

**UTILIZAÇÃO DA "CINZA" DE BIOMASSA FLORESTAL COMO
FONTE DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS
PUROS DE *Eucalyptus grandis***

LUIZ MORO
Engenheiro florestal

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES

**Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Ciências - Área de
concentração: Ciências Florestais**

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Moro, Luiz

M867u Utilização da "cinza" de biomassa florestal como
fonte de nutriente em povoamentos puros de *Eucalyptus*
grandis. Piracicaba, 1994.

53p.

Diss. (Mestre) - ESALQ

Bibliografia.

1. Cinza de biomassa florestal 2. Eucalipto - Povoamento florestal 3. Eucalipto - Nutrição I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9734

**UTILIZAÇÃO DA "CINZA" DE BIOMASSA FLORESTAL COMO
FONTE DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS
PUROS DE *Eucalyptus grandis***

LUIZ MORO

Aprovada em: 11.04.1994

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Leonardo de M. Gonçalves

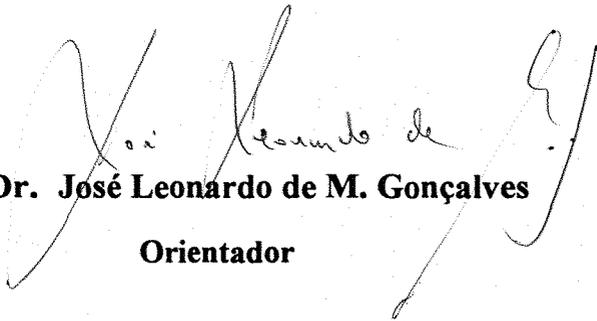
ESALQ/USP

Prof. Dr. Fábio Poggiani

ESALQ/USP

Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

FCA/UNESP


Prof. Dr. José Leonardo de M. Gonçalves

Orientador

**AOS MEUS PAIS JOSÉ E OLÍMPIA,
PELA DEDICAÇÃO À MINHA FORMAÇÃO
PESSOAL E PROFISSIONAL**

**À MINHA ESPOSA MARILZA,
PELO APOIO E COMPREENSÃO DURANTE
O DESENVOLVIMENTO DESTA TAREFA**

**ÀS MINHAS FILHAS ANA CAROLINA,
MARINA E LARISSA,
PELA ABDICAÇÃO DE SEUS PRECIOSOS MOMENTOS**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Champion Papel e Celulose Ltda, na pessoa do Diretor de Recursos Naturais, Sr. Manoel de Freitas, pela oportunidade concedida e incentivos prestados, sem os quais não seria possível este aprimoramento científico.

Ao Professor Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, meu orientador, pela incansável dedicação, apoio irrestrito e amizade que foram decisivos na conclusão deste trabalho.

Aos amigos da Champion Papel e Celulose Ltda e da Chamflora Agrícola Ltda, especialmente ao Sr. Antônio Sérgio Diniz, pela amizade, compreensão e incentivo.

À equipe de pesquisa florestal da Chamflora Agrícola Ltda, pela presteza e qualidade nos trabalhos de campo e, de modo especial, ao técnico agrícola Marco Aurélio Freitas Lopes.

Aos funcionários do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) e da Escola Superior de Agricultura "*Luiz de Queiroz*" (ESALQ), que de alguma forma, me auxiliaram na elaboração deste, destacando Osvaldo Damião Júnior (ex-funcionário), o técnico agrícola José Amarildo da Fonseca pelos trabalhos prestados no experimento de casa de vegetação, e o técnico em química Elvio Tadeu Aguado pela realização das análises de laboratório.

Ao Professor Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela co-orientação, sugestões de coleta de material no campo e auxílio prestado nas análises estatísticas.

Ao Professor Dr. João Walter Simões, também pela co-orientação e sugestões no transcorrer deste trabalho.

Ao Professor Dr. Iraê Amaral Guerrini, pelas sugestões, incentivo e, sobretudo, pela amizade.

Ao engenheiro florestal e funcionário da Chamflora Agrícola Ltda, Robinson Cannaval Jr., pelo auxílio prestado nas análises estatísticas.

Ao colega e funcionário da Champion Papel e Celulose Ltda, Armando José Storni Santiago, pela tradução do resumo.

Ao técnico em computação do Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP, Milton Cezar Ribeiro, pela composição deste texto.

A todos que direta ou indiretamente tiveram participação na realização deste trabalho, externo meus sinceros agradecimentos, em especial, àqueles que me incentivaram para que fosse possível o cumprimento desta meta.

ÍNDICE

	Pág
Resumo	viii
Summary	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Considerações Gerais Sobre os Solos do Cerrado.....	03
2.2. Efeitos da Cinza Sobre as Características Químicas do Solo	05
2.3. Efeitos da Cinza Sobre as Propriedades Físicas do Solo	08
2.4. Efeitos da Cinza Sobre as Propriedades Biológicas do Solo	09
2.5. Efeitos da Cinza Sobre a Produção Vegetal	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Local de Instalação do Experimento e Características Físicas e Químicas do Solo	13
3.2. Caracterização Climática da Área Experimental.....	15
3.3. Material Genético Usado no Plantio, Tratamentos Aplicados e Delineamento Experimental.....	17
3.4. Avaliações Dendrométricas e Amostragens dos Componentes Aéreos das Árvores para Análises Químicas	19
3.4.1. Estimativa do Índice de Sítio (IS)	21
3.5. Análise Química do Material Vegetal	22
3.6. Avaliação Econômica Relacionada com os Custos e Benefícios Advindos da Aplicação da Cinza	22
3.7. Incubação de Amostras de Solo com Diferentes Dosagens de Cinza	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Efeito da Cinza de Biomassa Florestal Sobre o Crescimento das Árvores	25
4.1.1. Crescimento em Altura, DAP, Volume, Percentagem de Falhas e Índice de Sítio	25
4.1.2. Produção de Matéria Seca	29
4.2. Custos e Benefícios Advindos da Aplicação da Cinza	30

4.3. Reflexos da Aplicação de Adubo e Cinza Sobre as Características Químicas e Físicas do Solo	32
4.3.1. Análise Química e Física do Solo em Condições de Campo	32
4.3.2. Análise Química do Solo em Condições de Laboratório	36
4.4. Efeito da Cinza Sobre as Quantidades de Nutrientes Acumulados Pelos Componentes das Árvores	40
4.5. Eficiência de Utilização dos Nutrientes	43
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

UTILIZAÇÃO DA "CINZA" DE BIOMASSA FLORESTAL COMO
FONTE DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS
PUROS DE *Eucalyptus grandis*

Autor: LUIZ MORO

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES

RESUMO:

Com o intuito de avaliar a utilização da "cinza", proveniente de biomassa florestal, como fonte de nutrientes para florestamentos com *Eucalyptus grandis*, foi instalado um experimento no município de Casa Branca-SP, numa área cujo solo foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média, distrófico, sob um clima do tipo Cwa, segundo Köppen. Os tratamentos constituíram-se das seguintes aplicações de fertilizante mineral e "cinza": testemunha, sem aplicação de "cinza" nem fertilizante; aplicação de 417 kg/ha de NPK 10:20:10 na cova de plantio; e aplicações de doses crescentes de "cinza", 5, 10, 15, 20 e 25 t/ha, distribuídas a lanço e incorporadas superficialmente até 10 cm de profundidade com grade leve, por ocasião do plantio. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, composto de 7 tratamentos e 3 repetições. As árvores foram plantadas no espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Aos 51, 63 e 79 meses pós-plantio, avaliou-se o diâmetro médio à altura do peito -DAP- (cm), a altura média (m), o índice de sítio (m), o volume sólido de madeira com casca (m³/ha) e a percentagem de falhas.

As características físicas e químicas do solo foram avaliadas 72 meses após o plantio. Sob condições ambientais de laboratório, temperatura média igual a 20°C, foram incubadas amostras de solo, oriundas da área experimental com tratamentos que receberam doses de "cinza" equivalentes a 0, 15, 30 e 45 t/ha. Aos 2, 60 e 120 dias de incubação, foram feitas análises químicas para avaliar os reflexos da aplicação de "cinza" nas características químicas do solo. Os tratamentos que receberam "cinza" foram superiores ao que recebeu fertilizante, em que a dose de 20 t/ha, proporcionou ganhos de produção 49% superiores aos da testemunha. Por intermédio da equação $Y = 193,5398 + 7,6614 X - 0,1678 X^2$ ($R^2=0,78$; $P=0,05$), onde Y é o volume sólido de madeira com casca (m^3/ha) e X é a dose de "cinza" aplicada, e pelos custos variáveis relativos à aplicação da "cinza", estimou-se que a dose mais econômica de "cinza" seria igual a 19,6 t/ha, para uma distância de transporte deste resíduo igual a 65 km. Cerca de 21 m^3 de madeira com casca seriam necessários para pagar as despesas envolvidas com a aplicação da "cinza". Ou seja, 25% do ganho de produção de madeira obtido com a aplicação desta dose, que foi de 64,6 m^3 de madeira por ha. De acordo com as análises de solo feitas 72 meses após a aplicação de "cinza", verificou-se que, com exceção do pH e do P, não havia diferença estatisticamente significativa entre tratamentos. Por outro lado, a concentração e o conteúdo de macronutrientes localizados nos diversos componentes das árvores foram bastante influenciados pela aplicação da "cinza", destacadamente, para os nutrientes Ca e K. Atribuiu-se a estes nutrientes a maior parte dos efeitos sobre a nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*, responsáveis pelas maiores respostas em produtividade. Nas condições de laboratório, a "cinza" promoveu mudanças significativas nas características químicas do solo, alterando por conseguinte, a nutrição mineral das árvores. A sensível elevação da fertilidade

do solo promovida pela "cinza" foi tomada como sendo a principal razão para os ganhos de produtividade obtidos mediante a aplicação desse resíduo industrial.

