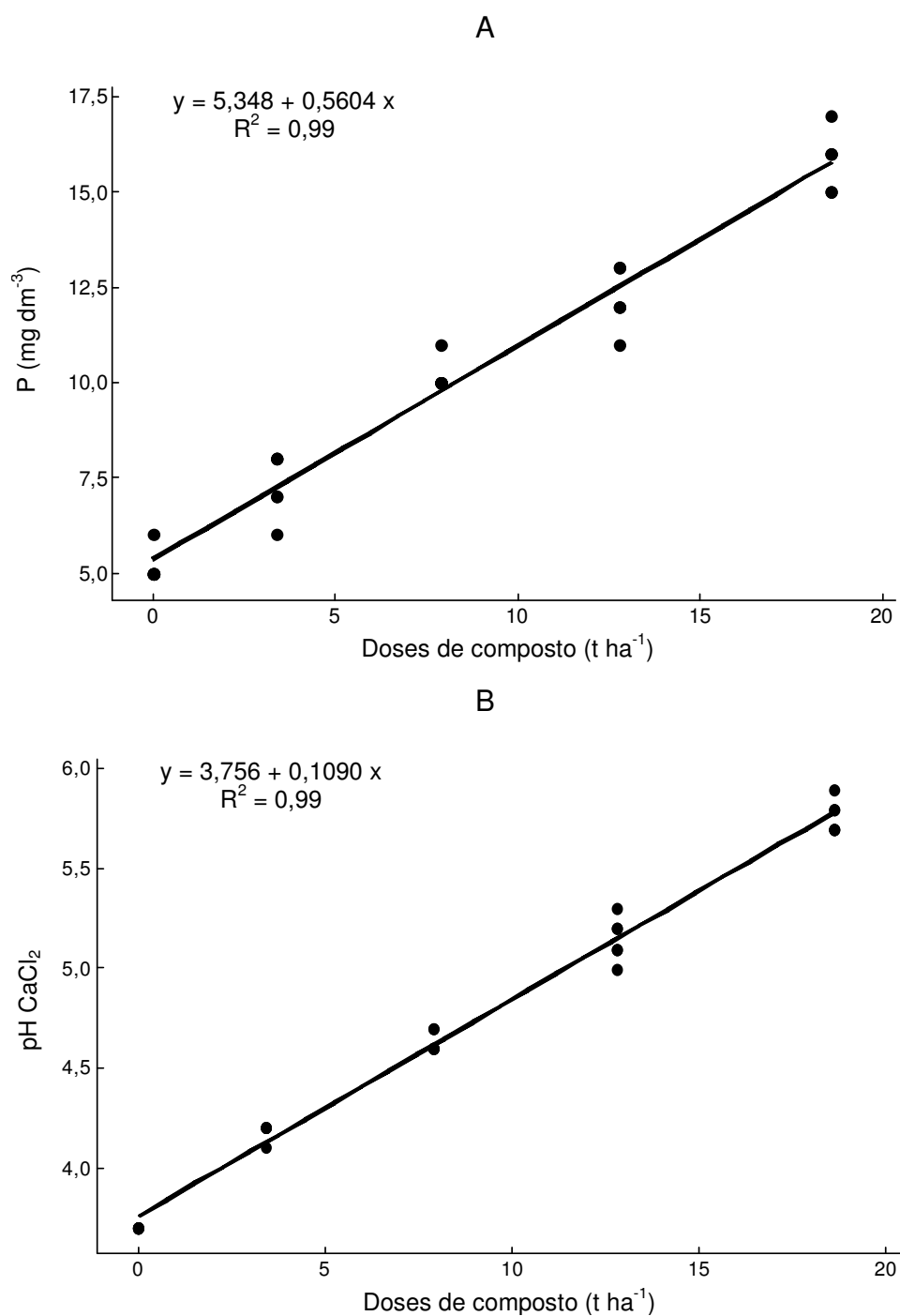


Figura 1. Variação do teor de P (A) e do valor de pH (B) no solo em função das doses de composto de resíduos da indústria de celulose e papel após a incubação por 30 dias.

VIDOTTI (2007) verificou variação de K^+ no solo de 0,23 a 2,13 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ usando o mesmo composto de resíduo da indústria de celulose com a aplicação das doses de 0; 5; 10; 15; 20 e 25 t ha^{-1} .

O Ca^{+2} aumentou de 1, no tratamento testemunha, para 24 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca^{+2} , na maior dose (Figura 2B) em relação à testemunha, o qual é considerado alto no solo ($> 7 \text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$). O aumento deste nutriente deve-se à composição do composto, que é rico nesse nutriente.

Para o Mg^{2+} houve aumento significativo com a aplicação de composto em relação à testemunha (Figura 3A).

Estudos realizados por BELLOTE et al. (1994) em *Eucalyptus grandis* mostraram que os tratamentos que receberam as maiores quantidades de cinza e resíduo celulósico (50 t de cada) apresentaram diminuição na acidez e redução de alumínio, o que proporcionou aumentos de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e influenciou o aumento da saturação por bases do solo (V%).

GUERRINI et al. (1994) também observaram aumentos de cálcio com a utilização da mistura de cinza de biomassa e resíduo celulósico (lodo decomposto). De acordo com os autores, o aumento de cálcio foi devido à alta concentração desse elemento e da quantidade no resíduo usado.

Houve aumento de sódio (1 a 6 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo com a aplicação do composto (Figura 3B). A maior concentração de Na^+ (6 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) foi observada com a aplicação 18,56 t ha^{-1} de composto, o que representa 12% de saturação do elemento na CTC. Esse valor está abaixo do nível de sais considerado prejudicial em solos, que é de 15% de sódio trocável na CTC (BOHNEN et al., 2000; GLÓRIA, 2002).

A aplicação ao solo de composto rico em sódio e potássio pode promover o aumento das concentrações destes elementos na solução do solo, causando o aumento da condutividade elétrica, o deslocamento de cálcio e magnésio adsorvidos no complexo de troca e a dispersão dos colóides (MELO et al., 1997). Para OLIVEIRA (2000) e ABREU JÚNIOR et al. (2000), tais problemas podem ser agravados em casos de aplicações sucessivas de composto orgânico em regiões com baixos índices pluviométricos. A elevada adição de Na^+ poderá conduzir à sodicidade.

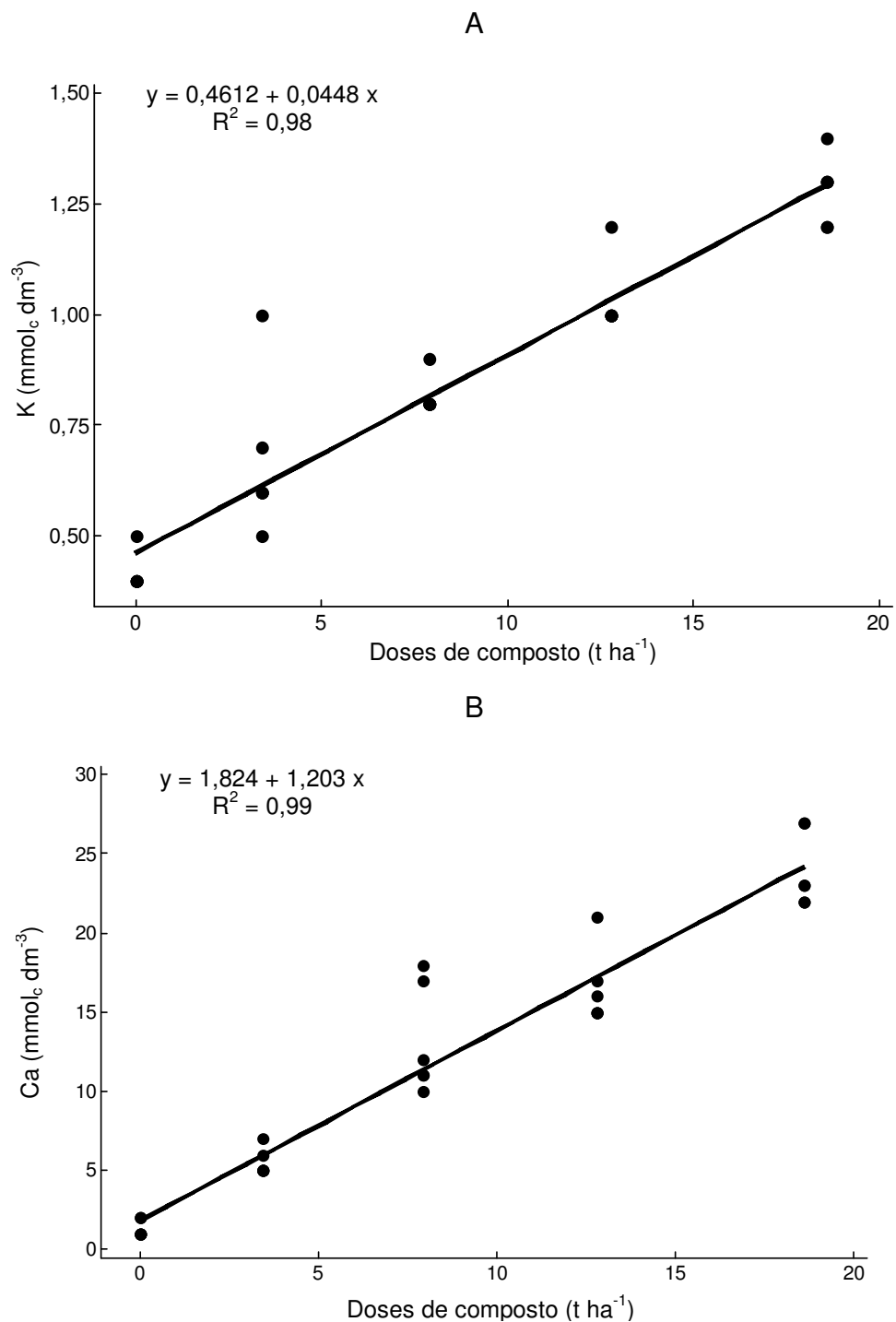


Figura 2. Variação do teor de K (A) e Ca (B) no solo em função das doses de composto de resíduos da indústria de celulose e papel após a incubação por 30 dias.

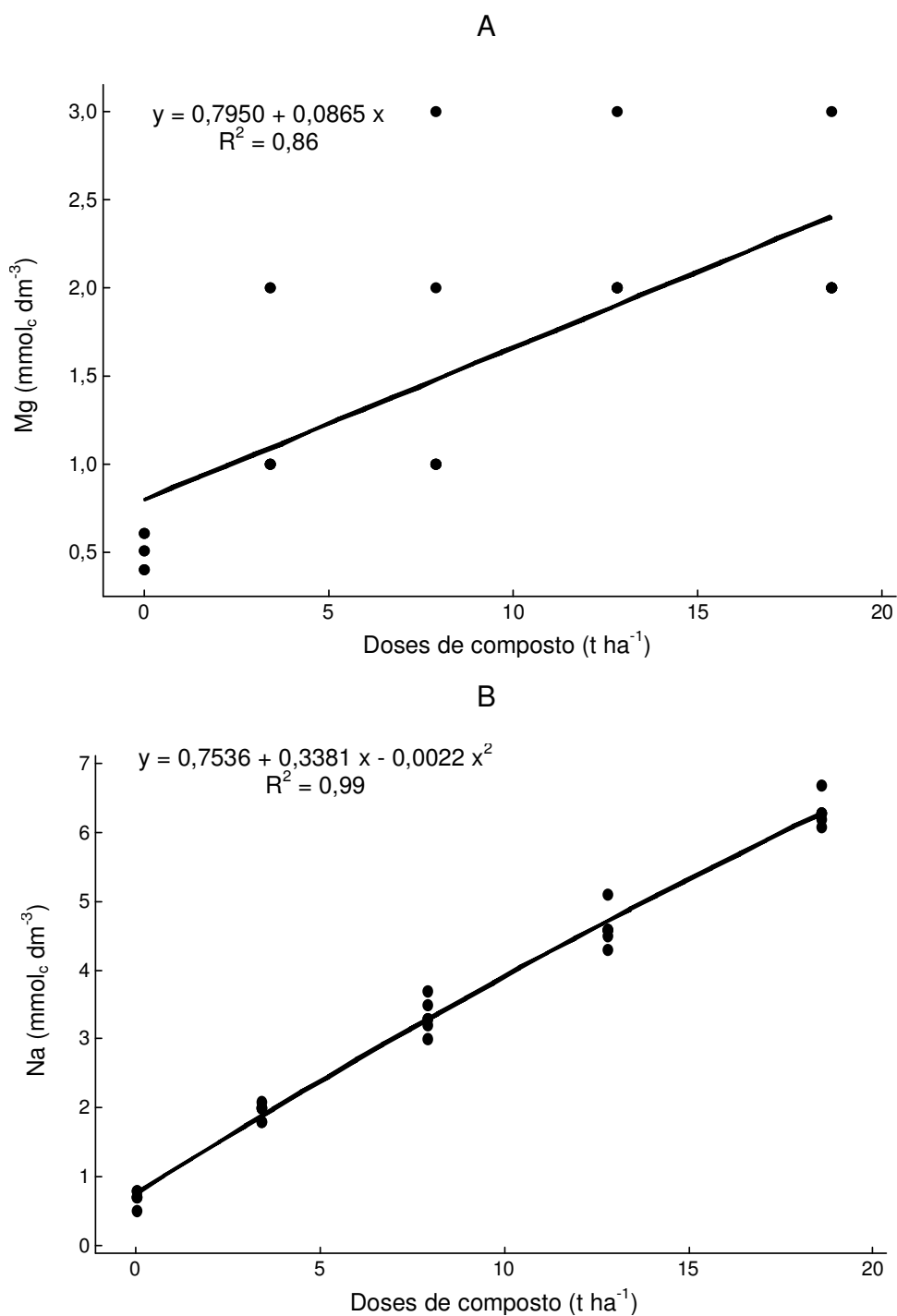


Figura 3. Variação do teor de Mg (A) e Na (B) no solo em função das doses de composto de resíduos da indústria de celulose e papel após a incubação por 30 dias.

2.3.2 Crescimento e Produção de Matéria Seca

Os resumos dos resultados das análises de regressão, variância e médias para a altura de eucalipto avaliada aos 60 e 120 dias e diâmetro do coleto, aos 120 dias após plantio, em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel (CRICP) são apresentados na Tabela 3.

O CRICP influenciou significativamente ($P < 0,05$) o crescimento em altura das plantas de eucalipto aos 60 dias, porém não houve efeito significativo aos 120 dias (Tabela 3 e Figura 4).

GUERRINI (2003) constatou que a aplicação de compostos orgânicos de resíduos de indústria de celulose e papel não favoreceu o crescimento em altura de eucalipto em condições de campo até os seis meses de idade.

Para diâmetro do coleto houve efeito significativo ($P < 0,05$) das doses de CRICP aos 120 dias após o plantio (Tabela 3). O diâmetro apresentou efeito quadrático para as doses de composto orgânico (Tabela 3 e Figura 4). O maior diâmetro do colo (12,11 mm) correspondeu a aplicação de $12,8 \text{ t ha}^{-1}$ de CRICP (Figura 4). Essa variável, em geral, é a mais usada na avaliação da capacidade de sobrevivência da muda após o plantio, muito indicada para auxiliar na definição das doses de fertilizantes a serem aplicadas, objetivando a avaliação da produção e qualidade de mudas arbóreas (CARNEIRO, 1995).

Tabela 3. Resumo dos resultados das análises de regressão, de variância e médias para altura das plantas em função das doses de composto de resíduos de celulose e papel, aos 60 e 120 dias após plantio e para diâmetro do coleto, aos 120 dias após plantio.

Causas de variação	Quadrados Médios (significâncias)		
	Alturas		Diâmetro
	60 dias	120 dias	
Reg Linear	157,85**	128,05ns	3,17*
Reg. Quadrática	2,13ns	22,51ns	2,46*
Doses	56,67**	80,1ns	1,55*
Resíduo	12,37	44,0	0,51
C.V.%	6,04	8,37	6,10
Doses	----- Médias -----		
t ha^{-1}	cm	cm	mm
0	55,2	76,8	10,85
3,4	58,0	80,1	11,81
7,9	55,3	74,3	11,99
12,8	61,1	82,3	12,11
18,6	61,7	82,8	11,95

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

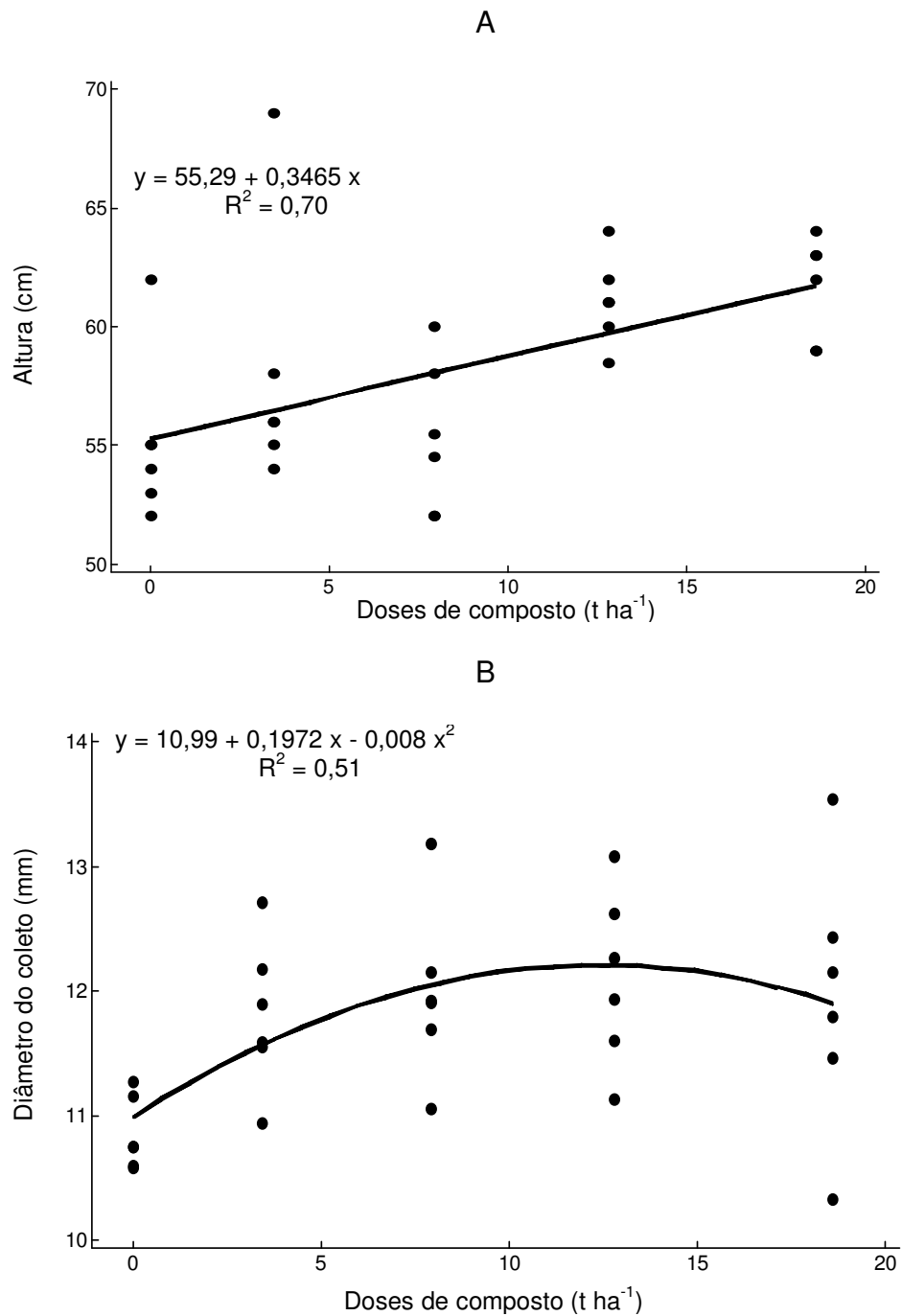


Figura 4. Variação da altura (A) e do diâmetro do coleto (B) de eucalipto em função das doses de composto de resíduos da indústria de celulose e papel, aos 60 e 120 dias após plantio, respectivamente.

Os resumos dos resultados das análises de regressão, variância e médias para a produção de matéria seca dos componentes da parte aérea de eucalipto são apresentados na Tabela 4.

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da aplicação do composto e as produções de biomassa aumentaram de forma linear para todos os componentes da parte aérea de eucalipto (Figuras 5 e 6).

Tabela 4. Resumo dos resultados das análises de regressão, de variância e médias para matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), ramos (MSR) e total (MST) em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Causas de variação	Quadrados Médios (significâncias)			
	MSF	MSC	MSR	MST
Reg Linear	458,49**	78,26**	63,97**	1463,63**
Reg. Quadrática	10,44ns	0,24ns	1,44ns	24,25ns
Doses	120,09**	21,66**	16,60**	380,3**
Resíduo	6,96	2,78	0,80	23,9
C.V.%	6,87	11,20	9,74	7,83
Doses	----- Médias -----			
t ha ⁻¹	----- g planta ⁻¹ -----			
0	33,1	12,6	6,9	52,5
3,4	35,1	14,2	8,4	57,8
7,9	38,1	14,0	9,1	61,2
12,8	42,5	16,6	10,27	69,3
18,6	43,3	17,1	11,2	71,6

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

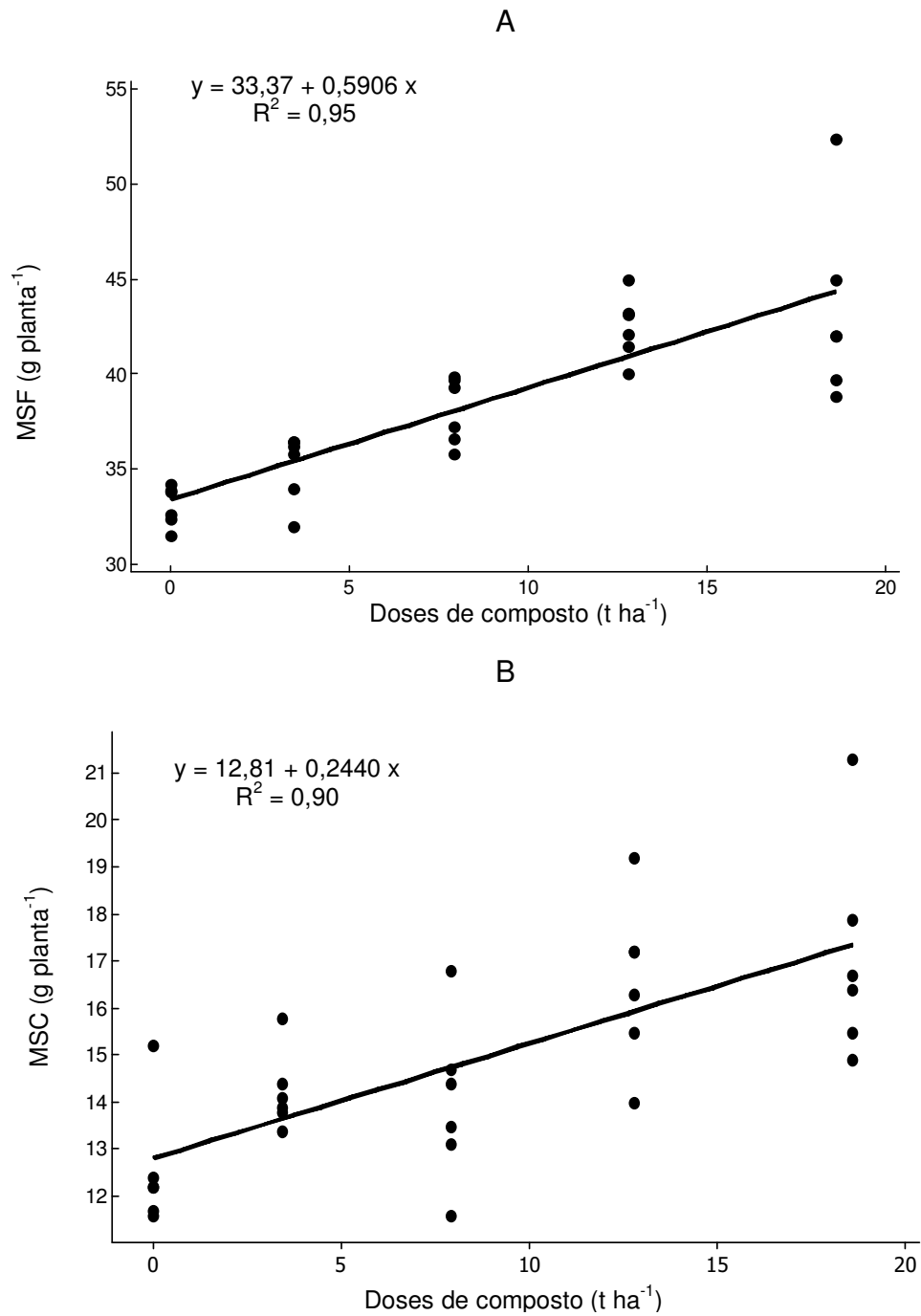


Figura 5. Variação da matéria seca de folhas (MSF, A) e da matéria seca de caule (MSC, B) de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

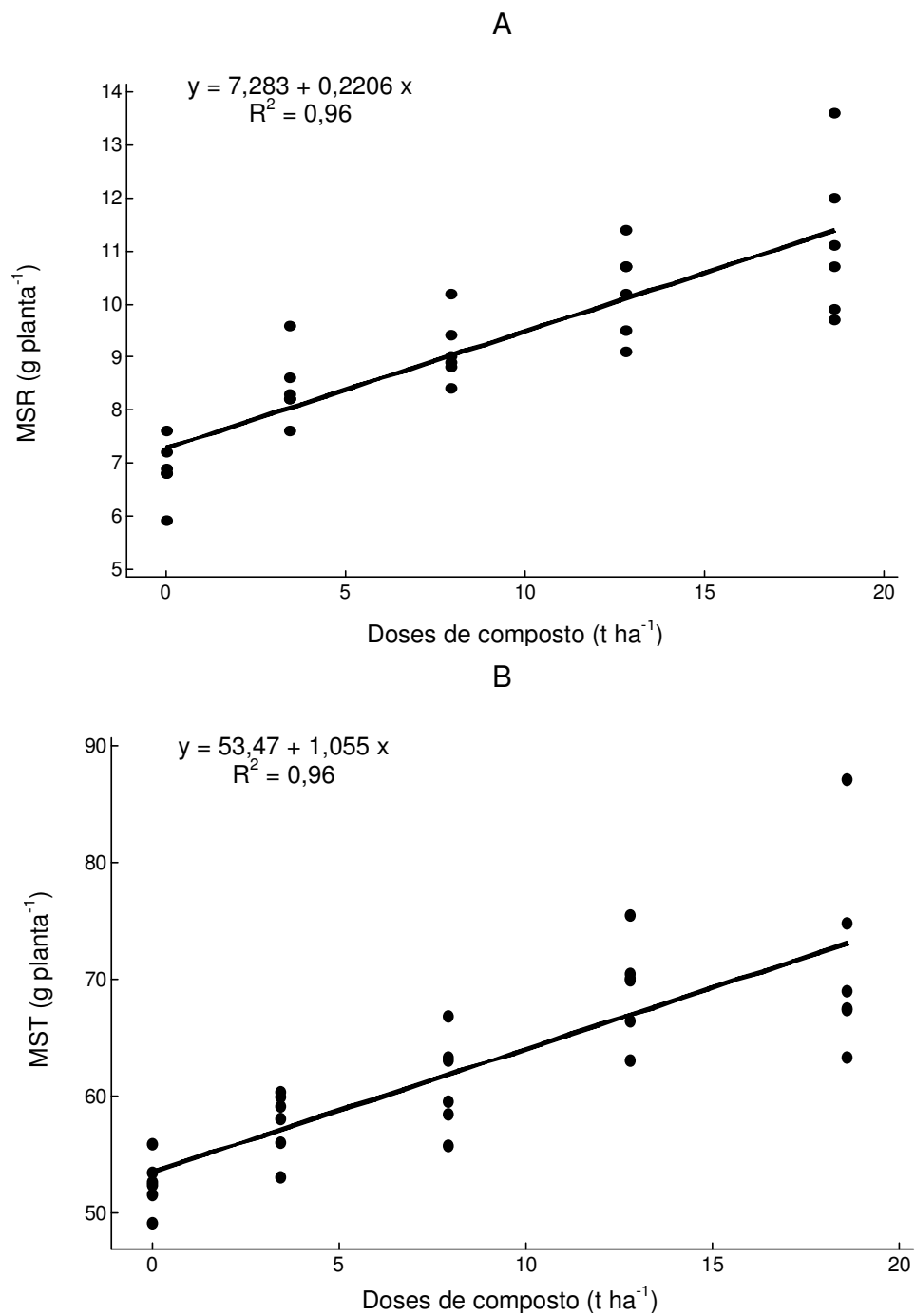


Figura 6. Variação da matéria seca de ramos (MSR, A) e da matéria seca total (MST, B) de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

2.3.3 Concentrações e Quantidades de Nutrientes e Sódio nas Folhas

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da aplicação do composto nas concentrações dos macronutrientes nas folhas, com exceção do magnésio. Não foi observado efeito significativo ($P > 0,05$) para sódio em folhas do eucalipto. Houve efeitos lineares e quadráticos para N, P, K, Ca e S e efeito linear negativo para o Na (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo dos resultados das análises de regressão, de variância e das médias para a concentração de macronutrientes e sódio em folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Causas de variação	Quadrados Médios (significâncias)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Reg Linear	4,80**	0,18**	6,34**	15,79**	0,02ns	0,46**	0,17*
Reg. Quadrática	3,47**	0,01*	0,16ns	0,65*	0,004ns	0,001ns	0,05ns
Doses	2,12**	0,05**	1,77**	4,17**	0,02*	0,12**	0,09ns
Resíduo	0,34	0,002	0,17	0,12	0,006	0,008	0,04
C.V.%	10,81	1,19	14,34	8,57	6,53	13,46	6,69
Doses t ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----						
0	6,42	1,06	2,33	2,97	1,17	0,52	4,67
3,4	5,50	1,12	2,40	3,48	1,28	0,52	4,32
7,9	5,10	1,23	2,47	4,32	1,20	0,67	4,47
12,8	4,92	1,23	3,25	4,55	1,13	0,72	4,33
18,6	5,18	1,29	3,50	5,03	1,15	0,85	4,18

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

A concentração de nitrogênio na folha diminuiu com o aumento das doses de composto (Figura 7). A maior dose de composto (18,6 t ha⁻¹) não elevou a concentração de N nas folhas em relação à sua não aplicação, apresentando uma concentração média nas folhas de 5,18 g kg⁻¹ na maior dose (Tabela 6).