UTILIZATION OF ASH FROM FOREST BIOMASS AS A
SOURCE OF NUTRIENTS FOR HOMOGENEOUS
EUCALYPTUS GRANDIS STANDS

Author: LUIZ MORO

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES

SUMMARY

In order to evaluate the utilization of ash - produced from burnet biomass forest - as a nutrient source to *Eucalyptus grandis* plantations, an experiment was established in the municipal district of Casa Branca - SP. The soil type at the experimental area has been classified as Red Yellowish Latossol, medium texture, dystrophic, under a Cwa climate classification, according to Köppen. Treatments consisted on the following mineral fertilizer and ash application: control, without application of ash and fertilizer; the application of 417 Kg/ha NPK 10.20.10 in the planting hole; application of increasing amounts of ash 5, 10, 15, 20, 25 t/ha, casting distributed and superficially incorporated up to 10 cm with light disking, during planting operation. Experiment design was the randomized block, composed of 3 treatments and 3 repetitions. Trees were planted in a 3,0x2,0 m spacing. After 51, 63 and 79 months from planting, Diameter at Breast Height (DBH-cm), average height (m), site index (m), timber volume (m³/ha) and planting failure percentage were evaluated. Physical and chemical soil characteristics were evaluated 72 months after planting. In the laboratory - under normal conditions environment, average temperature equal 20°C - soil samples

from experiment areas were incubated with treatments which have had received ash doses equivalent to 0, 15, 30 and 45 t/ha. In the 2nd, 60 th and 120 th days after incubation, chemical analysis were undertaken to evaluate the effects of ash application on the chemical soil characteristics. Ash application resulted in a considerable wood productivity increase. For example, for the treatment with best response, 20 t/ha, productivity increase reached 49% more than control. In a broad way, the treatments which received ash application were superior to those which fertilizer was applied. Using the equation $Y=193,5398 + 7,6614 X - 0,1678 X^2$ ($R^2=0,78;P=0,05$), where Y is wood solid volume with bark (m^3/ha) and X refers to number of ash dose applied, and using variable costs related with ash application, it was estimated that 19,6 t/ha should be most economic ash dose to be applied, for a considered ash transportation distance of 65 Km. About 21 m^3 of wood (bark considered) should be necessary to offset related costs of ash application, that is, 25% of the productivity increase obtained from this dose application, which was 64,6 m^3 of wood/ha. After 72 months from ash application, it was observed that, apart from pH and P, there were no differences at statistical level between treatments. On the other hand, the concentration and the content of macronutrients placed in the various tree components were very influenced by ash application, notoriously for Ca and K. It was attributed to these nutrients the major effects on *Eucalyptus grandis* nutrition, which resulted in great increases in productivity. At laboratory level, ash application promoted large changes on the chemical soil characteristics, demonstrating be able to alter radically soil fertility, consequently tree mineral nutrition. The clearly soil fertility increase promoted by the ash was taken as being the main reason for productivity increase obtained from the application of this industrial residue.

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento das indústrias de celulose, papel e siderurgia nas últimas décadas tem provocado a geração de elevados montantes de resíduos sólidos e líquidos, os quais têm se constituído em constante preocupação econômica e ambiental. Dentre os resíduos, a **Cinza de Biomassa Florestal**¹ tem tido destaque, tanto pelos montantes produzidos, como pelas suas características físicas e químicas, que têm levado muitos pesquisadores e silvicultores a acreditar no seu potencial como fonte de nutrientes para as árvores e, também, como agente capaz de melhorar as condições físicas e químicas do solo. A utilização desse resíduo torna-se mais promissora, ao se considerar que a maioria dos solos atualmente em uso nos plantios com fins industriais, foram originalmente ocupados por vegetação de cerrados, de baixa fertilidade natural. Além disso, deve-se considerar também a crescente elevação dos custos de aquisição e aplicação de fertilizantes minerais, que levam os silvicultores a procurar meios alternativos de manejo florestal, com intuito de reduzir despesas.

Por outro lado, poucos são os estudos conduzidos no Brasil que utilizaram a cinza como insumo de produção em plantações florestais. Alguns pesquisadores verificaram grandes retornos em produção, devido à aplicação desse resíduo. Praticamente todos os estudos tiveram um enfoque de pesquisa aplicada, oferecendo poucas explicações científicas para as razões que levam as árvores a responder positivamente à adição de cinza.

¹**Cinza de Biomassa Florestal** é um resíduo industrial, sólido, proveniente da combustão incompleta e variável de madeira e casca, com intuito de produzir energia térmica para a produção de vapor. Este resíduo também é conhecido como **Moinha de Carvão**, dadas as suas características físicas e químicas. O vapor produzido é usado para geração de energia elétrica e para aquecimentos diversos nas indústrias de celulose, papel e siderurgia, principalmente. Por comodidade de redação, a seguir será utilizado apenas o termo cinza para se referir a esse resíduo industrial.

Neste contexto, frequentemente se pergunta, nos mais diversos meios científicos e técnicos do setor florestal:

- quais são os reflexos a curto, médio e longo prazos da aplicação de cinza sobre as características físicas e químicas do solo? Quais são os efeitos na nutrição mineral das árvores? Enfim, como se explicam os ganhos de produtividade florestal promovidos pela aplicação da cinza proveniente de biomassa florestal?

Foram objetivos do presente trabalho:

- analisar o efeito da cinza sobre o crescimento de povoamentos florestais formados com *E. grandis*, bem como, fazer uma avaliação financeira dos custos e benefícios advindos da aplicação desse resíduo industrial;
- estudar os efeitos da cinza de biomassa florestal sobre as características físicas e químicas de um solo de textura média;
- avaliar os reflexos desse resíduo sobre a nutrição mineral das árvores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações Gerais Sobre os Solos do Cerrado

A expansão da área reflorestada no Brasil tem sido feita principalmente em solos sob vegetação de cerrado. Estes solos são caracterizados como de baixa fertilidade natural e alto grau de acidez, sendo encontrados sob condições bioclimáticas diversas, as quais determinam a predominância dos processos de perda (LOPES & COX, 1977; COSTA & CARMO, 1985).

Evidências da baixa capacidade de retenção de água desses solos são relatadas por (RANZANI, 1972; MEDINA & GROHMAN, 1966; WOLF, 1975 e LOPES, 1983), onde a maioria estabelece certo grau de relação com as características texturais e com o baixo teor de matéria orgânica.

Os solos comumente utilizados para plantios florestais, como os Entisolos e alguns Oxisolos, não podem ser aceitos como um reservatório permanente de nutrientes, pois além de serem consumidos pela exploração da floresta, estão sujeitos a erosão e a lixiviação, determinando a perda de produtividade do sítio. Essa tendência pode ser minimizada pela combinação de aplicação de fertilizantes químicos e práticas de manejo (PRITCHET, 1979 e COLE, 1981).

Por outro lado, PRITCHET (1979), afirma que os solos florestais devem ser aceitos como organismos dinâmicos, nos quais os processos de intemperismo estão sempre atuando, constituindo-se portanto, nos agentes de reabastecimento natural dos solos em nutrientes. Entretanto, o autor não correlaciona quantitativamente a perda dos nutrientes por erosão, lixiviação e exportação, com a reposição pelo intemperismo, cujas perdas podem, muitas vezes, ser bem maiores do que a reposição natural de nutrientes pelo solo (através do intemperismo) e pelas aplicações via fertilizantes, levando a um empobrecimento do solo, tornando-o, por vezes, de baixíssima produtividade potencial.

Em solos de cerrado, o acúmulo de matéria orgânica é resultante da baixa

capacidade de mineralização desta (RIBEIRO et al., 1972 e LOPES, 1977). DATALTO (1982), afirma que a redução do teor de matéria orgânica dos Latossolos de textura média e Areias Quartzosas, solos típicos da região dos cerrados, através do revolvimento da camada arável, é conseqüência de uma rápida mineralização da matéria orgânica, que, especialmente nestes solos, comprometerá drasticamente a retenção de água e nutrientes. A diminuição da matéria orgânica nos solos sob vegetação de cerrado é tida como uma das principais causas do decréscimo do seu nível de fertilidade, conseqüentemente, afetando sua capacidade produtiva.

Discorrendo sobre o manejo da CTC de solos tropicais, (BUOL et al., 1975 e SANCHEZ, 1981), afirmam ser necessário pelo menos 4 meq/100g para reter a maioria dos cátions contra os efeitos da lixiviação. Citam que o aumento da CTC é um objetivo importante de manejo, podendo ser praticado com melhores resultados através da calagem e adição de matéria orgânica aos solos. A cinza de biomassa florestal, embora não seja considerada como a única fonte de matéria orgânica, nem tão pouco utilizada com objetivos similares aos da aplicação de calcário, contém teores significativos de matéria orgânica e cálcio, dentre outros.

HERNANI (1986) cita que a queima de resíduos vegetais tem um papel relevante em regiões de solos quimicamente pobres, pois ela promove a passagem, quase que imediata, dos nutrientes da vegetação para as cinzas que são depositadas sobre a superfície do terreno, constituindo-se assim, em alternativa à melhoria da fertilidade do solo em pré-plantio.

Embora reconhecendo o efeito benéfico do fogo na mineralização da matéria orgânica e no aumento da fertilidade do solo, esta prática deve ser aplicada com certos cuidados pois, em determinadas condições de solo e clima, pode promover também uma rápida lixiviação dos nutrientes e, em culturas florestais cujos ciclos são relativamente longos, esses efeitos podem ser percebidos apenas temporariamente.

KEMPER & LENTHE (1985), afirmam que o recobrimento não homogêneo da

superfície do solo numa derrubada de floresta leva à distribuição heterogênea das cinzas, o que aumenta a variabilidade espacial dos nutrientes no solo, revelando-se no crescimento heterogêneo das culturas. Este aspecto pode muito bem ser observado na cultura de eucalipto, mediante a grande variação de concentração de cinza nas leiras deixadas pela derrubada da floresta primitiva ou mesmo mediante as leiras da colheita de plantios florestais.

2.2. Efeitos da Cinza Sobre as Características Químicas do Solo

A composição das cinzas produz importantes mudanças nas propriedades químicas do solo. O pH dos primeiros 5 cm superficiais de um "Alfisol" de Ghana, aumentou de 5,2 para 8,1 logo após a queima, e caiu para 7,0 dois anos depois. As camadas mais inferiores (5-15 e 15-30 cm) também tiveram elevação significativa no pH, mas voltaram, dois anos depois, a apresentar valores próximos aos originais (NYE & GREENLAND, 1964).