VIDOTTI (2007) testando doses (0; 5; 10; 15; 20 e 25 t ha⁻¹) de dois compostos de resíduos de celulose e papel não verificou aumento na concentração de N em folhas de eucalipto em Neossolo Quartzarênico, aos 60 dias após plantio.

Para as concentrações de P, houve aumento significativo ($P < 0,05$) da aplicação das doses de composto (Tabela 6). Houve efeito quadrático para a concentração de P nas folhas em função das doses de composto (Figura 7).

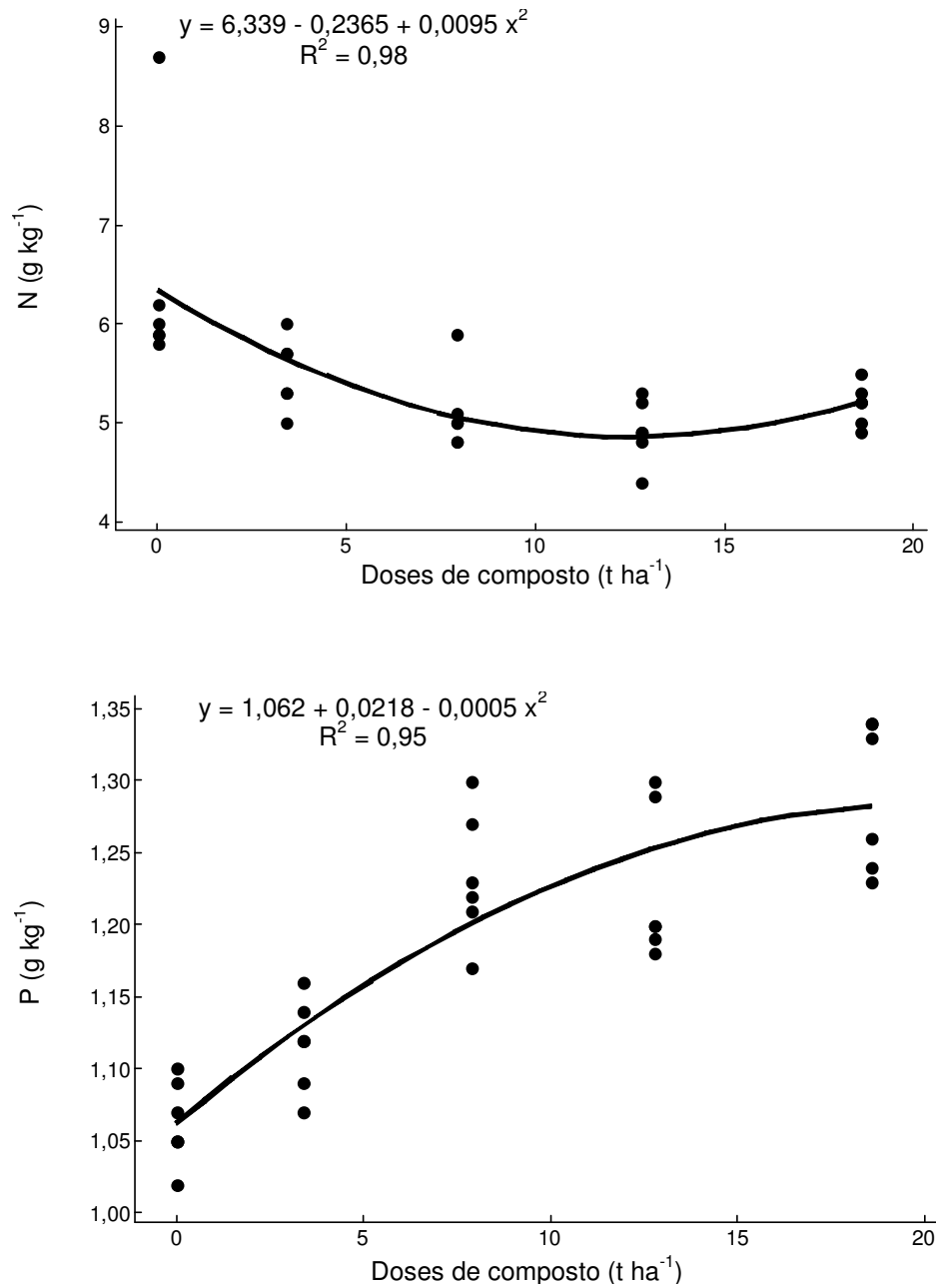


Figura 7. Variação das concentrações de N e P nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Segundo GUERRINI (2003), houve aumento no teor de P nas folhas de eucalipto com a aplicação de compostos orgânicos em condições de campo, aos três meses, em Neossolo Quartzarênico. O autor observou ainda que o melhor tratamento foi o de 120 kg ha⁻¹ da fórmula 4-28-6 e 15 t ha⁻¹ de composto 1 (mistura de lodo ativado, dregs, grits e cinza no início da compostagem com casca na relação de 3:1) em substituição à adubação de cobertura de 3 meses, aplicada em faixa de plantio. Entretanto, houve decréscimo das concentrações de P aos 6 meses, sendo que a adubação química foi melhor que a orgânica.

Houve efeito significativo da aplicação do composto na concentração de K nas folhas, apresentando efeito linear (Figura 8). Os aumentos da concentração de K variam de 2,33 para 3,50 g kg⁻¹, no tratamento sem a aplicação e na maior dose de composto, respectivamente (Tabela 6).

GUERRINI (2003) observou que não houve efeito da adubação química e orgânica nas concentrações de K nas folhas de eucalipto em condições de campo, em Neossolo Quartzarênico, aos três meses de idade. No entanto, VIDOTTI (2007) constatou aumento das concentrações de K nas folhas de eucalipto com a aplicação de um composto orgânico que apresentava maior quantidade do nutriente na composição.

Para o cálcio, a aplicação do composto aumentou as concentrações do nutriente nas folhas de eucalipto (Figura 8), devido às grandes quantidades de Ca na composição dos resíduos.

O composto influenciou na concentração de Mg nas folhas, porém diminuíram com o aumento das doses de composto. Os resíduos usados apresentam grandes quantidades de Ca e pequenas de Mg. TRIGUEIRO (2006) considera que além do baixo teor desse nutriente no dregs e grits, é possível que o aumento da concentração de cálcio na solução do solo tenha prejudicado a absorção do magnésio. Apesar de os teores de Mg no solo estarem baixos, não houve limitação para eucalipto no período avaliado.

GUERRINI (2003) não constatou diferença nas concentrações de Mg entre os tratamentos com adubação química e orgânica aos três meses, mas houve redução com a adubação orgânica aos seis meses.

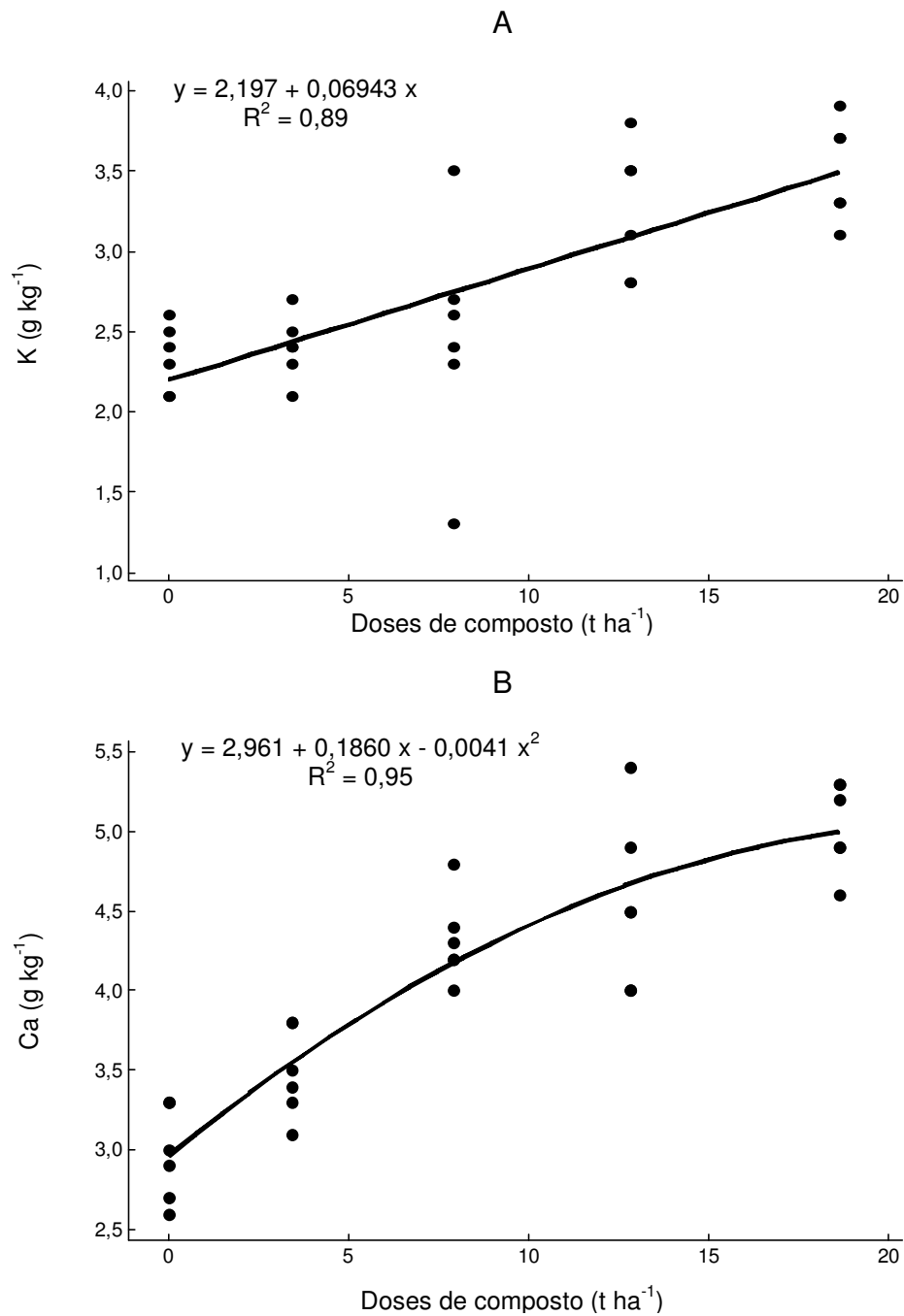


Figura 8. Variação das concentrações de K (A) e Ca (B) nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Houve aumento linear na concentração de S nas folhas com a aplicação do composto (Tabela 6 e Figura 9), devido às quantidades desse nutriente na composição dos resíduos.

A aplicação de composto não propiciou uma concentração alta de sódio nas folhas de eucalipto, apresentando uma tendência de diminuição (Tabela 6), embora o composto apresente grande quantidade de Na⁺ na constituição. As concentrações de Na⁺ no tratamento sem aplicação foi de 4,67 enquanto que na maior dose foi de 4,18 g kg⁻¹ (Figura 9). Essas concentrações de sódio determinadas nas folhas são consideradas tóxicas, de acordo com AYERS & WESTCOT (1994), pois se encontram entre a faixa de 2,5 - 5,0 g kg⁻¹, teores considerados tóxicos para espécies arbóreas cultivadas. Entretanto, não foram observados sintomas de excesso nas folhas.

Segundo AYERS & WESTCOT (1994), a toxicidade do Na⁺ é diminuída na maior disponibilidade de Ca no solo.

Houve aumento na quantidade de P, K, Ca, Mg, S e Na nas folhas do eucalipto com a aplicação do composto (Tabela 7). O composto propiciou aumentos lineares significativos ($P < 0,05$) nas quantidades de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e S (Figuras 10 a 12). Houve efeito quadrático para Na⁺ (Figura 12).

Tabela 7. Resumo dos resultados das análises de regressão, de variância e das médias para o acúmulo de macronutrientes e sódio em folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Causas de variação	Quadrados Médios (significâncias)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Reg Linear	17923**	1723,5**	25678**	57461**	382,3**	1578**	5591**
Reg. Quadrática	627ns	39,79ns	146,1ns	1041ns	34,7ns	0,69ns	594*
Doses	4756ns	443,7**	6846**	14674**	112,9**	398,6**	1554**
Resíduo	2014	12	376	346	18,7	14,2	129
C.V.%	18,28	7,56	3,55	11,69	9,50	14,56	6,88
Doses t ha ⁻¹	-----mg planta ⁻¹ -----						
0	211,2	35,3	77,2	98,0	38,7	17,3	143,2
3,4	224,8	39,2	84,2	112,2	45,0	18,8	154,0
7,9	244,5	46,8	94,3	164,3	45,7	25,5	170,3
12,8	271,8	52,2	138,0	193,0	48,3	30,7	177,8
18,6	275,0	55,8	152,3	218,3	50,0	36,8	180,7

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente, ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

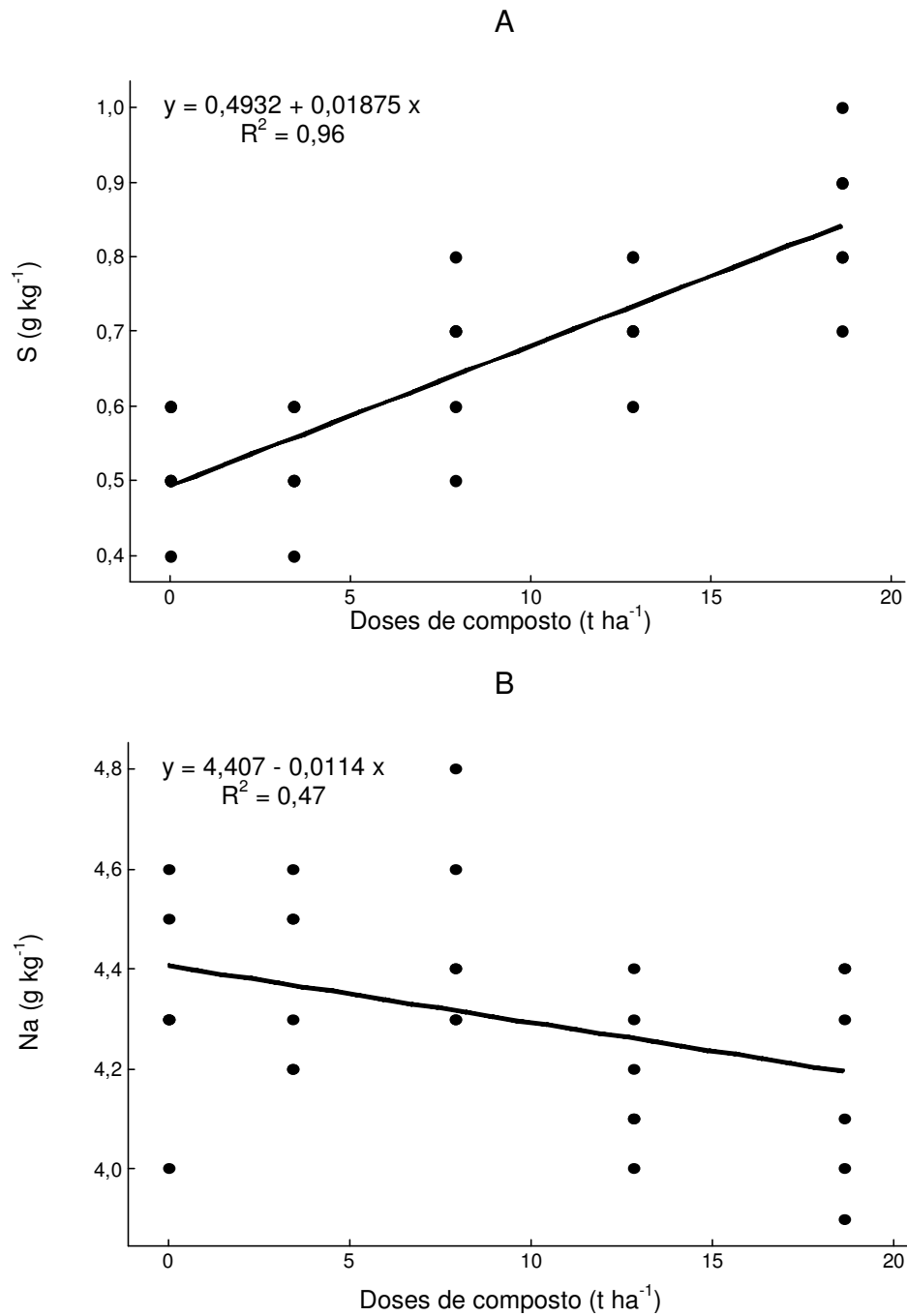


Figura 9. Variação das concentrações de S (A) e Na (B) nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

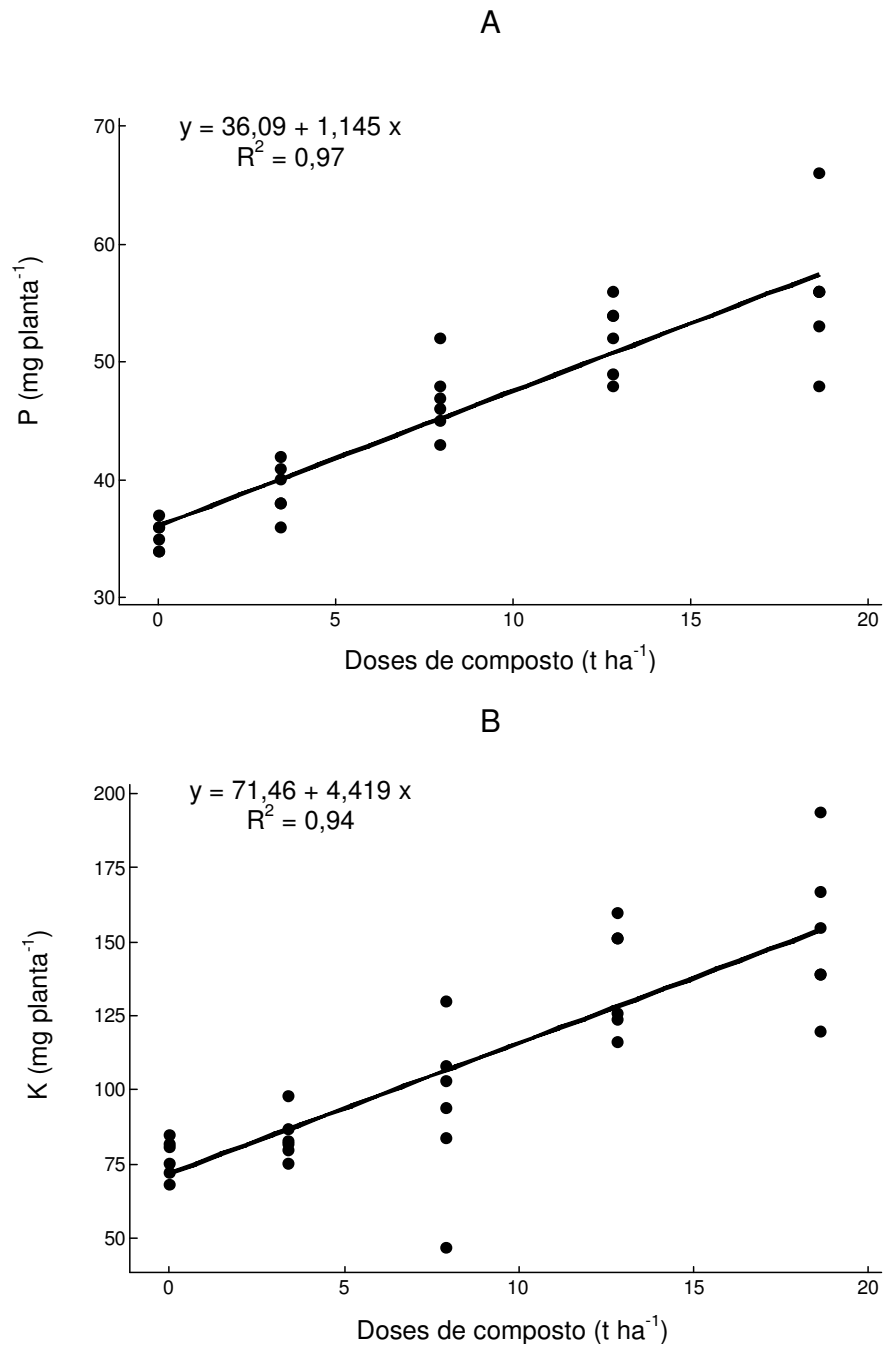


Figura 10. Variação dos acúmulos de P (A) e K (B) nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

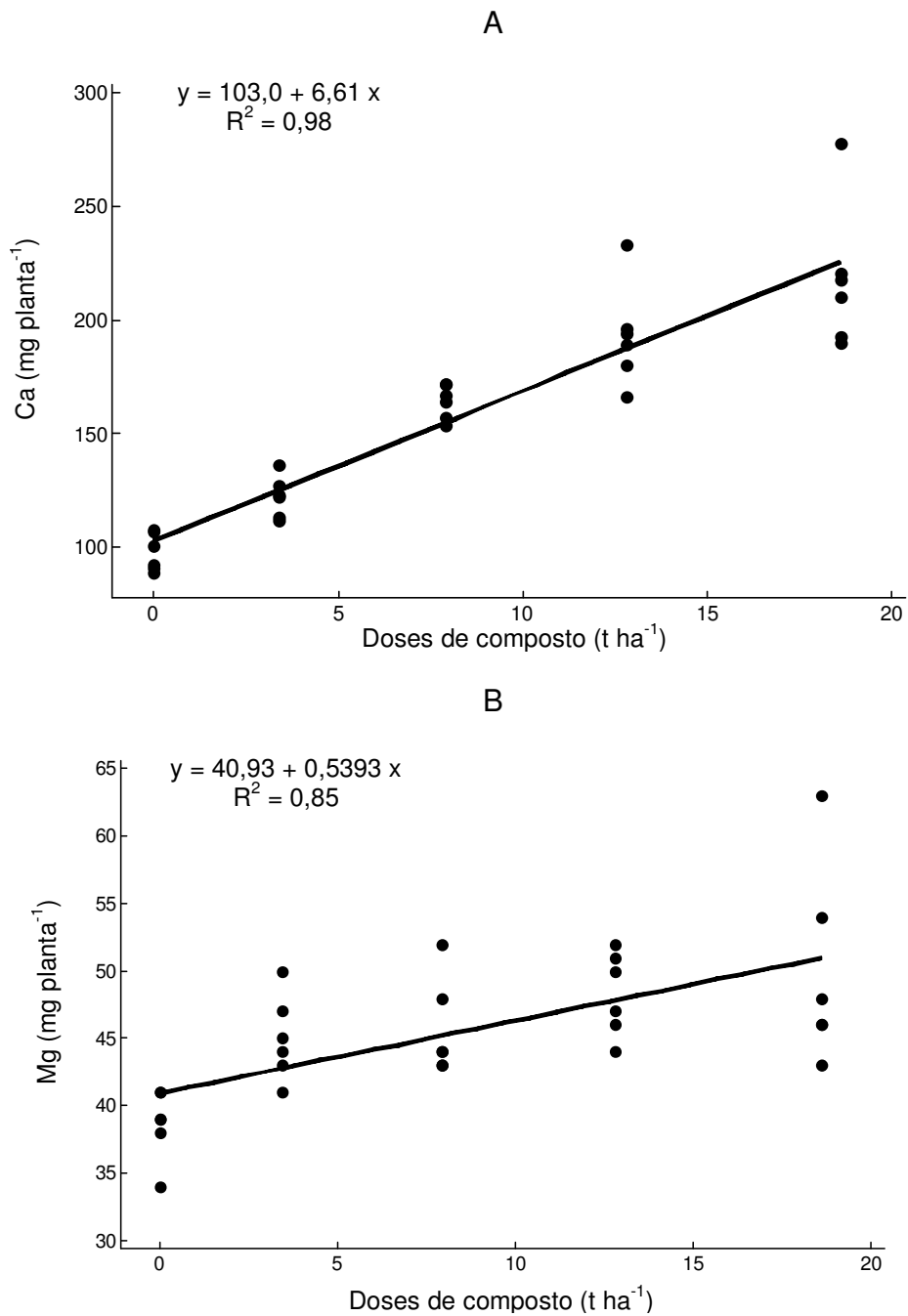


Figura 11. Variação dos acúmulos de Ca (A) e Mg (B) nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

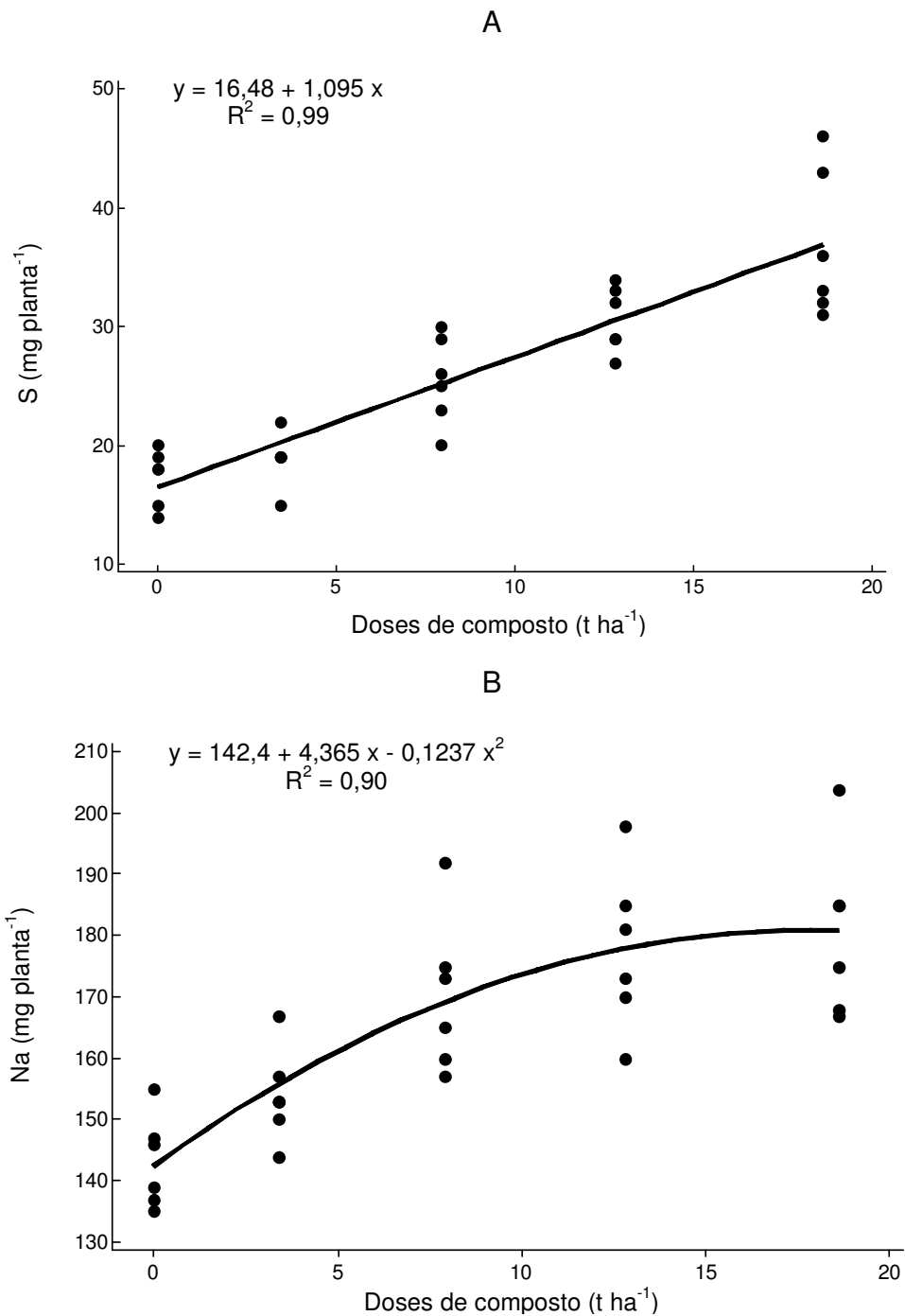


Figura 12. Variação dos acúmulos de S (A) e Na (B) nas folhas de eucalipto em função das doses de composto de resíduos de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após plantio.

Em geral, o aumento da taxa de crescimento acompanha o acúmulo de nutrientes em eucalipto, como constatado para *Eucalyptus grandis* (REIS et al., 1985; REIS et al., 1987). Os autores do primeiro trabalho verificaram uma biomassa total do povoamento de 98,3 t ha⁻¹ em sítio de maior qualidade (Bom Despacho, MG) e de 50,1 t ha⁻¹ em sítio de menor qualidade (Carbonita, MG). Avaliando os mesmos experimentos, os autores do segundo trabalho verificaram que a alocação de N e P para a copa das árvores de eucalipto foi similar nos dois sítios, enquanto que para K, Ca e Mg foi alocada menor proporção no sítio pior, no qual a disponibilidade de nutrientes é menor.

2.4 CONCLUSÕES

A aplicação de composto de resíduos de indústria de celulose e papel (CRICP) propiciou ganhos em altura aos 60 dias, em diâmetro do coleto e em produção de biomassa das plantas de eucalipto aos 120 dias.