Um mês após a queima, o pH nos primeiros 15 cm de um Latossolo, elevou-se significativamente. No quarto mês, o aumento observado para o pH foi ainda mais relevante e 12 meses após a queima, os efeitos ainda não haviam se dissipado completamente, sendo que o pH mantinha-se acima dos níveis originais (SILVA, 1981).

HERNANI (1986), estudando três diferentes sistemas de limpeza do terreno (sem remoção dos materiais da floresta, queima total e limpeza total com trator de esteira e lâmina reta), detectou que o pH na camada 0-4 cm, sob as condições do tratamento com queima total, foi sempre significativamente mais elevado que sob os outros tratamentos, porém não houve diferenças significativas nas demais camadas. A elevação do pH foi atribuída à constituição das cinzas depositadas na superfície do solo.

Trabalho realizado por BARROS et al. (1982), em áreas de cerrado com plantio de *Eucalyptus grandis*, com o objetivo de verificar o efeito da queima de leiras sobre a liberação de elementos minerais para o solo, bem como o crescimento das

árvores, detectou que o pH em áreas com leiras foi 7,2 contra 4,5 em áreas sem leiras, antes do plantio, e após 5 anos do plantio, o pH ainda era 5,9 para a área com leira e 4,4 para a área sem leira.

WEBER et al. (1987) estudaram os efeitos da aplicação de cinza, N e P sobre a atividade da microbiota na decomposição de casca de eucalipto, e verificaram um aumento na quantidade de CO₂ desprendida em função das doses crescentes de cinza adicionadas ao material. Esse efeito pode ser atribuído ao fornecimento de nutrientes pela cinza e à neutralização da acidez das cascas.

O efeito da cinza de biomassa sobre o pH do solo foi estudado por NAYLOR & SCHMIDT (1989), que ao aplicarem de 0 a 55 t/ha de cinza observaram, dois anos após, os valores de 5,6 e 7,0, respectivamente.

LÜKEN et al. (1983) constataram que oito meses após a queima de uma floresta primária do tipo "Cerrado Grosso", a camada 0-10 cm de um LVA foi afetada muito mais intensamente que a 20-30 cm, sendo que o fósforo, o cálcio e a saturação por bases sofreram significativos incrementos e o alumínio trocável sofreu rápida diminuição, enquanto que não houve mudanças na matéria orgânica e no magnésio. Quatro anos após, o teor de alumínio trocável ainda era inferior ao da floresta primária.

SILVA (1981) observou que, um mês após a queima, os teores de bases trocáveis, fósforo, potássio e sódio dos primeiros 15 cm de um Latossolo, elevaram-se significativamente. No quarto mês, os aumentos observados para o fósforo foram ainda mais relevantes e 12 meses após a queima os efeitos ainda não haviam se dissipado completamente, sendo que o cálcio, magnésio e o fósforo mantinham-se acima dos níveis originais, enquanto que o alumínio trocável permanecia significativamente abaixo desses níveis.

HERNANI (1986) detectou que os teores de cálcio na camada de 0-4 cm, no 24º mês após a queima, mantiveram-se cerca de 4 vezes maiores que o original, não sendo afetados os teores das camadas de até 80 cm de profundidade. O teor de magnésio trocável na camada 0-4 cm sofreu mudanças sob o tratamento com

queima total, mas não foi significativamente afetado para outros métodos de limpeza. Sob o tratamento queimado, na camada 0-4 cm, o teor de alumínio no 4º mês decresceu 8 vezes em relação à época anterior à queima e, oito meses após, esse teor ainda era 2 vezes menor que o original. A utilização da queima também resultou em teores de fósforo maiores na camada 0-4 cm, sendo que os tratamentos sem cinza não apresentaram efeitos significativos. Um mês após a queima, o teor de potássio da camada 0-4 cm, foi 2,6 vezes maior que o original. A partir do quarto mês observou-se uma tendência de declínio, sendo que no 13º mês após a queima, o teor de potássio tornou-se semelhante ao original.

CADIMA et al. (1982) também constataram, três meses após a queima, que todas as camadas (0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm) de um Latossolo Amarelo sofreram quedas significativas no teor de alumínio.

BARROS et al. (1982) mostram que em áreas com leira, os teores de P, K, Ca e Mg foram 46,7; 4,3; 2,8 e 40,0 vezes superiores, respectivamente, aos da área sem leira, no período anterior ao plantio e, após 5 anos, os teores de nutrientes ainda estavam na ordem de 9,7; 6,7; 1,7 e 8 vezes superiores em relação à área sem leira.

NAYLOR & SCHMIDT (1989), ao estudarem a aplicação de 0 a 55 t/ha de cinza, observaram elevação da disponibilidade de K, Ca, Mg e P em solo ácido, com tendência de diminuição com o passar dos anos. Quanto ao N, embora quase não ocorresse na cinza, em todas as parcelas com cultivo de alfafa, os teores de N eram no mínimo 2 vezes maiores que nas parcelas testemunhas, provavelmente em função da melhoria do ambiente da rizosfera. As plantas que receberam cinza apresentaram maiores teores de B, Mo e Zn, permanecendo os demais micronutrientes iguais à testemunha.

EDEN et al. (1991), analisando as propriedades de um solo numa área florestal queimada no norte de Roraima, mostraram que após a queima houve um notável aumento de Ca e Mg trocáveis e um menor incremento do K, havendo um subsequente declínio nos teores com o passar dos anos.

O efeito de queima de grande quantidade de material combustível, maior que 50 t/ha, pode ser comparado com o efeito da calagem ao solo, sendo a liberação de Ca a principal responsável pelas mudanças, particularmente na profundidade de 0-2 cm (TOMKINS et al., 1991). Os autores citam ainda que o pH, Ca trocável e P disponível tiveram seus níveis aumentados após 2 anos da queima e precipitação de 2.000 mm de chuva.

SIMPSON et al. (1983) estudaram o comportamento da mistura de cinza com lodo de indústria de papel nas doses de 59 a 118 t/ha e observaram aumentos do pH do solo, matéria orgânica e níveis de fósforo e cálcio trocáveis. Também o autor ERICH (1991), estudando a utilização de cinza de caldeira do processo de produção de energia, concluiu haver aumento do pH do solo e suprimento de P e K às plantas.

STAPE & ZANI (1990) estudaram o efeito de diferentes adubações de manutenção em *Eucalyptus grandis*, implantados em Areias Quartzosas, onde evidenciaram que 5 t/ha de cinza forneceu de modo mais equilibrado e de forma mais lentamente solúvel os macro e micronutrientes, comparando-se a uma fórmula NPK de relação (1:3:7) mais Ca, Mg e micronutrientes.

NYE & GREENLAND (1964) detectaram significativos aumentos de K, Ca e Mg nos 5 cm superficiais dos solos após a queima, sendo, respectivamente, de 5, 2,9 e 1,5 vezes superiores aos observados antes da queima, e um ano após, os teores, com exceção do Ca, se aproximaram aos originais.

POGGIANI et al. (1983) recomendam que dentro do possível, a devolução das cinzas às florestas é uma solução que deve ser sempre incentivada, face ao elevado teor de potássio, cálcio, magnésio e outros nutrientes que elas contêm.

2.3. Efeitos da Cinza Sobre as Propriedades Físicas do Solo

Embora poucas pesquisas tenham sido desenvolvidas com o objetivo de detectar as possíveis contribuições da cinza nas alterações das propriedades físicas do

solo, tem-se encontrado algumas indicações da sua existência. PEREIRA et al. (1982) citam que a moinha de carvão vegetal, além de relativamente rica em certos elementos, pode atuar na retenção de umidade inicial às plantas. McINTOSH et al. (1987) citam resultados preliminares indicando que a adição de cinza no solo reduz a resistência à penetração e a densidade aparente. Dados divergentes foram evidenciados por THICKE et al. (1988), mostrando que aplicações de 0 a 123 t/ha de cinza não afetaram a densidade aparente do solo.

VALENZUELA (1960) conclui que a liberação de materiais básicos das cinzas e a desidratação das partículas mais superficiais do solo através do fogo, provocam um melhoramento da estrutura através do aumento em número, tamanho e estabilidade dos agregados do solo, conseguindo-se uma grande resistência ao efeito destruidor das gotas da chuva no horizonte superficial. Também Tarrant¹, citado por VALENZUELA (1960), concluiu que em solos da reserva índia Colville, Washington, U.S.A., se produzia uma agregação no solo causada pela liberação de materiais básicos da cinza.

2.4. Efeitos da Cinza Sobre as Propriedades Biológicas do Solo

O estudo da microbiologia do solo necessita de maior disponibilidade de tempo, investimentos e equipamentos de grande precisão, sendo então provavelmente estas uma das principais causas de poucos trabalhos desenvolvidos no tocante ao uso da cinza sobre a alteração da microfauna do solo. Entretanto, SINGH et al. (1990), utilizando cinza na recuperação de um solo e vegetação em uma área de mina degradada, concluíram haver um incremento significativo da atividade da massa microbiana e dehidrogenase, podendo ser bons indicadores da reabilitação da microbiologia de um solo degradado. Isto está de acordo com observações feitas por TOMECEK et al. (1989), que utilizando cinza de caldeira na revegetação de área com deficiência de fósforo, concluíram que a inoculação de micorrizas aumentou o peso seco de *Festuca arundinacea* com cinza altamente alcalina somente com alta aplicação de P, enquanto que a micorriza estimulou o

¹TARRANT, R. F. Changes in some physical soil properties after a prescribed burn in young ponderosa pine. *Journal of Forestry* 45 (7): 439 - 441, 1956.

crescimento de alfafa com cinza moderadamente alcalina em mistura com baixa fertilização.

Corbet, citado por VALENZUELA (1960), discutindo algumas pesquisas em que se estudou o efeito da cinza sobre a população de microrganismos do solo, afirma que o número de bactérias pode ser possivelmente aumentado pela adição das cinzas. Encontrou também que após a queima, o número total de colônias de nitrobactérias aumentava pela influência das cinzas da madeira. De acordo com este mesmo autor, a melhoria das propriedades físicas e o aumento da disponibilidade de elementos químicos no solo, através das cinzas, são fatores inegáveis no aumento do número de bactérias nitrificantes e actinomicetos.

Ainda segundo Corbet, citado por VALENZUELA (1960), o número total de actinomicetos do solo é aumentado com a queima, devido ao efeito exercido pelas cinzas.