O CRICP resultou em aumento no valor de pH e nos teores de Ca e Mg do solo. Também elevou os teores de P, K e Na no solo.

O CRICP aumentou a concentração e acúmulo de P, K, Ca, Mg e S nas folhas de eucalipto aos 120 dias após plantio.

2.5 REFERÊNCIAS

ABREU JÚNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ V. F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 635-647, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2007**. Brasília. 2008. 87 p. Disponível em:<<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF08-BR.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2008.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 1994. 97 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29). Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2008.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T. (Ed.). **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e pesquisas agrícolas e florestais – FEPAF/UNESP, 1994. p. 167 – 187.

BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduo da fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T., ed. **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e pesquisas Agrícolas e florestais – FEPAF/UNESP, 1994. p. 97-120.

BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 109-125.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 451 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979. não paginado.

GLÓRIA, N. A. **Uso agrônômico de resíduos**. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 2002. Disponível em:<<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Nadir-Uso%20agron.%20Residuos-04.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2008.

GUERRA, M. A. S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose**. 2007, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 2003. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2003.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F.; PENATTI, A.; TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, K.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA; SBCS, 1997.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 1-15, 1987.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEM, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188 p.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de “dregs e grits” nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto.** 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

VIDOTTI, M. I. **Efeitos de compostos orgânicos de resíduos da indústria de celulose e papel no solo e em plantas de eucalipto.** 2007. 52 f. Trabalho de graduação (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

WALDEMAR, C. J.; HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização de Dregs e do Grits como corretivo da acidez e fertilizante na agricultura. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 19., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1986. p. 447-453.

CAPÍTULO 3 – RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA FERTILIDADE DO SOLO, NO DESENVOLVIMENTO DAS ÁRVORES E NA PRODUÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO

RESUMO – Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação em diferentes épocas de dois resíduos da indústria de celulose e papel (lodo e dregs + grits) no desenvolvimento das árvores, a produção de madeira e o acúmulo de nutrientes nas folhas de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. O experimento foi realizado em propriedade da International Paper do Brasil, município de Guatapar – SP. Foram aplicadas 15 e 8 t ha⁻¹ de lodo e dregs + grits em Latossolo Vermelho distrófico, respectivamente, no plantio e aos 3, 6 e 12 meses. Foram usadas duas testemunhas, uma representando a fertilidade original do solo, outra com a metade da dose de adubo mineral empregada na empresa e oito tratamentos que receberam essa metade de dose de adubo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, combinados num esquema fatorial 2 (resíduos) x 4 (pocas) com seis repeties. Foram feitas avaliaes de: fertilidade do solo aos 12 meses e aos 6,5 anos após o plantio; diâmetro (DAP), altura (H), volume total de madeira com casca (VTCC) e volume comercial sem casca (VCSC) das plantas nas idades de 1, 2, 3 e 6,5 anos, exceto para DAP, VTCC e VCSC no primeiro ano; teor e acúmulo de macronutrientes e sódio nas folhas aos 6,5 anos para quatro tratamentos (testemunha absoluta, adubo mineral, lodo e dregs + grits). Concluiu-se que os resíduos são eficientes corretivos da acidez do Latossolo estudado e elevam a sua porcentagem de saturação por bases, quando aplicados no plantio ou 3 meses após o mesmo. A aplicação de dregs + grits proporcionou maior crescimento em diâmetro e produção de madeira de eucalipto do que a aplicação de lodo ativado não decomposto.

Palavras-Chave: clone, *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, Latossolo Vermelho, dregs e grits, lodo

3.1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos e os efluentes gerados nos processos de fabricação de celulose e papel têm sido aplicados como corretivos de acidez dos solos e adubos em povoamentos de eucalipto, proporcionando redução nos custos com aquisição de fertilizantes (RODRIGUES, 2004).

O aproveitamento dos resíduos das indústrias de celulose e papel é uma prática viável, pois são gerados pelas próprias indústrias, apresentando apenas gastos com transporte (GUERRINI & MORO, 1994).

Os reflorestamentos geralmente são implantados em Latossolos de textura média e Neossolos Quartzarênicos, degradados pelo uso intensivo da agropecuária e de baixa fertilidade natural, respectivamente. A correção desses solos é necessária para melhorar o teor de matéria orgânica, aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo (BELLOTE et al., 1998).

O lodo ativado é um resíduo orgânico com teores elevados de alguns nutrientes, tendo potencial para uso como fertilizante e condicionador de solos. Apresenta alto teor de matéria orgânica e baixos teores de alumínio e sódio. Entretanto, os teores de potássio são muito baixos e as relações $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K}$ são muito elevadas, havendo a necessidade de complementação com fertilizante potássico (FABRES et al., 1994).

O dregs e o grits são resíduos sólidos que são coletados separadamente na indústria, mas acabam sendo misturados e dispostos em aterros industriais (NOLASCO et al., 2000). O dregs e grits apresentam concentrações altas de cálcio, nas formas de carbonatos e óxidos de cálcio, sódio e teores baixos de magnésio, fósforo, potássio, e metais como Pb, Zn, Cu, Ni e Cd (PAJARA et al., 2003). O grits, por apresentar um poder de neutralização equivalente ao CaCO_3 (cerca de 100%) é mais eficiente na correção da acidez do solo do que o dregs, pois este apresenta um poder de neutralização de aproximadamente 72% (GUERRINI et al., 2000b).

A aplicação de dregs em um Latossolo Bruno distrófico e no Cambissolo Húmico alumínico, na camada de 0-5 cm, proporcionou aumentos dos teores de potássio, cálcio, magnésio e sódio e nos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva, pH e saturação por sódio e diminuiu os teores e a saturação por alumínio, com exceção

do magnésio no Latossolo. Entretanto, na camada de 5-10 cm, o resíduo alcalino aumentou os teores e a saturação por sódio e CTC efetiva e diminuiu os teores e a saturação por alumínio (ALBUQUERQUE et al., 2002).

GUERRINI & MORO (1994) relatam que o uso de lodo decomposto (resíduo celulósico) e cinza promoveu ganhos na produção volumétrica de *Eucalyptus grandis* aos 2 anos de idade, que variaram de 3 a 87% em relação à adubação química.

ANDRADE et al. (2003) constataram que a aplicação de doses de lodo (10; 20; 40; e 80 t ha⁻¹) em *Eucalyptus dunnii* resultou, em relação à testemunha, no aumento de volume cilíndrico de madeira de 21; 27,5; 19,8 e 43,5%, respectivamente, aos 6 anos de idade.

Os teores de nutrientes nas folhas com a aplicação de lodo ativado não decomposto de indústria de celulose e papel foram pesquisados por GUERRINI (2003), que não observou aumento nos teores dos macronutrientes com a aplicação de lodo, com exceção do cálcio. Na aplicação de dregs + grits, houve aumento apenas nos teores de nitrogênio e sódio nas folhas de eucalipto aos seis e dezesseis meses de idade (TRIGUEIRO, 2006).

O plantio de eucalipto pelas empresas florestais é realizado durante o decorrer do ano, sem levar em consideração as diferenças de disponibilidade de água entre as estações do ano. Resultados sobre a influência das épocas de aplicação dos resíduos industriais são escassos. GUERRINI et al. (2000a), avaliando os efeitos da aplicação anual de lodo decomposto e cinza nos atributos químicos de três solos, na composição mineral e no crescimento de *E. grandis*, constataram que, para os atributos de fertilidade do solo, não houve diferença da aplicação dos resíduos no plantio em relação à testemunha que recebeu 250 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 10-20-10 em semi-círculo no plantio mais 150 kg ha⁻¹ do mesmo fertilizante aplicado após um ano na entrelinha, com exceção do cálcio, enquanto que para a produção de madeira a aplicação dos resíduos no plantio foi melhor do que a aplicação aos 12 meses.

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação em diferentes épocas de dois resíduos da indústria de celulose e papel (lodo

e dregs + grits) no crescimento das árvores, a produção de madeira e o acúmulo de nutrientes nas folhas de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Descrição da Área de Estudo e Preparo do Solo

O experimento foi instalado em setembro de 1997, na fazenda Guatapar C, talhão 28, na região de Santa Rita do Passa Quatro - SP, em área pertencente  Votorantim Celulose e Papel – VCP, Unidade de Luiz Antônio-SP. Atualmente a fazenda pertence  International Paper do Brasil.

O clima da região, de acordo com os dados da estcao meteorológica da Empresa, situada no Viveiro da fazenda Guatapar,  do tipo Aw, segundo a classificao climática de Kppen, ou seja, tropical chuvoso com inverno seco. A temperatura média de 1997 a 2004 foi de 23,1^oC. A região apresentou déficit hídrico médio de aproximadamente 200 mm no período da experimentao. As médias mensais de precipitao, de 1997 a 2004 e de temperatura no período de setembro de 1997 a 1998, na região de Luiz Antônio - SP, são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho distrófico tpico, textura média (15 a 35% de argila), relevo plano a suave ondulado. As análises químicas e granulométricas da camada 0-20 cm desse solo foram realizadas no Laboratório Central da VCP, seguindo métodos descritos por RAIJ et al. (1987) e EMBRAPA (1997), respectivamente, e são apresentadas na Tabela 1.

Realizou-se o preparo do solo pelo sistema de cultivo mínimo, sem a queima dos restos vegetais do ciclo anterior de eucalipto. Os galhos que ficaram sobre o solo foram picados por discos de um implemento agrícola acoplado a um trator, desenvolvido pela Empresa, denominado de “Celtrplice”. A seguir, usou-se um rastelo mecânico para retirar os restos de galhos picados na nova faixa de plantio (entrelinha). A demarcao da linha de plantio e a incorporao do adubo e resíduos foram realizadas pelo “Celtrplice”.

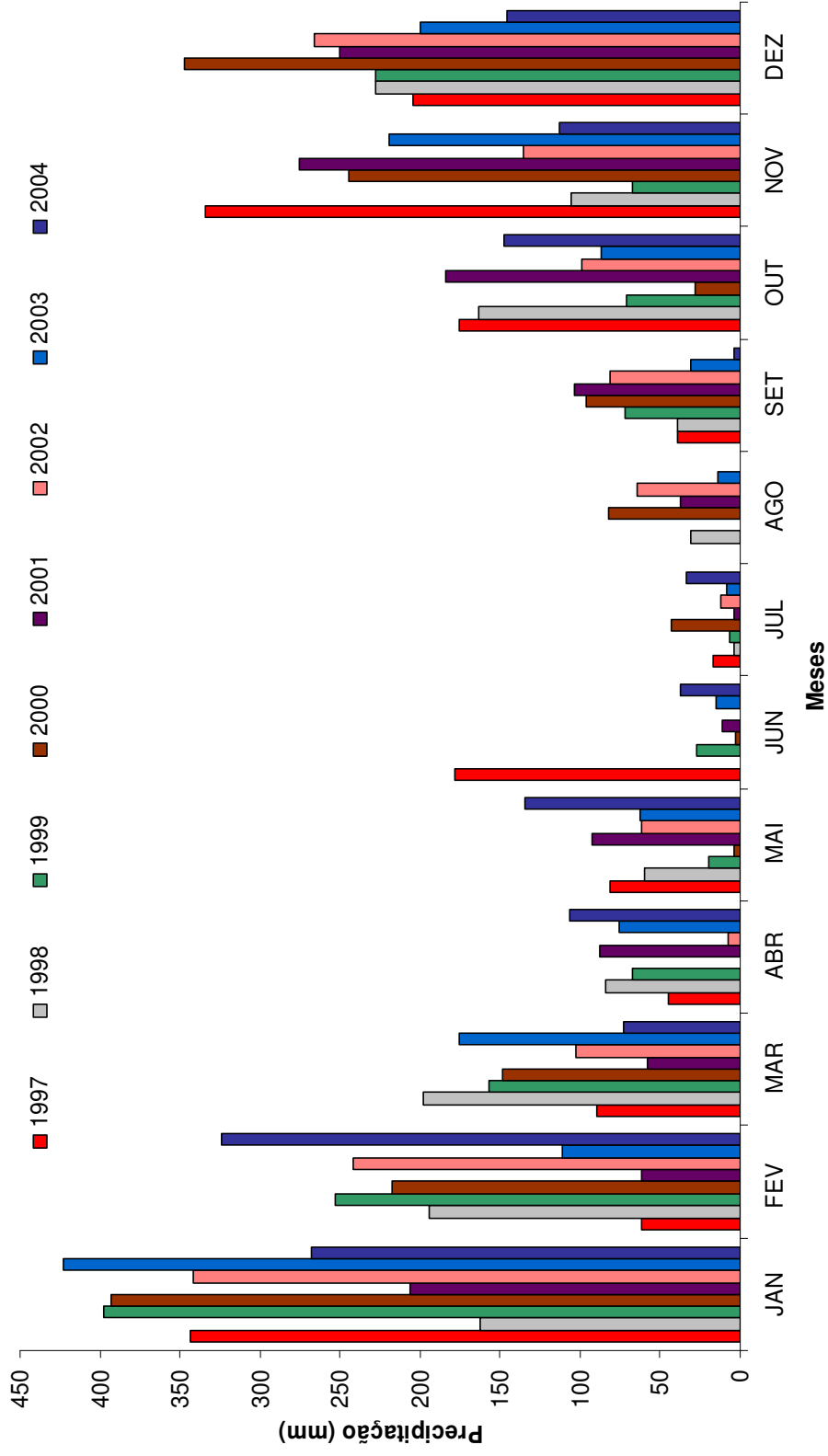


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica mensal de 1997 a 2004 da região de Luiz Antônio – SP.

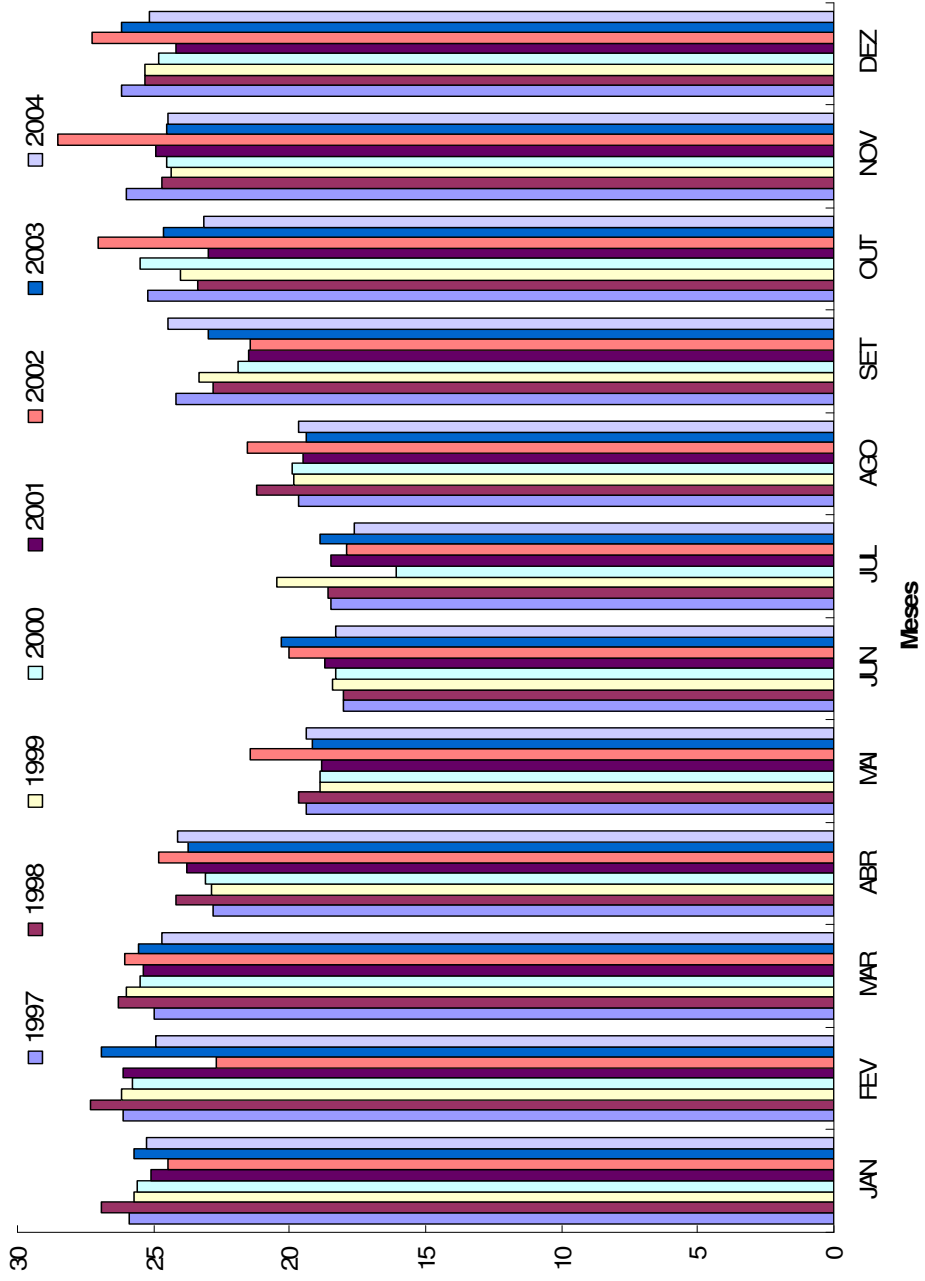


FIGURA 2. Temperatura média mensal de 1997 a 2004 da região de Luiz Antônio - SP.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do Latossolo Vermelho distrófico na camada 0-20 cm de profundidade.

pH CaCl ₂	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K -----	Ca	Mg	SB mmol _c dm ⁻³	Al -----	H+Al	CTC	V %
3,9	20	6	0,6	5	1,4	7	9	70	77	9
Areia grossa		Areia fina		Areia total		Silte		Argila		Textura
-----g kg ⁻¹ -----										
257		556		813		24		163		Média

3.2.2 Instalação e Condução do Experimento

O material genético usado na instalação do experimento foi o clone de eucalipto mais indicado para a região, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake, cuja procedência é da Aracruz – ES. O experimento ocupou uma área de 4,3 ha e contou com a aplicação de dois tipos de resíduos (lodo ativado e dregs + grits) da indústria de celulose e papel da VCP, em quatro épocas, resultando em dez tratamentos e seis repetições (blocos). Cada parcela apresentou 576 m² e foi constituída por um total de 64 plantas no espaçamento de plantio de 3,0 m x 3,0 m. Foi considerada uma bordadura dupla, sendo que as avaliações foram realizadas na área útil de 144 m², envolvendo as 16 plantas centrais.

Foram usados dois tipos de resíduos da indústria de celulose e papel no presente experimento, caracterizados como lodo ativado não decomposto e dregs + grits. Os resíduos foram fornecidos em épocas diferentes pela fábrica da VCP com valores médios de atributos químicos apresentados na Tabela 2. As análises químicas desses resíduos foram feitas no Laboratório Central da VCP.

As doses dos resíduos foram aplicadas, em base seca, manualmente, com o uso de baldes, em quantidades relativas a cada planta, para se obter maior homogeneidade. A distribuição foi feita em faixas contínuas de 50 cm de largura nas entrelinhas, tanto no momento do plantio como nas épocas de cobertura, de acordo com os tratamentos. O adubo químico foi aplicado manualmente em filete contínuo sobre o resíduo, na entrelinha de plantio, em quantidades equivalentes a cada planta com o uso de canecas. A dose do adubo mineral correspondeu à metade da dose

empregada pela empresa, pois considerou-se que o resíduo poderia fornecer parte dos nutrientes às plantas. A incorporação conjunta do resíduo e adubo foi feita na profundidade do solo de 0-20 cm com o uso do “Celtríplice”.

A metade da dose do adubo mineral empregada no experimento foi de: 115 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 04-28-06 + 10% FTE BR-12 + 2,4% de Mg no plantio; 65 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 10-05-20 + 0,5% de B + 2,4% de Mg aos 3 meses; 65 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 10-05-20 + 0,5% de B + 2,4% de Mg e 150 kg ha⁻¹ de fosfato natural aos 6 meses; 50 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio aos 12 meses.

Os tratamentos foram:

1. Testemunha absoluta;
2. Testemunha (metade da dose de adubo);
3. 15 t ha⁻¹ de lodo + metade da dose de adubo no plantio;
4. 15 t ha⁻¹ de lodo + metade da dose de adubo aos 3 meses;
5. 15 t ha⁻¹ de lodo + metade da dose de adubo aos 6 meses;
6. 15 t ha⁻¹ de lodo + metade da dose de adubo aos 12 meses;
7. 8 t ha⁻¹ de dregs + grits + metade da dose de adubo no plantio;
8. 8 t ha⁻¹ de dregs + grits + metade da dose de adubo aos 3 meses;
9. 8 t ha⁻¹ de dregs + grits + metade da dose de adubo aos 6 meses;
10. 8 t ha⁻¹ de dregs + grits + metade da dose de adubo aos 12 meses.

O controle de plantas-daninhas durante a fase de implantação da cultura do eucalipto até 6 meses de idade foi realizado através de capinas manuais nas linhas e aplicação manual de herbicida à base de glifosate nas entrelinhas. O controle de formigas foi feito intensivamente no primeiro ano de crescimento e, depois, uma vez por ano. Três dias após o plantio das mudas, foi realizada irrigação na área experimental.

Tabela 2. Atributos químicos dos resíduos da indústria de celulose e papel.

Elemento	Resíduos	
	Lodo ativado	dregs + grits
	-----teores (base seca, 110 °C)-----	
N total, g kg ⁻¹	6,8	1,6
P ₂ O ₅ total, g kg ⁻¹	4,0	3,2
K ₂ O total, g kg ⁻¹	0,14	0,9
Mat. Orgânica (550°C), g kg ⁻¹	309,7	141,1
Carbono total, g kg ⁻¹	179,6	81,8
Cálcio total, g kg ⁻¹	96,8	184,8
Magnésio total, g kg ⁻¹	7,3	7,3
Enxofre total, g kg ⁻¹	2,1	3,0
Zinco total, mg kg ⁻¹	43	160
Manganês total, mg kg ⁻¹	2	801
Cobre total, mg kg ⁻¹	69	16
Ferro total, mg kg ⁻¹	4500	2040
Sódio total, mg kg ⁻¹	2000	59600
Relação C/N (C total e N total)	26,4	51,1

3.2.3 Avaliações

Foram feitas avaliações da fertilidade do solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, aos 12 meses após o plantio, em quatro blocos, antes das aplicações dos resíduos e adubo, e aos 6,5 anos, nos seis blocos, quando houve o encerramento do experimento. Para tanto, foram coletadas, uma amostra composta por parcela, sendo formada por nove amostras simples.

As análises foram realizadas no Laboratório Central da VCP, segundo métodos descritos por RAIJ et al. (1987).

Foram realizadas medições de diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H), volume total de madeira com casca (VTCC) e volume comercial sem casca (VCSC) das

plantas nas idades de 1, 2, 3 e 6,5 anos após o plantio, com exceção para DAP, VTCC e VCSC que não foram avaliados no primeiro ano. Aos 6,5 anos foi avaliado o teor de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e sódio nas folhas apenas dos tratamentos 1, 2 e 6. Para isso, foi coletada uma amostra composta por parcela, escolhendo-se oito árvores representativas de cada parcela, baseado na altura e diâmetros médios. As amostras foram compostas por folhas recém-maduras, coletadas do terço superior da árvore nos quatro pontos cardeais, para representarem as folhas diagnósticas, com base em GONÇALVES et al. (1997). As folhas foram colocadas no mesmo saco de papel, formando uma amostra. As análises químicas foram realizadas no Laboratório Central da VCP de acordo com MALAVOLTA et al. (1997), sendo que o nitrogênio (N total) foi determinado pelo método semi micro Kjeldahl.

O diâmetro à altura do peito, convencionado como o diâmetro do tronco a 1,3 m de altura - DAP, foi medido com suta, e a altura, por meio de hipsômetro.

A produção volumétrica caracterizada pelos volumes VTCC e VTSC foi estimada pelo método da cubagem rigorosa, seccionando-se o caule em toretes de 2 m de comprimento. O volume de cada torete foi calculado em função do comprimento e das áreas obtidas nas extremidades das seções. Mediu-se a espessura da casca em todas as alturas, assim obteve-se o volume comercial com (VTCC) e sem casca (VCSC) e pela diferença resultou o volume de casca (FINGER, 1992).

3.2.4 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, combinados no esquema fatorial 2 x 4 (dois resíduos sólidos e quatro épocas de aplicação) além de duas testemunhas (tratamentos 1 e 2), com seis repetições. Para os atributos de fertilidade do solo aos 12 meses foram usadas apenas quatro repetições e para os teores de nutrientes e sódio nas folhas apenas quatro tratamentos (1, 2, 3 e 7) e seis repetições. Para as demais variáveis foram usados todos os tratamentos e seis repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância com o uso do programa "Statistical Analysis System" (SAS, 2002). Para a comparação das médias foi usado o teste de Tukey ($P < 0,05$).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Atributos de Fertilidade do Solo

Os resumos das análises de variância e teste de Tukey para as análises de fertilidade do solo são apresentados nas Tabelas 3 e 4 para as análises realizadas aos 12 meses e 6,5 anos de idade, respectivamente.

Para os resultados aos 12 meses, com relação ao tipo de resíduo, o lodo aumentou o teor de matéria orgânica no solo em relação às testemunhas. O solo que recebeu dregs + grits (DG) apresentou maior teor de cálcio, aumentou o pH do solo e diminuiu o teor de Al trocável em relação às testemunhas. Portanto, a pesquisa comprovou a eficiência desse resíduo na neutralização do H^+ e na precipitação do Al^{3+} do solo. Esse efeito ocorre devido aos teores de óxidos, hidróxidos e carbonatos associados quimicamente a elementos como o Ca e o Na, conferindo ao resíduo poder de redução da acidez do solo (NOLASCO et al., 2000; ALMEIDA et al., 2007).

Houve diferenças entre as médias de pH, P, Ca, Mg, SB, Al^{3+} e V% em função das épocas de aplicação dos resíduos em geral. Em relação às testemunhas, a aplicação dos resíduos no plantio e aos três meses proporcionou elevação nos teores de P, Ca, Mg, e nos valores de pH, SB e V%. Houve diminuição do teor de Al^{3+} com a aplicação dos resíduos aplicado no plantio e aos 3 meses em relação às testemunhas.

Esses efeitos dos dois resíduos se devem aos teores elevados desses nutrientes na composição, principalmente no dregs e grits. Resultados semelhantes foram observados por GUERRINI & MORO (1994), GUERRINI et al. (1994) e GUERRINI (2003).

Aos 6,5 anos de idade, a aplicação de DG resultou em maiores teores de matéria orgânica, Ca, SB e V% em relação ao lodo e às testemunhas.

GUERRINI (2003), avaliando o efeito de doses de lodo ativado não decomposto com ou sem fertilizante em um povoamento de eucalipto em um Neossolo Quartzarênico, observou que o teor de matéria orgânica (MO) aumentou significativamente apenas com a maior dose de lodo ($8,8 t ha^{-1}$) aos 6 meses após a aplicação, não diferindo nos demais períodos subseqüentes de avaliação. O lodo

também aumentou significativamente os teores de bases no solo, ou seja, K, Ca e Mg e, conseqüentemente, os valores de SB e V aos 6 meses após a aplicação. Após esse período, apenas o Ca continuou a apresentar diferenças significativas, pois o lodo é rico nesse nutriente.

Quanto às épocas de aplicação, aos 6,5 anos, os resíduos alteraram o pH do solo, os teores de matéria orgânica, Ca, Al^{3+} e H+Al, bem como os valores de SB e V%. A aplicação dos resíduos no plantio proporcionou maiores teores de matéria orgânica e quando aplicados aos três meses após o plantio, resultaram em maiores teores de Ca e Al^{3+} e nos valores de pH, SB, acidez potencial e V% em relação às testemunhas.

Os teores de Ca e Mg do solo observados aos 12 meses e 6,5 anos estão próximos do nível crítico de manutenção do incremento volumétrico médio anual do eucalipto, de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (NOVAIS et al., 1986). Esses autores verificaram que os níveis críticos de implantação para Ca e Mg são de 2,0 e 0,5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os de manutenção para o incremento médio anual de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ são de 6,0 e 1,3 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que para o incremento médio anual de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ são de 8,0 e 1,9 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Sendo assim, o nível crítico de Ca e Mg aumenta com a idade das árvores e com o volume de madeira desejado.

GUERRINI et al. (1994) constataram aumento no teor de cálcio e no valor de V% do solo com o uso de lodo decomposto (resíduo celulósico) e cinza. O aumento nos teores de cálcio foi devido à alta concentração desse elemento e da quantidade de resíduo usado. Em estudos feitos por GUERRINI & MORO (1994), com a aplicação de lodo decomposto (resíduo celulósico) e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, houve aumentos significativos nos teores de fósforo, cálcio, magnésio, CTC e saturação por bases (V%) no solo após 1,5 ano.

GUERRINI & MORO (1994) citam que a aplicação de lodo decomposto (resíduo celulósico) e cinza aumentou a fertilidade do solo até aproximadamente 2 anos após a aplicação. Após esse período, os sítios florestais que receberam o resíduo tenderam a se igualar à fertilidade natural do solo. Para obter ganhos adicionais de produtividade dentro do próprio ciclo, bem como manter a produção do próximo ciclo, há a necessidade de reaplicação do resíduo.

TABELA 3. Resumo dos resultados de análise de variância e das médias de atributos de fertilidade do solo a 0-20 cm de profundidade aos 12 meses após o plantio em função das aplicações dos resíduos (Lodo e dregs + grits) no plantio, aos 3, 6 e 12 meses.