2.5. Efeitos da Cinza Sobre a Produção Vegetal

Os efeitos da cinza sobre o aumento da produção de diversas culturas agrícolas e florestais foram estudados por vários autores, como, por exemplo, os observados por MAGDOFF et al. (1986) que, estudando o uso de cinza de madeira na produção de milho e alfafa, perceberam que as plantas cresceram mais com a aplicação de cinza do que com a aplicação de calcário. Ocorreram injúrias nas plantas quando foi usado excesso de calcário, mas geralmente não ocorreram quando excesso de cinza foi aplicado. NAYLOR & SCHMIDT (1989), citam que a produção máxima total de feno (13,84 t/ha de matéria seca) foi obtida com o uso de 55 t/ha de cinza, sendo que com apenas 19 t/ha de cinza a produção rendeu 10,7 t/ha. As produções obtidas mediante aplicações de cinza superaram a testemunha absoluta que produziu apenas 5,6 t/ha de matéria seca. SIMPSON et al. (1983), estudando mistura de cinza com lodo de esgoto de indústria de papel em culturas de centeio, sorgo e milho, concluíram que aplicações de 59 a 118 t/ha aumentaram a produção comparada com a testemunha e obtiveram resultados semelhantes aos obtidos com a fertilização comercial.

Os efeitos da cinza na produtividade florestal foram verificados por PEREIRA et al. (1982) que mostraram que a aplicação de 500, 1500 e 3000 Kg/ha de cinza em covas de *Eucalyptus saligna* proporcionou ganhos semelhantes ao tratamento com 100 g/cova de NPK 10-28-6 e foram significativamente superiores à testemunha absoluta. STAPE & ZANI (1990), estudando o efeito de diferentes adubações de manutenção realizadas aos 2 anos e 10 meses pós-plantio em *Eucalyptus grandis* implantado sobre Areias Quartzosas, mostraram que aos 5 anos e meio a produção da testemunha era da ordem de 38 m³/ha, ao passo que para as parcelas com 5 t/ha de cinza a produção foi de 86 m³/ha e para a fertilização nitrogenada-potássica de 69 m³/ha. Também (DINIZ & BEIG 1982; PEREIRA, 1982 e STAPE & BALLONI, 1988) mostraram que a cinza de biomassa florestal usada na implantação de florestas de *Eucalyptus* é altamente benéfica nas dosagens de 3 a 6 t/ha, com grandes acréscimos de produção.

O estabelecimento de plantas de espécies nativas dos Estados Unidos, segundo TOMECEK et al. (1990), foi afetado com a utilização de cinza, mostrando que a quantidade de mudas e a produção de peso seco foi significativamente aumentada.

BARROS et al. (1982), estudando a liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras em plantio de *Eucalyptus grandis*, com 4 e 5 anos de idade, detectaram ganhos em volume de 300 a 450%, respectivamente, em relação à área sem leira. Estes dados estão de acordo com observações feitas por BALLONI (1978), que diz que após estabelecida a floresta, nos locais onde houve a queima dos restos de desmatamento, as plantas foram mais vigorosas, de coloração verde mais escura e com maior sobrevivência.

ZANI & BALLONI (1988), testaram diversos substratos no enraizamento de estacas de *Eucalyptus*, onde concluíram que o melhor resultado foi obtido com a mistura de 25% de composto orgânico e 75% de cinza, obtendo cerca de 84% de enraizamento, enquanto que o pior tratamento foi com o produto comercial constituído de vermiculita e casca de pinus, cerca de 27% de enraizamento. Observaram que com o aumento gradativo da cinza e a diminuição do composto orgânico, houve tendência em aumentar o percentual de enraizamento, sugerindo que a cinza contribui com o enraizamento nesta fase inicial. Os autores ainda

observaram que o aumento de concentração de cinza provocou um maior crescimento das raízes, fazendo com que as mesmas saíssem pela parte superior dos tubetes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de Instalação do Experimento e Características Físicas e Químicas do Solo.

O experimento foi instalado em uma área da Champion Papel e Celulose Ltda., na Fazenda Boa Vista localizada no município de Casa Branca - SP, cujas posições geográficas são: Latitude 21°54'S, longitude 47°02'W e altitude 670 m.

O solo da área experimental foi classificado por RANZANI (1972), como sendo um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, profundo, bem drenado e de classe textural barro-argilo-arenosa. O relevo local é do tipo plano. Aos 72 meses após a instalação do experimento, coletaram-se amostras compostas de solo para a caracterização física e química da área experimental, constituídas por seis amostras simples distribuídas em pontos equidistantes e nas profundidades: 0-10, 10-20 e 30-50 cm (Tabela 1).

Para as análises químicas das amostras, seguiu-se a metodologia proposta por RAIJ et al. (1987):

pH em CaCl₂ 0,01 M - determinado potenciometricamente numa suspensão solo-líquido de 1:2,5, com tempo de contato de trinta minutos e sem agitação da suspensão antes da leitura;

Carbono orgânico - determinado através da oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio 1 N em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal 0,4 N;

Fósforo assimilável - extraído por resina trocadora de íons e depois dosado colorimetricamente pela redução do complexo fosfo-molibídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto;

Cálcio, magnésio e potássio trocáveis - extraídos por resina trocadora de íons. O cálcio e o magnésio foram determinados pelo espectrofotômetro de absorção atômica e o potássio por fotometria de chama;

S (soma de bases trocáveis) - calculada pela fórmula:

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+};$$

Acidez titulável ($H^+ + Al^{+3}$) - extraída com solução tampão SMP, a partir da solução de $CaCl_2$ 0,01 M com quinze minutos de agitação e sessenta minutos de repouso;

CTC (Capacidade de troca de cátions) - obtida pela soma de S, H^+ e Al^{+3} ;

Valor V (Percentagem de Saturação por Bases) - calculado pela fórmula:

$$V(\%) = \frac{S}{CTC} \times 100$$

As análises físicas foram feitas com base na metodologia proposta pelo "Manual de Métodos de Análises de Solo" (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1979).

Terra fina seca ao ar - separadas por tamisação, empregando-se peneiras de malha de 2 mm (furos circulares);

Densidade global - obtida pela secagem a $105^{\circ}C$ e pesagem de amostras de solo natural, coletadas no campo com anéis de Kopeck (Método do Anel Volumétrico);

Análise granulométrica - determinada por sedimentação em cilindro de Koettgen, sendo usado calgon (hexametáfosfato de sódio 4,4%) como agente de dispersão e agitação de alta rotação durante quinze minutos. As frações areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina foram separadas por tamisação em peneiras de malha 1; 0,5; 0,25; 0,10 e 0,05 mm de diâmetro, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo hidrômetro de Boyoucos (VETTORI & PIERANTONI, 1968). A fração silte foi determinada pela diferença entre o peso de terra fina seca ao ar menos o peso de areia total mais argila.

Tabela 01. Análises químicas e físicas de amostras de solo das profundidades 0-10, 10-20 e 30-50 cm da área experimental.

Profundidade cm	pH em	M.O.	P	H ⁺ Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	S	CTC	V
	CaCl ₂ 0,01 M	%	µg/cm ³	meq/100 cm ³ de terra						%
0 -10	4,2	2,4	2	4,17	0,03	0,10	0,01	0,14	4,31	5
10-20	4,2	2,0	2	4,23	0,04	0,10	0,01	0,15	4,38	3
30-50	4,2	1,5	1	3,40	0,03	0,10	0,01	0,14	3,54	4

Profundidade cm	Areia m. grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia m. fina	Areia total	Silte	Argila	Densidade global
	-----	-----	-----	-----	%	-----	-----	-----	g/cm ³
0 -10	-	2	23	32	10	67	9	24	1,2
10-20	-	3	23	32	9	67	9	24	1,3
30-50	-	3	23	30	10	66	10	24	1,3

3.2. Caracterização Climática da Área Experimental

O clima da região, segundo a classificação de KÖPPEN, é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura do mês mais frio (julho) é inferior a 18°C, a do mês mais quente (janeiro) superior a 22°C e o total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.360 mm concentrando-se nos meses de outubro a abril, quando chega a precipitar aproximadamente 1.200 mm. A deficiência hídrica anual foi determinada pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), admitindo-se uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm numa profundidade de 200 cm. Chegou-se a um valor de aproximadamente 40 mm de deficiência hídrica, a qual ocorre entre os meses de maio a setembro (Tabela 2 e Figura 1).

Tabela 02. Balanço hídrico obtido para a Fazenda Boa Vista (Casa Branca - S P), segundo o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), para o período de 1985 a 1991.

Meses	Temperatura média* (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração potencial (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Deficiência hídrica (mm)	Excedente hídrico (mm)
jan	20,6	217,7	96,6	96,6	0	121,1
fev	20,3	219,2	84,0	84,0	0	135,2
mar	20,6	231,6	88,2	88,2	0	143,4
abr	20,3	104,2	81,5	81,5	0	22,7
mai	18,1	60,4	62,7	62,4	0,3	0
jun	15,5	15,8	43,2	40,8	2,4	0
jul	15,4	18,9	45,1	37,9	7,2	0
ago	16,4	26,9	52,9	41,9	11,0	0
set	18,5	36,2	69,0	51,2	17,8	0
out	18,3	102,0	75,2	75,2	0	0
nov	19,4	136,4	82,5	82,5	0	4,9
dez	19,6	190,9	87,0	87,0	0	103,9
Σ	-	1.360,2	867,9	829,2	38,7	531,2

* temperatura média mensal = 18,6 °C

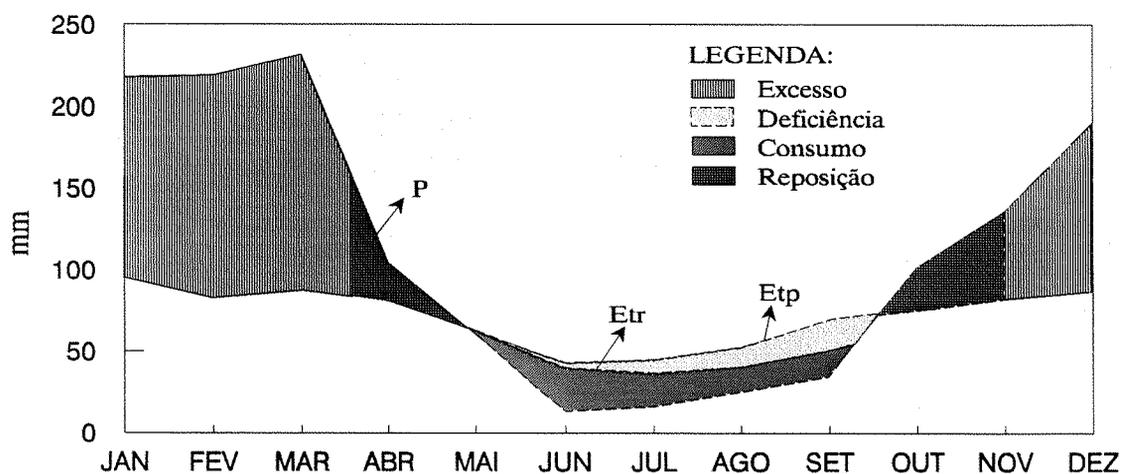


Figura 1. Balanço hídrico do solo do local do experimento, segundo o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), de posse de dados obtidos no período de 1985 a 1991.