Causas de Variação	GL	Quadrados médios (significâncias)										
		pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	CTC	V
Resíduos (R)	1	0,06*	2,7ns	8,6ns	0,02ns	18,5ns	0,3ns	24,7ns	11,2*	28,5ns	106,1ns	50,9ns
Épocas (E)	3	0,05**	4,3ns	10,0ns	0,01ns	34,0**	0,014ns	39,0**	18,4**	148,4ns	147,6ns	108,9**
R x E	3	0,09ns	0,4ns	40,0*	0,01ns	12,4ns	0,18ns	15,8ns	3,3ns	173,0ns	285,5ns	13,9ns
Testemunhas (T)	1	0,072**	2,0ns	3,1ns	0,001ns	0,001ns	0,00ns	0,01ns	0,08ns	5,3ns	5,6ns	0,00ns
T x (R x E)	1	0,002ns	33,1*	100,5**	0,18**	63,1**	1,1**	89,0**	18,8**	3,8ns	55,8ns	242,1**
T1 x (R x E)	1	0,029ns	11,2ns	74,6**	0,11*	35,4*	0,6**	50,1*	11,7*	0,005ns	51,1ns	134,5**
T2 x (R x E)	1	0,053*	24,5*	39,8*	0,08*	34,8*	0,6**	48,8*	9,3*	9,0ns	15,9ns	134,5**
Bloco	3	0,004ns	3,05ns	8,5ns	0,02ns	0,8ns	0,07ns	0,86ns	1,0ns	107,5ns	118,5ns	1,74ns
Erro (resíduo)	27	0,01	5,18	8,72	0,02	5,1	0,08	6,59	1,87	176,40	204,0	16,53
CV (%)		2,36	9,46	44,41	37,72	75,53	39,51	63,26	19,60	24,07	24,12	59,76
Médias			g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				mmolc dm ⁻³				%
Testemunhas (T)		3,9 bc	22,3 b	3,5 b	0,24 b	0,46 b	0,38 b	1,08 b	8,4 a	55,78	56,85	1,9 b
Lodo (L)		4,0 b	24,8 a	8,0 a	0,38 a	2,84 ab	0,70 a	3,93 a	7,2 ab	54,06	57,98	6,8 a
dregs+grits (DG)		4,1 a	24,2 ab	6,9 a	0,43 a	4,36 a	0,89 a	5,68 a	6,0 b	55,94	61,63	9,3 a
Épocas												
Testemunha 1		3,96 b	22,75	2,9 c	0,23	0,45 b	0,38 b	1,1 b	8,5 ab	54,97	56,02	1,9 c
Testemunha 2		3,92 b	21,74	4,1 bc	0,25	0,48 b	0,38 b	1,1 b	8,3 ab	56,59	57,69	1,9 c
L Plantio		4,12 ab	24,77	11,6 a	0,43	5,60 ab	1,05 ab	7,1 ab	4,7 c	52,11	59,19	12,0 ab
L 3 meses		4,02 ab	24,02	7,2 abc	0,35	3,48 ab	0,68 ab	4,5 ab	6,6 abc	48,79	53,29	8,1 abc
L 6 meses		3,94 b	25,59	7,5 abc	0,40	1,43 b	0,58 ab	2,4 b	9,0 a	60,92	63,32	3,9 abc
L 12 meses		3,94 b	24,87	5,5 abc	0,35	0,88 b	0,50 ab	1,7 b	8,6 ab	54,42	56,14	3,1 bc
DG Plantio		4,14 ab	23,78	5,9 abc	0,45	4,25 ab	0,83 ab	5,5 ab	5,4 bc	46,02	51,55	11,4 abc
DG 3 meses		4,19 a	23,24	6,5 abc	0,48	8,13 a	1,08 a	9,7 a	4,7 c	64,12	73,80	13,3 a
DG 6 meses		3,98 ab	25,07	5,0 abc	0,35	2,25 b	0,75 ab	3,4 b	7,3 abc	60,17	63,54	5,2 abc
DG 12 meses		4,04 ab	24,86	10,3 ab	0,43	2,80 ab	0,93 ab	4,2 ab	6,8 abc	53,47	57,62	7,3 abc

(1) e (2) = testemunhas absoluta e com adubo mineral (NPK e micronutrientes), respectivamente. Significância: ns = não significativo (P > 0,05); (*, **) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

TABELA 4. Resumo dos resultados de análise de variância e das médias de atributos de fertilidade do solo a 0-20 cm de profundidade aos 6,5 anos após o plantio em função das aplicações dos resíduos (Lodo e dregs + grits) no plantio, aos 3, 6 e 12 meses.

Causas de Variação	GL	Quadrados médios (significâncias)										
		pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	CTC	V
Resíduos (R)	1	0,00ns	48,0**	10,3*	0,33ns	4,4ns	0,01ns	2,4ns	5,5ns	58,9ns	85,3ns	4,8ns
Épocas (E)	3	0,12**	1,3ns	5,5*	0,09ns	27,7*	0,77ns	39,9**	10,3ns	323,4*	138,6ns	183,7**
R x E	3	0,14**	15,9ns	1,7ns	0,09ns	37,3**	0,03ns	35,6*	3,3ns	203,8ns	133,4ns	167,6**
Testemunhas (T)	1	0,00ns	0,8ns	0,2ns	0,003ns	0,7ns	0,14ns	0,2ns	0,1ns	29,8ns	34,7ns	0,07ns
T x (R x E)	1	0,15**	11,4ns	0,1ns	0,04ns	34,6*	1,11ns	47,3ns	79,1**	243,4ns	76,1ns	195,7*
T1 x (R x E)	1	0,09*	3,3ns	0,00ns	0,01ns	17,4ns	1,2ns	27,1ns	40,0*	248,0ns	111,1ns	119,3ns
T2 x (R x E)	1	0,09*	9,0 ns	0,3ns	0,02ns	27,5ns	0,4ns	33,4ns	45,0*	72,3ns	7,4ns	127,0ns
Bloco	5	0,05ns	37,8**	9,0**	0,27*	49,51**	4,17**	81,51**	55,0**	127,9ns	117,9ns	220,6**
Erro (resíduo)	42	0,02	6,11	1,85	0,10	6,97	0,44	8,57	6,53	76,06	53,61	35,20
CV (%)		3,60	10,33	25,82	85,91	57,89	49,71	46,92	26,76	16,21	12,20	54,98
Médias			g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mmolc. dm ⁻³						%
Testemunhas (T)		3,96 b	23,1 b	5,20	0,32	3,05 b	1,06	4,48 b	11,83 a	57,8	62,3	7,3 b
Lodo (L)		4,09 a	23,2 b	5,74	0,46	4,67 ab	1,38	6,49 ab	9,27 b	51,7	58,2	11,4 ab
dregs + grits (DG)		4,10 a	25,0 a	4,89	0,28	5,53 a	1,48	7,24 a	8,72 b	53,4	60,6	12,6 a
Épocas												
Testemunha 1		4,0 b	23 ab	5,3ab	0,3	3,3 b	1,0	4,6 b	11,75 a	59,4 ab	63,98	7,3 b
Testemunha 2		4,0 b	23 ab	5,1 ab	0,3	2,8 b	1,2	4,4 b	11,92 a	56,2 ab	60,57	7,1 b
L Plantio		4,2 ab	21 b	7,2 a	0,6	6,1 ab	1,7	8,4 ab	8,83 ab	43,4 b	51,74	16,6 ab
L 3 meses		4,1 b	23 ab	5,5 ab	0,3	4,0 b	1,5	6,1 b	9,33 ab	50,1 ab	56,19	10,5 b
L 6 meses		4,0 b	24 ab	5,5 ab	0,3	4,0 b	1,2	5,4 b	9,33 ab	56,7 ab	62,12	8,6 b
L 12 meses		4,0 b	24 ab	4,8 ab	0,5	4,7 b	1,2	6,1 b	9,58 ab	56,5 ab	62,56	10,1 b
DG Plantio		4,0 b	26 a	5,2 ab	0,3	5,3 ab	1,6	7,2 ab	9,42 ab	55,9 ab	63,13	11,8 ab
DG 3 meses		4,4 a	26 ab	5,0 ab	0,2	10,2 a	1,7	12,0 a	5,40 b	43,64 b	55,60	22,7 a
DG 6 meses		4,00 b	25 ab	4,3 b	0,35	2,8 b	1,2	4,30 b	10,1 ab	61,06 a	65,36	6,63 b
DG 12 meses		3,97 b	24 ab	4,6 ab	0,18	3,0 b	1,2	4,30 b	9,00 ab	53,24 ab	57,54	7,51 b

(1) e (2) = testemunhas absoluta e com adubo mineral (NPK e micronutrientes), respectivamente. Significância: ns = não significativo (P > 0,05);

(*, **) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05)

Esses autores ainda concluíram que o fornecimento de nutrientes pelos resíduos orgânicos é semelhante ou até superior ao fornecido pela adubação química, especialmente no caso do cálcio. Dependendo da dose, tipo de resíduo e época de aplicação, é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos, sendo necessário um monitoramento freqüente da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas.

3.3.2 Crescimento e produção de madeira

Em relação aos resíduos, observa-se que houve efeitos significativos ($P < 0,05$) das aplicações dos resíduos ao solo para diâmetro, aos 6,5 anos, e altura, no primeiro ano, (Tabela 5), bem como para VTCC e VCSC, aos 6,5 anos, das plantas (Tabela 6), quando comparados com as testemunhas.

A aplicação de DG promoveu melhor crescimento em diâmetro que a aplicação do lodo aos 6,5 anos de idade. O lodo ativado forneceu melhor condição de crescimento em altura do que o DG apenas no primeiro ano, sem diferenças nas demais idades avaliadas.

Para a produção de madeira (VTCC e VCSC), o DG foi melhor que o lodo. A aplicação do DG resultou em um incremento volumétrico médio de madeira sem casca e com casca de 32 e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, aos 6,5 anos. Os teores médios de Ca e Mg do solo nesses tratamentos variaram de $2,8$ a $10,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e de $1,2$ a $1,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg (Tabela 4), que coincidem com os níveis críticos de manutenção para o crescimento de eucalipto referente ao incremento médio anual de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esses resultados mostram que, para essa produtividade desejada, os teores de Ca e Mg e a relação de 4:1 desses nutrientes, respectivamente, foram adequadas (NOVAIS et al., 1986).

Quanto às épocas de aplicação, houve diferenças no diâmetro, altura e nos volumes de madeira de eucalipto. Em relação às testemunhas, a aplicação do DG no plantio proporcionou aumento no diâmetro de eucalipto aos 6,5 anos de idade. Para altura, a aplicação do lodo no plantio foi melhor do que aos 6 meses na avaliação feita quando as plantas apresentavam um ano de idade.

Houve diferenças significativas entre as épocas de aplicação dos resíduos para VTCC em relação às testemunhas. A melhor época de aplicação para VTCC foi no plantio aos 2 e 3 anos. Para VCSC não houve diferenças entre as épocas.

GUERRINI (2003) não observou efeitos significativos da aplicação de lodo ativado de indústria de celulose e papel nas variáveis de crescimento e produção de madeira ao longo do tempo, devido, principalmente, ao uso do material não decomposto na linha de plantio, afetando negativamente o desenvolvimento inicial das mudas de eucalipto. Sendo assim, os resultados do presente experimento mostram que, provavelmente, a aplicação dos resíduos não decompostos é mais eficiente para o desenvolvimento das plantas quando aplicados na entrelinha do que na linha de plantio.

TRIGUEIRO (2006), avaliando efeitos da aplicação de 0, 4 e 8 t ha⁻¹ de dregs + grits na faixa de 50 cm na linha de plantio em Neossolo Quartzarênico, concluiu que a dose não deve ultrapassar 4 t ha⁻¹ para o desenvolvimento inicial das plantas de eucalipto. Esses resultados se devem ao fato de que a dose mais elevada causou fitotoxidez de sódio nas folhas. Entretanto, as maiores produtividades em volume de madeira com casca foram alcançadas com a aplicação da mistura dregs + grits em combinação com a adubação mineral.

GUERRINI et al. (2000a) verificaram que todos os tratamentos que receberam resíduos da indústria de celulose e papel (lodo e cinza) suplementados com adubação química aumentaram a produção volumétrica de madeira de *E. grandis* aos 3 anos de idade quando comparado com o tratamento que recebeu apenas adubo químico. Esse efeito sinérgico dos resíduos industriais e do adubo mineral é comumente observado na produtividade florestal (BELLOTE et al., 1998).

Com relação às épocas de aplicação dos resíduos, a aplicação de DG realizada no plantio promoveu maior crescimento em DAP das árvores aos 6,5 anos em relação às aplicações feitas nos demais períodos ($P < 0,05$), sem diferir da aplicação aos 12 meses. Esses resultados podem estar relacionados com diferenças dos regimes hídricos entre as estações do ano.

TABELA 5. Resumo dos resultados de análise de variância e das médias de diâmetro (DAP) e altura (H) das plantas de eucalipto em diferentes idades em função das aplicações dos resíduos (Lodo e dregs + grits) no plantio, aos 3, 6 e 12 meses.

Causas de Variação	GL	Quadrados médios (significâncias)							
		DAP			H				
		Idades (anos)							
		2	3	6,5	1	2	3	6,5	
Resíduos (R)	1	0,035ns	0,33ns	8,93**	0,350**	0,003ns	0,130ns	1,96ns	
Épocas (E)	3	0,233ns	0,63ns	4,81**	0,236**	0,045ns	0,426ns	1,25ns	
R x E	3	0,042ns	0,10ns	0,80ns	0,035ns	0,0235ns	0,245ns	0,77ns	
Testemunhas (T)	1	3,308**	3,41**	6,16**	2,613**	1,163ns	1,333ns	5,33**	
T x (R x E)	1	6,048**	10,33**	38,48**	3,384**	2,563*	4,082ns	19,32**	
T1 x (R x E)	1	9,28**	13,16**	39,42**	6,0**	4,16**	5,18*	23,19**	
T2 x (R x E)	1	0,39ns	1,36*	8,81**	0,09ns	0,12ns	0,54ns	3,02*	
Bloco	3	0,446*	0,676*	1,491**	0,102*	0,876ns	2,51ns	4,29**	
Erro (resíduo)	45	0,132	0,257	0,420	0,040	0,490	1,062	0,712	
CV (%)		3,85	4,15	3,95	4,15	6,09	6,38	3,38	
Médias		----- (cm) -----						----- (m) -----	
Testemunhas (T)		8,8 b	11,4 b	14,8 c	4,3 c	11,1	15,6	23,8 b	
Lodo (L)		9,6 a	12,4 a	16,4 b	5,0 a	11,6	16,3	25,1 a	
dregs + grits (DG)		9,6 a	12,5 a	17,2 a	4,8 b	11,6	16,2	25,5 a	
Épocas									
Testemunha 1		8,28 b	10,9 b	14,1 e	3,82 c	10,7	15,3	23,17 b	
Testemunha 2		9,33 a	11,9 a	15,5 d	4,75 b	11,5	16,0	24,50 ab	
L Plantio		9,85 a	12,7 a	17,0 abc	5,17 a	11,7	16,2	25,75 a	
L 3 meses		9,45 a	12,1 a	16,1 cd	5,00 ab	11,5	16,2	24,77 ab	
L 6 meses		9,42 a	12,2 a	16,1 cd	4,72 b	11,5	16,3	24,83 a	
L 12 meses		9,58 a	12,5 a	16,3 cd	4,97 ab	11,8	16,6	24,85 a	
DG Plantio		9,73 a	12,6 a	18,2 a	4,85 ab	11,5	15,8	25,55 a	
DG 3 meses		9,60 a	12,3 a	16,4 bcd	4,88 ab	11,8	16,5	25,08 a	
DG 6 meses		9,53 a	12,4 a	16,6 bcd	4,65 b	11,5	16,3	25,30 a	
DG 12 meses		9,65 a	12,8 a	17,7 ab	4,78 b	11,5	16,3	25,88 a	

(1) e (2) = testemunhas absoluta e com adubo mineral (NPK e micronutrientes), respectivamente.

ns = não significativo (P > 0,05); (*, **) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

TABELA 6. Resumo dos resultados de análise de variância e das médias de volume total com casca (VTCC) e volume comercial sem casca (VCSC) das plantas de eucalipto em diferentes idades em função das aplicações dos resíduos (Lodo e dregs + grits) no plantio, aos 3, 6 e 12 meses.

Causas de Variação	GL	VTCC			VCSC		
		Idades (anos)					
		2	3	6,5	2	3	6,5
Resíduos (R)	1	9,90ns	1,4ns	5530**	11,2ns	1,8ns	4740**
Épocas (E)	3	50,6ns	116,3ns	1917ns	30,8ns	99,5ns	1717*
R x E	3	62,1*	220,3ns	280ns	68,6ns	236,2ns	152ns
Testemunhas (T)	1	342,4**	931,0**	8406**	747,3**	1010,2**	6764**
T x (R x E)	1	686,1**	3144,3**	2130**	1205,1**	3073,8**	1903**
T1 x (R x E)	1	1015,1**	3861,0**	28868**	1944,8**	3907,8**	24855**
T2 x (R x E)	1	51,7ns	460,2*	2272ns	58,5ns	405,4ns	2303*
Bloco	3	23,97ns	171,8ns	1211,2ns	56,81ns	202,5ns	965,5ns
Erro (resíduo)	45	21,92	92,21	710,7	36,09	106,2	481,8
CV (%)		10,90	9,94	11,18	14,77	10,74	11,64
Médias		------(m ³ ha ⁻¹)-----			------(m ³ ha ⁻¹)-----		
Testemunhas (T)		36,2 b	82,2 b	201 c	31,7 b	81,6 b	153 c
Lodo (L)		45,1 a	100,1 a	237 b	43,4 a	99,3 a	188 b
dregs + grits (DG)		44,2 a	100,4 a	259 a	42,4 a	99,7 a	207 a
Épocas							
Testemunha 1 ⁽¹⁾		30,9 c	73 c	174 b	23,8 b	72 b	129 b
Testemunha 2 ⁽²⁾		41,5 b	91 bc	227 a	39,6 a	91 ab	177 a
L Plantio		50,6 a	110 a	259 a	48,7 a	109 a	207 a
L 3 meses		43,60 ab	96 ab	228 a	40,7 a	95 a	179 a
L 6 meses		42,1 ab	95 ab	222 ab	40,9 a	94 a	176 a
L 12 meses		44,0 ab	99 ab	238 a	43,4 a	99 a	188 a
DG Plantio		43,6 ab	99 ab	267 a	41,6 a	97 a	217 a
DG 3 meses		47,3 ab	105 ab	256 a	44,9 a	104 a	202 a
DG 6 meses		42,9 ab	99 ab	245 a	41,8 a	99 a	195 a
DG 12 meses		43,1 ab	99 ab	266 a	41,4 a	99 a	215 a

(1) e (2) = testemunhas absoluta e com adubo mineral (NPK e micronutrientes), respectivamente.

ns = não significativo (P > 0,05); (*, **) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

Provavelmente, as épocas de aplicação que coincidiram com os períodos de maior precipitação (Figura 1) e temperatura (Figura 2) favoreceram a reação dos resíduos com o solo e, conseqüentemente, favoreceram o crescimento em diâmetro das plantas. Quando as plantas apresentavam um ano de idade, os resultados de altura foram maiores quando o lodo foi aplicado no plantio do que aos 6 meses ($P < 0,05$).

GUERRINI et al. (2000a) verificaram que a aplicação de 10 t ha^{-1} de lodo e 10 t ha^{-1} de cinza no plantio, promoveu maior produção de madeira de *E. grandis* no plantio do que aos 12 meses.

Segundo BELLOTE et al. (1998), o uso de resíduos industriais como a cinza de caldeira e o lodo (resíduo de celulose), juntamente com o adubo mineral, possibilitam ganhos expressivos no crescimento de *Eucalyptus grandis* em plantios florestais. Os maiores incrementos em altura e em volume de madeira foram obtidos nas doses mais elevadas de resíduo. Esses incrementos representam um acréscimo de produtividade da ordem de 85% em relação à adubação mineral.

3.3.4 Teores e quantidades de nutrientes e sódio nas folhas

Os resumos das análises de variância e das médias dos teores e acúmulos de nutrientes e sódio nas folhas das plantas de eucalipto são apresentados na Tabela 7 para as análises realizadas aos 6,5 anos de idade.

Houve efeitos significativos ($P < 0,05$) das aplicações dos resíduos ao solo nos teores de P, K, Ca, Mg e Na.

O teor de fósforo nas folhas de eucalipto aumentou com a aplicação do lodo em relação à testemunha e à aplicação de dregs + grits, a qual se apresenta na faixa de teores adequados ($P = 0,9 - 1,3 \text{ g kg}^{-1}$), conforme GONÇALVES (1995).

TABELA 7. Resumo dos resultados de análise de variância e das médias de teores e acúmulos de nutrientes e sódio nas folhas das plantas de eucalipto em diferentes idades em função das aplicações dos resíduos (Lodo e dregs + grits) aos 6,5 anos.

Causas de Variação	GL	Quadrados médios (significâncias)							
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	
(T1 e T2) x (L e DG)	1	0,067ns	0,161**	0,807**	5,704**	0,602**	0,042ns	4747262**	
(T1) x (T2, L e DG)	1	0,015ns	0,240**	0,161ns	1,531**	0,080ns	0,020ns	2324887**	
(T2) x (L e DG)	1	0,11ns	0,100**	1,914**	4,203**	0,563**	0,023ns	2529160**	
Bloco	5	1,11ns	0,017ns	0,417*	0,625**	0,103*	0,140**	17070ns	
Erro (resíduo)	15	1,21	0,006	0,080	0,131	0,026	0,015	32018	
CV (%)		5,15	5,41	4,30	8,91	7,68	14,07	15,66	
Médias		g kg ⁻¹							
Testemunha - T1		21,5	1,32 b	6,43 ab	3,62 b	2,22 a	0,83	604 b	
Testemunha - T2		21,2	1,40 b	7,08 a	3,52 b	2,33 a	0,85	792 b	
Lodo - L		22,0	1,70 a	6,72 ab	4,70 a	2,07 ab	0,92	726 b	
dregs + grits - DG		20,8	1,42 a	6,07 b	4,38 a	1,85 b	0,93	2449 a	
		Acúmulos							
(T1 e T2) x (L e DG)	1	309,6*	6,080**	5,273ns	108,67**	0,513ns	1,821*	57,026**	
(T1) x (T2, L e DG)	1	141,7ns	4,080**	24,558*	34,96**	0,070ns	0,860ns	27,391**	
(T2) x (L e DG)	1	172,5ns	2,533**	0,478ns	73,73**	1,131ns	0,993ns	30,870**	
Bloco	5	73,82ns	0,321ns	1,325ns	9,530*	1,840	1,696**	0,396ns	
Erro (resíduo)	15	48,33	0,186	5,086	2,672	0,449	0,246	0,410	
CV (%)		10,82	9,81	11,43	13,29	10,58	18,57	17,99	
		g Arvore ⁻¹							
Testemunha - T1		60	3,68 b	18	10,2 b	6,2	2,35	1,71 b	
Testemunha - T2		61	4,10 b	21	10,1 b	6,7	2,45	2,33 b	
Lodo		68	5,17 a	21	14,6 a	6,4	2,84	2,24 b	
dregs + grits		67	4,63 ab	20	14,3 a	6,0	3,06	7,96 a	

(1) e (2) = testemunhas absoluta e com adubo mineral (NPK e micronutrientes), respectivamente. ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Para o cálcio, houve aumentos com as aplicações dos dois resíduos em relação às testemunhas, mas não diferiram entre si. Mesmo assim, os teores obtidos nas folhas foram considerados baixos, semelhantes aos encontrados na faixa de deficiência para as plantas de eucalipto, abaixo de 10 g kg^{-1} (SCHÖNAU & HERBERT, 1983). MALAVOLTA (1987) considera teor baixo na faixa de 2 a 4 g kg^{-1} de Ca. Contudo, era de se esperar que os teores fossem maiores, devido às grandes quantidades de Ca na composição dos resíduos e dos teores adequados para um incremento médio anual de madeira de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (NOVAIS et al., 1986) obtidos no solo aos 6,5 anos para o eucalipto.

A aplicação de DG diminuiu o teor de magnésio nas folhas em relação à testemunha. Segundo SCHÖNAU & HERBERT (1983), o teor adequado para o Mg é de 3 g kg^{-1} , e de acordo com GONÇALVES et al. (1997) a faixa adequada varia de 3,5 a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$. Os resíduos usados apresentam grandes quantidades de Ca e pequenas de Mg (Tabela 2). TRIGUEIRO (2006), estudando efeitos de dregs + grits em clone de *E. grandis* x *E. urophylla* também, verificou esse mesmo efeito. Esse autor considera que além do baixo teor desse nutriente nesse tipo de resíduo, é possível que o aumento da concentração de cálcio na solução do solo tenha prejudicado a absorção do magnésio.

NOVAIS et al. (1990) comentam que a baixa demanda de Mg pelo eucalipto faz com que a relação Ca/Mg trocáveis adequada para o seu crescimento seja bastante ampla.

GUERRINI & MORO (1994), estudando os efeitos da aplicação de lodo decomposto (resíduo celulósico) e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, constataram que os teores foliares de nitrogênio e fósforo não sofreram alterações com a aplicação dos materiais orgânicos, enquanto que os teores de cálcio e magnésio aumentaram com a aplicação do resíduo celulósico.

BELLOTE et al. (1994), também trabalhando com *Eucalyptus grandis*, observaram que os maiores teores foliares dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram obtidos nos tratamentos em que se aplicaram as maiores quantidades de cinza e lodo (50 t de cinza e resíduo celulósico).

Os maiores teores de Na nas folhas foram obtidos com a adição de DG ao solo em relação à testemunha. O DG apresenta grande quantidade de Na (Tabela 2), o que promoveu maior absorção desse elemento pelas plantas, atingindo uma média de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$, abaixo do limite inferior da faixa de teores considerada tóxica para espécies arbóreas cultivadas. AYERS & WESTCOT (1994) relatam que, para essas espécies, o teor de Na nas folhas acima da faixa de $2,5$ a 5 g kg^{-1} está associado à toxicidade desse elemento. Esses autores também afirmam que a toxicidade do Na é reduzida quando há maior disponibilidade de Ca no solo.

TRIGUEIRO (2006) observou efeito fitotóxico decorrente da alta concentração de Na no terceiro e quarto meses após a instalação do experimento, quando as plantas dos tratamentos com dregs e grits apresentaram queima das folhas sem ocorrer morte das plantas. Esse autor ainda relata que a dose de dregs e grits (8 t ha^{-1}) usada foi muito alta.

Com relação ao acúmulo de nutrientes nas folhas, a aplicação de lodo ou de DG, sem diferença entre ambos, aumentou a quantidade de P e de Ca nas folhas em relação às testemunhas. Como as testemunhas produziram menores quantidades de madeira do que os demais tratamentos, o aumento da taxa de crescimento das árvores acompanhou de certa forma o de acúmulo de nutrientes, como foi constatado por REIS et al. (1985) e REIS et al. (1987).

A aplicação de DG causou maior acúmulo de Na nas folhas do que a aplicação de lodo e do que as testemunhas, sem diferença entre esses dois últimos. Esses resultados reforçam a absorção do Na do solo, presente em grande quantidade no DG, e translocação para as folhas.

3.4 CONCLUSÕES

Os resíduos da fábrica de celulose e papel são eficientes corretivos da acidez do solo.

A aplicação de 8 t ha^{-1} de dregs + grits no plantio proporcionou maior crescimento em diâmetro e produção de madeira de eucalipto do que a aplicação de 15 t ha^{-1} de lodo ativado não decomposto. Essa dose elevou os teores de Ca e Mg e a porcentagem de saturação por bases de Latossolo Vermelho distrófico para

valores adequados para uma produtividade de madeira de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos 6,5 anos, quando aplicados no plantio ou três meses após o mesmo.

3.5 REFERÊNCIAS

ABREU JÚNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ, V. F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 635-647, 2000.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T, D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1065-1073, 2002.

ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). *Química nova*, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 1994. 97 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29). Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2008.

ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 37, p. 99-106, 1998.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: GUERRINI, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; BÜLL, L. T. (Ed.). **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e pesquisas Agrícolas e florestais – FEPAF/UNESP, 1994. p. 167 – 187.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979. não paginado.

FABRES, A. S.; COUTO, C.; CONCEIÇÃO, D. A. Uso de resíduo industrial de celulose em florestas. In: GUERRINI, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; BÜLL, L. T. (Ed.). **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e pesquisas Agrícolas e florestais – FEPAF/UNESP, 1994. p. 121-140.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF- FATEC, 1992. 269 p.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da mata atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 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. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p 247-259. (Boletim Técnico, 100).

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

GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 2003. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2003.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: GUERRINI, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; BÜLL, L. T. (Ed.). **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas**. Botucatu: Fundação de Estudos e pesquisas Agrícolas e florestais – FEPAF/UNESP, 1994. p. 189-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BENEDETTI, V.; COMÉRIO, J.; MORO, L. Application of Wood ash and pulp and paper sludge to *Eucalyptus grandis* in three Brazilian soils. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K. (Ed.). **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000a. p. 127-131.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; GONÇALVES, J. L. M. Use of industrial residues on Eucalypt Plantation in Brazil. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K. (Ed.). **The forest alternative: principles and practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, University of Washington, 2000b. p. 218-224.

MALAVOLTA, E. Essências Florestais – Eucalipto e Pinus. In: **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. p. 376-396.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 P.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus spp*. Níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

PAJARA, F. F. D.; TEIXEIRA, J. R.; BISSANI, A.; GIANELLO, C. Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústrias de celulose na correção da acidez do solo – II aspectos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 1-15, 1987.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L.** 2004, 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system software.** Cary, 2002.

SCHÖNAU, A. P. G.; HERBERT, M. A. Relationship between growth rate, fertilizing and foliar nutrient concentrations for *Eucalyptus grandis*: preliminary investigations. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 4, n. 4, p. 369-380, 1983.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de dregs e grits nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto.** 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.