3.3. Material Genético Usado no Plantio, Tratamentos Aplicados e Delineamento Experimental

As sementes utilizadas foram da espécie *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden originárias de Bounville - Coff's Harbour, Austrália, e melhoradas em uma área de produção de sementes instalada em 1969 pela Champion Papel e Celulose Ltda, no município de Mogi Guaçu - SP.

Os tratamentos consistiram nas seguintes aplicações de fertilizante mineral e cinza de biomassa florestal:

- uma testemunha, a qual não recebeu nenhuma aplicação de fertilizante ou cinza;
- aplicação de 417 Kg/ha de NPK 10:20:10 na cova de plantio, como feito pela empresa nos plantios comerciais daquela época;
- tratamentos com doses de 5, 10, 15, 20 e 25 t/ha de cinza, que foram aplicadas a lanço e incorporadas superficialmente (0-10 cm) com a grade leve, por ocasião do plantio.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a composição química da cinza de biomassa florestal e as quantidades totais de nutrientes aplicadas através dos diferentes tratamentos.

A implantação do experimento foi realizada em abril de 1985, sendo as mudas plantadas num espaçamento 3,0 x 2,0 m. As parcelas experimentais foram constituídas por 81 plantas, ou seja, 9 linhas com 9 plantas cada. Somente as 25 plantas centrais foram consideradas nas avaliações dendrométricas, e as demais, deixadas como bordadura dupla. Considerando uma área de 6 m²/planta, cada parcela ocupou uma área de 486 m², o que totalizou 10.206 m² de área experimental.

Tabela 3. Características químicas * da cinza de biomassa florestal utilizada na experimentação.

pH	8,80
Umidade perdida a 60-65 °C (%)	68,99
Umidade perdida entre 65 e 110 °C	1,69
Umidade total (%)	70,68
Carbono orgânico (%)	4,47
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	11,94
Resíduo mineral insolúvel (%)	1,19
Resíduo mineral solúvel (%)	6,63
Resíduo mineral total (%)	7,82
Matéria orgânica compostável (%)	8,05
Matéria orgânica resistente (%)	13,45
Matéria orgânica total (combustão) (%)	21,50
Nitrogênio total (%)	0,15
Fósforo total (P) (%)	0,11
Potássio total (K) (%)	0,45
Cálcio total (Ca) (%)	1,84
Magnésio total (Mg) (%)	0,16
Enxofre total (S) (%)	0,05
Relação C/N (C total e N total)	80/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	30/1

* As determinações feitas seguiram a metodologia apresentada por KIEHL (1985).
Para as análises foi coletada uma amostra composta da cinza, após ser retirada da caldeira. Os altos índices de umidade se devem à aplicação de água usada para resfriar a cinza.

Tabela 4. Quantidades totais* de nutrientes aplicadas em função das doses aplicadas de adubo (10:20:10) e cinza de biomassa florestal nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Nutriente (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
417 kg/ha de 10:20:10	41,7	36,4	34,6	15,8	-	40,9
5 t/ha de cinza	7,5	5,5	22,5	92,0	8,0	2,5
10 t/ha de cinza	15,0	11,0	45,0	184,0	16,0	5,0
15 t/ha de cinza	22,5	16,5	67,5	276,0	24,0	7,5
20 t/ha de cinza	30,0	22,0	90,0	368,0	32,0	10,0
25 t/ha de cinza	37,5	27,5	112,5	460,0	40,0	12,5

* Para o cálculo das quantidades de nutrientes aplicadas via cinza de biomassa florestal, foram utilizados os dados de análise apresentados na tabela 3.

O delineamento experimental utilizado seguiu o esquema de blocos casualizados, com 7 tratamentos e 3 repetições.

3.4. Avaliações Dendrométricas e Amostragens dos Componentes Aéreos das Árvores para Análises Químicas

Dentre os parâmetros dendrométricos, avaliou-se o crescimento em altura, a sobrevivência das árvores e o crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP). Estes parâmetros foram medidos em julho de 1989, julho de 1990 e em novembro de 1991, quando as árvores estavam com 51, 63 e 79 meses de idade, respectivamente.

O fator de forma foi determinado em novembro de 1991, nos tratamentos em que foram aplicados 417 kg/ha de fertilizante mineral, 0, 10 e 20 t/ha de cinza, através da medição de 3 árvores médias por parcela, para cada estrato de copa: dominantes, codominantes e dominadas. Também foi determinado o diâmetro do tronco das árvores abatidas em diferentes posições: base, meio e topo (próximo ao diâmetro de 3 cm). De posse das avaliações dendrométricas e do fator de forma médio aos 79 meses de idade, foi possível estimar a produção média de madeira com casca por hectare em metros cúbicos.

Com as mesmas árvores abatidas para a determinação do fator de forma, determinou-se o peso de matéria seca e a concentração de nutrientes nos diferentes componentes aéreos.

Para a realização dessas determinações, separou-se, inicialmente, os componentes folhas, galhos e tronco de cada árvore, os quais tiveram seus pesos de material fresco determinados. Para se estimar o peso de material seco e a composição química desses componentes em cada árvore, separadamente, foram feitas amostragens. A amostra de folhas, cerca de 200g, foi obtida, aleatoriamente, após homogeneização de todas as folhas da copa. Os galhos de cada árvore, incluindo a parte do caule com menos de três centímetros de diâmetro, foram agrupados num feixe e da parte intermediária obteve-se uma amostra (cerca de 500g)

representativa do conjunto. As amostras de folhas e galhos foram pesadas e, após 72 horas de secagem a 65°C (até peso constante), tiveram seus pesos de material seco e composições químicas determinados. Conhecendo-se o peso total de folhas e galhos frescos, e o peso de material fresco e seco das respectivas amostras, foi possível estimar o peso de material seco total destes componentes para cada árvore abatida.

Com a finalidade de calcular o peso de casca e lenho secos, foram adotados os seguintes procedimentos: nas árvores abatidas, tomou-se o diâmetro com e sem casca a cada intervalo fixo de 2 metros, até a altura comercial total, ou seja, da base até o diâmetro de 3 cm. De posse destas medições, calculou-se o volume com e sem casca e pela diferença obteve-se o volume de casca de cada árvore. Para cálculo do volume de madeira com e sem casca utilizou-se a fórmula de Smalian:

$$V = [(g_1 + g_n / 2) + g_2 + g_3 \dots + g_{n-1}] \times L + (g_n \times L) / 3$$

onde:

V = volume da somatória dos segmentos

g = área transversal a cada intervalo medido

L = comprimento do último segmento medido

A partir de discos do tronco (cerca de 2cm de espessura) das posições base, meio e topo, determinou-se a densidade do lenho e da casca. Próximo aos pontos de retirada dos discos foram coletadas tiras de casca (20 cm de comprimento por 3cm de largura) e serragem do lenho, em toda a seção transversal. As amostras simples de casca e serragem foram misturadas em amostras compostas, as quais foram submetidas a análises químicas.

A metodologia utilizada para a determinação da densidade foi a da balança hidrostática, segundo a Norma ABCP M 14/70, apresentada pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (1974), de acordo com as seguintes fórmulas:

$$Db_{mad.} = PSM / (PUM - PIM) \quad e \quad Db_{casca} = 1 / [(PUC / PSC) - 0,346]$$

onde:

Db mad.	= densidade básica da madeira
Db casca	= densidade básica da casca
PSM	= peso seco da madeira em estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$
PUM	= peso úmido saturado da madeira
PIM	= peso imerso da madeira
PUC	= peso úmido saturado da casca
PSC	= peso seco da casca em estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$

De posse dos valores dos volumes e densidades básicas do lenho e casca, estimou-se o peso de material seco destes componentes para as árvores abatidas.

3.4.1. Estimação do Índice de Sítio (IS)

O índice de sítio (IS), no presente estudo, foi padronizado como o valor médio de altura das cinco árvores dominantes de cada parcela, nas idades de 51, 63 e 79 meses. Em virtude das diferenças entre a idade real e a idade considerada para a determinação do IS, utilizou-se a equação de COUTO¹, (1990).

$$IS = \text{Exp} ((\text{Ln MHDOM}) + 1,640863 \times (1/\text{Idade real} - 1/7))$$

onde:

IS	= índice de sítio
MHDOM	= média da altura das árvores dominantes
Idade real	= idade em que efetuaram-se as medições da altura das árvores (4,2; 5,2 e 6,6 anos)
1/7	= o denominador indica a idade considerada para a determinação do IS (7 anos)

¹COUTO, H.T.Z. Índice de Sítio. Relatório Interno da Champion Papel e Celulose Ltda. Mogi Guaçu - SP 1990. 7p.

Esta equação foi utilizada por ser oriunda de sítios florestais de *E. grandis* localizados em áreas da Champion Papel e Celulose Ltda, com características ambientais semelhantes às do presente estudo.

3.5. Análise Química do Material Vegetal

As amostras de folhas, galhos, casca e lenho, depois de moídas em moinho tipo Willey, foram mineralizadas por via úmida, através de digestão nitroperclórica, para a determinação da concentração de P, K, Ca, Mg e S nesses tecidos vegetais. Os teores de K, Ca, Mg e S foram determinados com espectrofotômetro de absorção atômica, e o fósforo pelo método do vanado-molibdato de amônio. A determinação de N foi realizada pelo método Kjeldahl (BREMNER, 1965).

3.6. Avaliação Econômica Relacionada Com os Custos e Benefícios Advindos da Aplicação da Cinza

Os ganhos de produção e o lucro advindos da aplicação da cinza são os fatores básicos para a tomada de decisão, em utilizar ou não a cinza como insumo de produção.

De acordo com o princípio dos incrementos decrescentes, ou seja, de que à aplicação de quantidades crescentes de fertilizantes correspondem aumentos cada vez menores de produção, a dose mais econômica corresponde àquela quantidade de cinza acima da qual o valor do aumento de produção não mais supera o custo da aplicação da cinza.

Nesta linha de raciocínio, para o cálculo da dose mais econômica, após testar diversos modelos de regressão que pudessem se ajustar à relação da produção com as doses de cinza aplicadas, decidiu-se utilizar um trinômio do 2º grau, pelo bom ajuste conseguido e pelas facilidades de manipulação matemática oferecidas por este modelo. Na equação ajustada, o volume sólido de madeira com casca (m^3/ha) produzido aos 79 meses de idade foi a variável dependente (Y) e a dose

de cinza aplicada (t/ha) a variável independente (X). Para o cálculo da dose mais econômica, igualou-se a derivada da equação ajustada à relação de custos unitários de aplicação da cinza e valor de produto, da seguinte forma:

$$dy/dx = a_1 + 2a_2X = c/v \quad (\text{eq.3.6.1})$$

onde:

dy/dx = a derivada do trinômio do 2º grau

a_1 e a_2 = coeficientes do trinômio do 2º grau

c = custo unitário de aplicação da cinza (custo do transporte mais custo para espalhar cinza no campo)

v = valor do produto

Dada a grande dificuldade de expressar conceitos econômicos em termos de moeda corrente, sobretudo devido aos altos índices inflacionários e da falta de indexadores permanentes, os cálculos econômicos relativos à aplicação da cinza foram efetuados com base nas relações de troca, ou seja, os custos e os benefícios foram tomados em termos de m^3 de volume sólido de madeira com casca.

A dose mais econômica, X' , é, então, calculada por:

$$X' = a_1 - (c/v) / 2 a_2 \quad (\text{eq. 3.6.2})$$

Para se determinar qual o Raio Econômico (RE) de aplicação da cinza - distância em que os custos de aplicação da cinza se igualam aos ganhos econômicos advindos do aumento de produção proporcionados pela aplicação de uma determinada dose de cinza-, considerando-se os custos de transporte e de aplicação, a seguinte equação foi utilizada:

$$\text{Ganho de Produção } (m^3/ha) = \text{Custos de Aplicação da Cinza } (m^3/ha)$$

$$(P_{CC} - P_{SC}) = (D \times C_{AP}) + (RE \times D \times C_T)$$

Onde:

P_{CC} = produção de madeira conseguida com a aplicação de cinza
(m³/ha)

P_{SC} = produção de madeira conseguida sem a aplicação da cinza
(m³/ha)

D = dose de cinza aplicada (t/ha)

C_{AP} = custo de aplicação da cinza no campo (m³/t)

RE = raio Econômico (km)

C_T = custo de transporte (m³/t/km), considerando ida e volta

Donde conclui-se que:

$$RE = [((P_{CC} - P_{SC}) - (D \times C_{AP})) / (D \times C_T)] \quad (eq. 3.6.3)$$

3.7. Incubação de Amostras de Solo com Diferentes Dosagens de Cinza

Com o objetivo de se conhecer os efeitos da cinza sobre as características químicas do solo e, conseqüentemente, conseguir subsídios para explicar as respostas de crescimento das árvores no campo, porções de 2 Kg de solo, provenientes da camada 0-20cm de profundidade do tratamento testemunha, foram incubadas com diferentes doses de cinza -coletadas diretamente da caldeira de biomassa- sob condições controladas de temperatura e umidade, 25°C e cerca de 80% da capacidade de campo, respectivamente. Antes de serem pesadas, as amostras de cinza foram homogeneizadas e secadas à 65° até peso constante (72 h). As doses de cinza correspondentes a 0, 15, 30 e 45 t/ha foram uniformemente homogeneizadas com as amostras de solo e incubadas por 2, 60 e 120 dias, quando eram analisadas quimicamente para determinações de pH em CaCl₂ 0,01 M, P disponível pelo extrator resina, teores trocáveis de K, Ca, Mg e Al, teor de matéria orgânica e Capacidade de Troca Catiônica. Para a realização das análises químicas, utilizaram-se os mesmos métodos apresentados no item 3.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito da Cinza de Biomassa Florestal Sobre o Crescimento das Árvores

4.1.1. Crescimento em Altura, DAP, Volume, Percentagem de Falhas e Índice de Sítio

As doses de cinza aplicadas influenciaram de forma significativa o DAP, o volume sólido de madeira das árvores e o índice de sítio nas idades de 51, 63 e 79 meses e, a altura, nas idades de 51 e 63 meses (Tabela 5 e Figura 2). Com relação às aplicações de adubo químico, foram observados ganhos significativos apenas na característica volume sólido de madeira aos 51 meses. Quanto à sobrevivência das árvores, não foram detectados efeitos significativos em função dos tratamentos aplicados (Tabela 5), evidenciando que a cinza, nas dosagens utilizadas, não prejudica o estabelecimento das árvores.

Verificou-se que os ganhos de produção devidos à aplicação de cinza, em relação à testemunha, em termos de volume sólido de madeira com casca, aos 79 meses de idade, variaram de 25,7%, para a menor dose (5t/ha), a 48,6%, para a dose maior (20 t/ha). A resposta ao fertilizante químico, 15,3% de ganho de produção, não foi estatisticamente significativa (Tabela 5).

Estas respostas, apesar de serem consideradas tecnicamente muito significativas, são modestas em relação às observadas por BARROS et al. (1982), que verificaram ganhos de produção superiores a 300% para plantio de *Eucalyptus grandis*, com 4 e 5 anos, estabelecidos sobre a leira de resíduos vegetais queimados. PEREIRA et al. (1982), também evidenciaram ganhos significativos em altura para o *E. saligna*, aos 18 meses de idade, em resposta à aplicação de pequenas dosagens de cinza 500, 1.500 e 3.000 kg/ha.

Tabela 05. Avaliações dendrométricas dos diversos tratamentos nas idades de 52, 63 e 79 meses após o plantio (1).

Tratamentos	Sobrevivência			Altura			Diâmetro		
	51	63	79	51	63	79	51	63	79
	----- % -----			----- m -----			----- cm -----		
Testemunha	90,7 a	90,7 a	86,7 a	16,8 b	18,8 b	20,1 a	10,4 c	11,4 c	11,9 b
417 kg/ha de 10:20:10	89,3 a	88,0 a	84,7 a	18,1 ab	19,5 ab	20,3 a	11,5 bc	12,3 bc	12,6 ab
5 t/ha de cinza	88,0 a	86,7 a	85,3 a	18,5 ab	19,8 ab	21,4 a	11,8 abc	12,8 abc	13,1 ab
10 t/ha de cinza	88,0 a	85,3 a	85,3 a	18,7 ab	20,5 ab	21,4 a	12,1 ab	13,1 ab	13,2 ab
15 t/ha de cinza	90,7 a	90,7 a	88,0 a	19,0 a	20,9 a	21,8 a	12,4 ab	13,3 ab	13,5 ab
20 t/ha de cinza	92,0 a	90,7 a	89,3 a	19,6 a	21,4 a	22,1 a	13,1 a	14,0 a	13,9 a
25 t/ha de cinza	93,3 a	88,0 a	84,7 a	19,4 a	21,4 a	22,0 a	12,7 ab	13,8 a	13,9 a

Tratamentos	Índice de sítio			Volume com casca			Ganho (2)		
	51	63	79	51	63	79	51	63	79
	----- m -----			----- m ³ /ha -----			----- % -----		
Testemunha	22,7 b	22,9 c	22,8 c	127,4 e	170,6 e	139,7 c	-	-	-
417 kg/ha de 10:20:10	23,7 ab	23,3 bc	23,6 bc	164,3 d	200,9 de	218,7 bc	29,0	17,8	15,3
5 t/ha de cinza	23,5 ab	23,7 bc	23,9 ab	173,2 cb	213,7 cde	238,5 abc	35,9	25,3	25,7
10 t/ha de cinza	24,0 ab	24,8 abc	24,4 ab	186,9 bcd	226,4 bcd	244,2 abc	46,7	32,7	28,7
15 t/ha de cinza	24,7 a	25,2 ab	24,6 ab	203,9 abc	257,7 abc	271,3 ab	60,0	51,1	43,0
20 t/ha de cinza	24,8 a	25,2 ab	24,3 ab	228,8 a	277,5 a	281,8 a	79,6	62,7	48,6
25 t/ha de cinza	25,1 a	25,8 a	25,0 a	221,1 ab	269,2 ab	279,7 a	73,5	57,8	47,4

(1) As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey (P = 0,05)

(2) Ganho (%) = $[(\text{Vol. sólido com casca do tratamento em questão} / \text{Vol. sólido com casca da testemunha}) \times 100] - 100$]

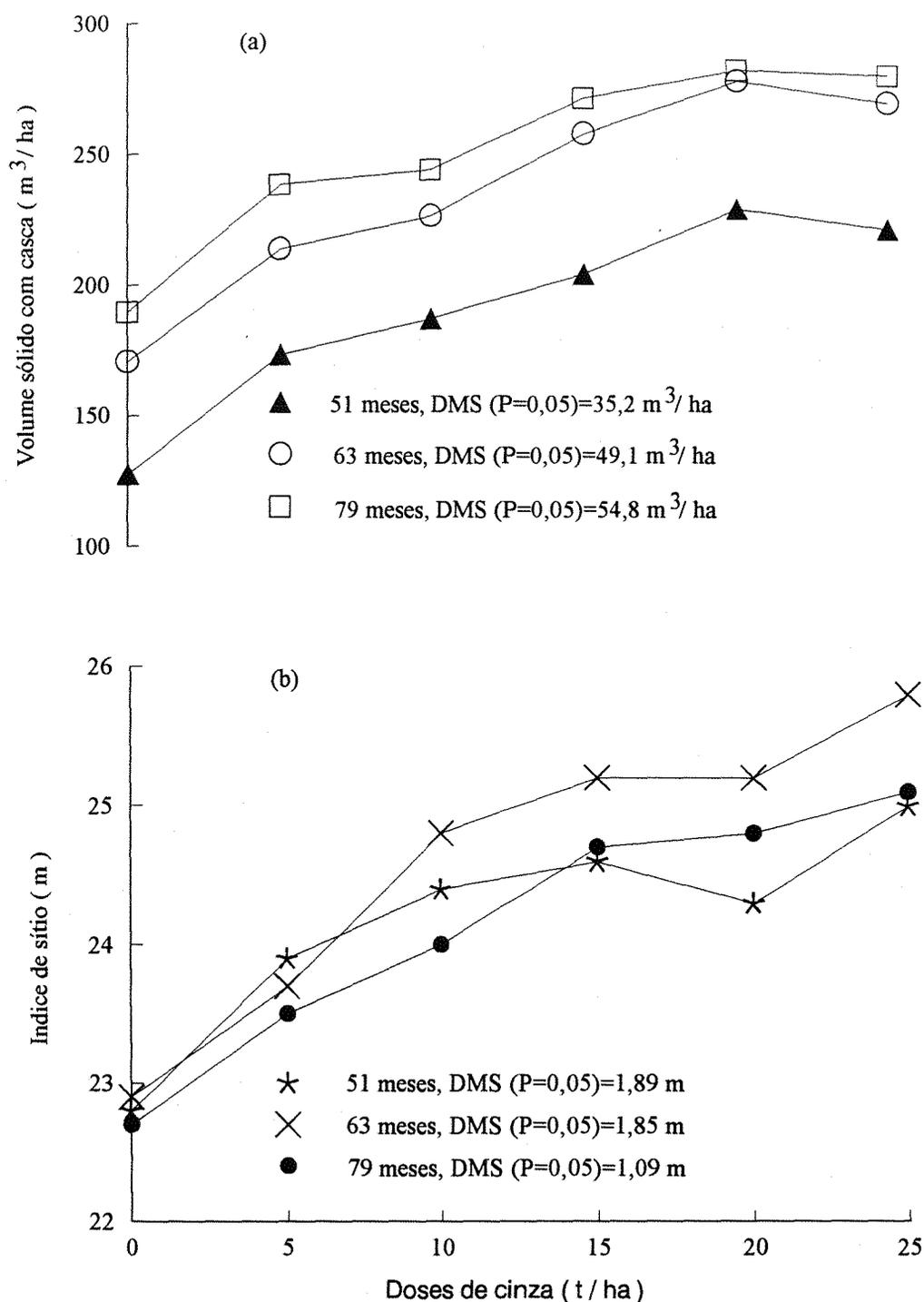


Figura 2. (a) Efeito da cinza sobre o incremento médio de volume sólido de madeira com casca;
(b) Efeito da cinza sobre o incremento médio do índice de sítio.

STAPE & BALLONI (1988) obtiveram, para plantios de *E. grandis*, aos 37 meses de idade, ganhos de produção da ordem de 15 a 22%, para doses de cinza que variaram de 2 a 6 t/ha. Também, STAPE & ZANI FILHO (1990), estudando o efeito de diferentes adubações de manutenção para plantios de *E. grandis*, estabelecidos sobre Areias Quartzosas, observaram, aos 66 meses de idade, ganhos de produção equivalentes a 126% com a utilização de 5 t/ha de cinza.

As diferenças entre tratamentos e ganhos de produção, em função da época analisada, foram significativamente maiores nas idades mais jovens do povoamento, para todas características dendrométricas (Tabela 5). Verificou-se que as respostas aos tratamentos aplicados (em termos percentuais) caíam drasticamente com o passar do tempo, muito embora os ganhos obtidos em volume (m^3/ha) de madeira entre a primeira e a última avaliação mantiveram-se praticamente estáveis. Exemplificando, aos 51 meses de idade, a dose 25 t/ha de cinza foi responsável por um ganho de produtividade equivalente a 73,5% ($93,7 m^3/ha$), o qual caiu para 47,4% ($90 m^3/ha$) aos 79 meses de idade, relativamente à testemunha. A causa mais provável para essas reduções de resposta deve estar ligada à competitividade entre árvores pelos fatores de crescimento: luz, água e nutrientes, que fica mais acirrada com o crescimento das árvores. Desta forma, com a idade, há uma mudança radical de condições ambientais do povoamento, com efeitos secundários sobre o crescimento das árvores relativamente àqueles dos tratamentos experimentais aplicados. Além disso, com grande implicação sobre estas constatações, são os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes que se instauram nos povoamentos florestais, principalmente depois do fechamento das copas. No caso do presente estudo, o processo de fechamento de copas já estava bastante adiantado aos 12 meses de idade pós-plantio. Com a intensificação da ciclagem de nutrientes, as árvores ficam mais independentes do suprimento de nutrientes provido pelo solo, portanto, assumem papel preponderante sobre o crescimento das mesmas a dinâmica de nutrientes que ocorre internamente nas árvores e no ciclo árvore-serapilheira-solo-árvore, a qual tem efeitos alheios àqueles provenientes dos tratamentos aplicados. Fundamentalmente, com a expansão do sistema radicular e com a intensificação da ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, houve uma ampliação da eficiência de obtenção e utilização dos nutrientes pelas árvores,

promovendo uma amenização dos efeitos provenientes de cada tratamento. Outrossim, dada a grande permeabilidade do solo da área experimental em estudo, a lixiviação de nutrientes deve ter sido considerável, provavelmente com maior intensidade nos tratamentos que receberam aplicações de doses mais elevadas de cinza.

4.1.2. Produção de Matéria Seca

A avaliação do crescimento em peso dos componentes aéreos dos tratamentos testemunha, 417 kg de 10-20-10, 10 t/ha de cinza e 20 t/ha de cinza, aos 79 meses de idade, revelou que, tanto a adubação química como a aplicação de cinza tiveram grande efeito sobre a formação de folhas, galhos, casca e lenho (Tabela 6). A percentagem média de folhas, galhos, casca e lenho foi de 3,2; 5,3; 11,2 e 80,2, respectivamente. Os efeitos do adubo e da cinza sobre a produção dos componentes folhas, galhos e casca foram similares. A grande diferença de efeito destes insumos ficou refletida na formação do lenho das árvores. Assim, o adubo foi responsável por um ganho de peso de lenho equivalente a 17%, enquanto a aplicação de 10 t/ha de cinza aumentou o peso de lenho em 43%, ambos relativamente à testemunha.

Tabela 6. Matéria seca acumulada (t/ha) e percentagem de distribuição dos componentes das árvores, aos 79 meses de idade, para alguns tratamentos.

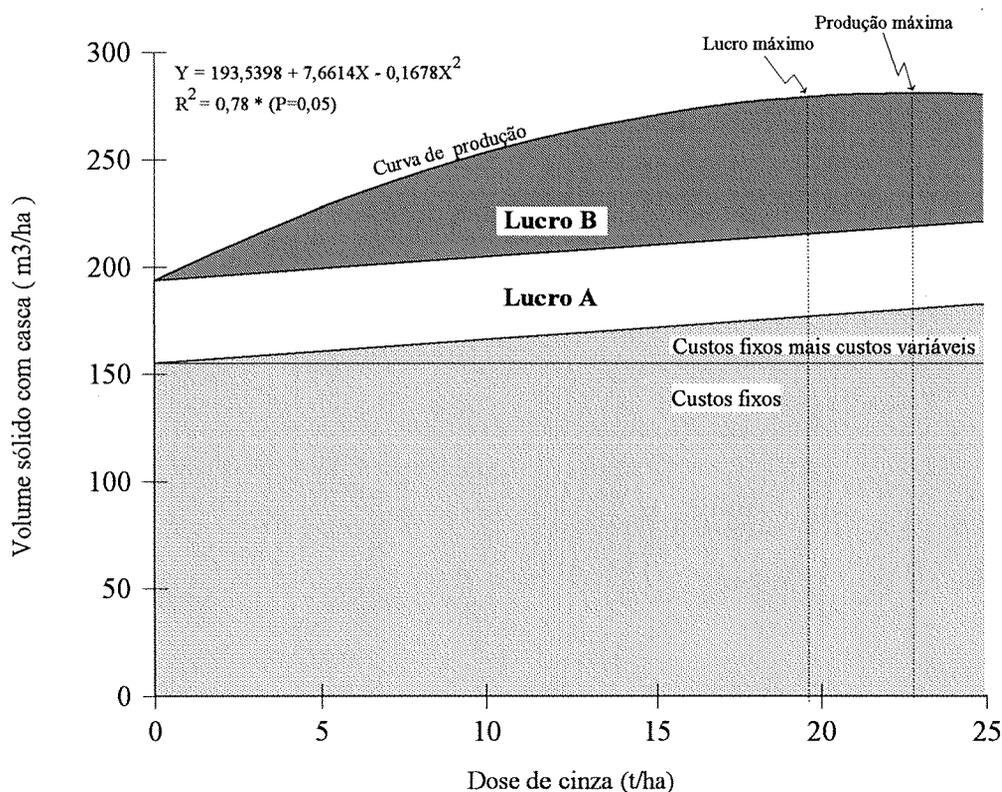
Tratamentos	Folha		Galho		Casca		Lenho		Total
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	
Testemunha	3,0	3,2	4,5	4,8	10,0	10,7	76,4	81,3	93,9
417 kg/ha de 10:20:10	4,0	3,5	6,4	5,6	14,4	12,6	89,7	78,3	114,6
10 t/ha de cinza	4,2	3,1	8,4	6,1	14,8	10,8	109,6	80,0	137,1
20 t/ha de cinza	4,0	3,0	6,7	4,9	14,8	10,9	110,6	81,2	136,1
Média	3,8		6,5		13,5		96,6		120,4
C. V. exp. (%)	21,1		32,4		19,7		15,9		14,3
DMS (t/ha), P = 0,05	2,3		5,9		7,5		43,4		48,6

Quando se compara ganho percentual de peso com ganho percentual de volume do lenho, para a mesma idade, verifica-se que, relativamente, os ganhos de peso foram superiores aos de volume (Tabelas 5 e 6). Curiosamente, o aumento de 10 para 20 t/ha de cinza proporcionou um ganho no volume de lenho equivalente a 20% (Tabela 5), e, em termos de ganho de peso (Tabela 6) nenhum efeito foi observado. Considerando o objetivo final da produção de madeira, que é a conversão desta em celulose, constata-se pelo presente estudo que apenas a avaliação da característica volume de madeira, como convencionalmente feito nos inventários florestais, não seria suficiente para se avaliar a quantidade de celulose existente num determinado povoamento florestal; particularmente, quando é utilizada a aplicação de cinza como insumo de produção. Estudos mais específicos sobre este assunto precisam ser conduzidos para aferir a conveniência de se utilizar as características volume de madeira e/ou peso de madeira como parâmetros para a realização de inventários florestais.

4.2. Custos e Benefícios Advindos da Aplicação da Cinza

O trinômio do 2º grau $Y = 193,5398 + 7,6614 X - 0,1678 X^2$, que relaciona a produção de madeira com casca (m^3/ha), Y , com as doses de cinza aplicadas (t/ha), X , foi o que melhor se ajustou aos dados, com um $R^2 = 0,78$ ($P=0,05$). Igualando a derivada desta equação a 0, obteve-se a dose de cinza que proporcionou a produção máxima de madeira (m^3/ha). Segundo os cálculos feitos, a dose equivalente a 22,8 t/ha de cinza seria responsável pela produção máxima de madeira, 281 m^3/ha (Figura 3).

Para o cálculo da dose mais econômica, igualou-se a derivada da equação acima à relação de custos unitários de aplicação da cinza e valor de produto, como apresentado na equação 3.6.1. A dose mais econômica de cinza foi calculada como sendo igual a 19,6 t/ha, ou seja, cerca de 16% inferior à dose que deu a produção máxima. Como base de cálculo, considerou-se como custos de aplicação da cinza: o valor zero para aquisição do produto, por ser um resíduo



Lucro A = lucro decorrente das técnicas de implantação e manejo dos povoamentos.

Lucro B = lucro decorrente da aplicação da cinza.

Figura 3. Curva de produção de madeira (m³/ha), 79 meses pós-plantio, em função das doses de cinza aplicadas (t/ha), bem como os custos fixos, custos variáveis e lucros advindos da aplicação da cinza.

industrial descartável, o valor de 0,0132 m³/t/km como o custo de transporte da cinza da indústria até o experimento (130 km, ida e volta) e, 0,23 m³/t como o custo para espalhar e incorporar a cinza no solo. Com base nesses valores, deduz-se que para aplicar a dose de cinza que resulta no maior retorno econômico, a uma distância de 65 km da indústria, são gastos, por hectare, cerca de 21 m³ de madeira com casca para pagar as despesas envolvidas com a aplicação da cinza. Ou seja, 25% do ganho de produção de madeira obtido com a aplicação desta dose, que foi de 64,4 m³ de madeira por ha.

Com base na equação 3.6.3 (item 3.6), calculou-se o Raio Econômico para a

aplicação de cinza, tendo como referência diferentes doses deste insumo (Figura 4). A título de exemplo, observa-se que diante das perspectivas de ganho de produção com a aplicação de 10 t/ha de cinza, que a distância da indústria para se levar a cinza, em que os custos se igualam aos benefícios, é de 436 km.

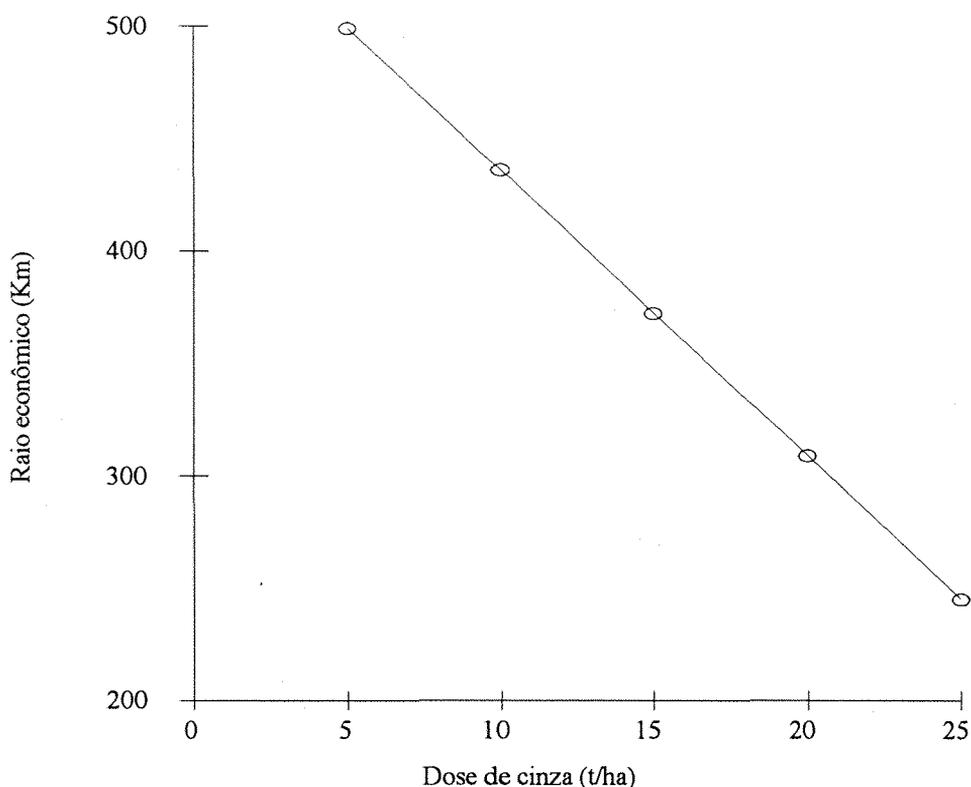


Figura 4. Distância máxima que a cinza pode ser transportada e aplicada (Raio econômico) diante das perspectivas de ganho de produção, para diferentes doses de cinza aplicadas.

4.3. Reflexos da Aplicação de Adubo e Cinza Sobre as Características Químicas e Físicas do Solo

4.3.1. Análise Química e Física do Solo em Condições de Campo

As análises químicas e físicas de amostras de solo da camada 0-20 cm de profundidade, após 72 meses da aplicação do adubo e da cinza, evidenciaram que, com exceção do pH e P, não houve diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 7). Estas constatações, à primeira vista, contrastam com as grandes respostas em crescimento (Tabela 5, item 4.1.1) e em absorção de nutrientes (Tabelas 9 e 10, item 4.4) promovidas pelas aplicações destes insumos. Também, não está de acordo com o grande efeito da aplicação de cinza na composição química de amostras de solo incubadas (Tabela 8), em que o pH e os teores de P, Ca, Mg e K foram substancialmente elevados.

Neste ponto surgem as indagações:

- Por que não foram verificadas diferenças significativas na composição química e física de amostras de solo que receberam grandes doses de adubo e cinza? Diante desta constatação, como é que se explica a grande resposta em crescimento, obtida pelos tratamentos aplicados, sendo que, os atributos químicos e físicos do solo, no presente caso, deveriam ser a causa primária dessas respostas?

Tudo leva a crer que as análises químicas e físicas de amostras de solo, provenientes do campo, não detectaram efeitos dos tratamentos aplicados em função do longo tempo decorrido entre a época de aplicação dos tratamentos e a da análise das amostras de solo, que foi de 72 meses.

Neste tempo, fundamentalmente, dada a natureza permeável e a baixa C.T.C. do solo, grande parte dos nutrientes foi lixiviada, e outra considerável parte absorvida pelas árvores, como detectado pelas análises vegetais (Tabelas 9 e 10). Com isso, as características do solo voltaram a níveis equivalentes aos da testemunha. Como subsídio para esta colocação, cita-se o trabalho de BARROS et al. (1982), que observaram, após 5 anos da queima de resíduos culturais de *Eucalyptus grandis*, valores de P, K, Ca e Mg cerca de 19; 2,5; 1,6 e 5 vezes inferiores àqueles observados imediatamente após a queima.

Tabela 07. Análises químicas e físicas de amostras de solo dos diferentes tratamentos, 72 meses após o plantio (profundidade 0-20 cm).

Tratamentos	pH em	M.O.	P	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	S	CTC	V
	CaCl ₂ 0,01 M	%	µg/cm ³				meq/100 cm ³ de terra			%
Testemunha	4,2 a	2,2 a	2 b	4,20 a	0,04 a	0,10 a	0,03 a	0,17 a	4,37 a	4 a
417 kg/ha de 10:20:10	4,1 b	2,2 a	3 a	4,07 a	0,04 a	0,10 a	0,03 a	0,17 a	4,24 a	4 a
5 t/ha de cinza	4,1 b	2,2 a	3 a	4,30 a	0,04 a	0,10 a	0,03 a	0,17 a	4,47 a	4 a
10 t/ha de cinza	4,1 b	2,3 a	3 a	4,43 a	0,04 a	0,13 a	0,03 a	0,20 a	4,63 a	4 a
15 t/ha de cinza	4,1 b	2,2 a	3 a	4,27 a	0,04 a	0,10 a	0,03 a	0,17 a	4,44 a	4 a
20 t/ha de cinza	4,1 b	2,2 a	3 a	4,33 a	0,04 a	0,10 a	0,03 a	0,17 a	4,50 a	4 a
25 t/ha de cinza	4,1 b	2,1 a	3 a	4,10 a	0,03 a	0,10 a	0,07 a	0,20 a	4,30 a	5 a

Tratamentos	Densidade	Areia	Silte	Argila
	global g/cm ³	total	-----%	-----%
Testemunha	1,3 a	67 a	9 a	24 a
417 kg/ha de 10:20:10	1,2 a	67 a	8 a	25 a
5 t/ha de cinza	1,3 a	67 a	7 a	26 a
10 t/ha de cinza	1,2 a	68 a	9 a	23 a
15 t/ha de cinza	1,3 a	67 a	8 a	25 a
20 t/ha de cinza	1,2 a	69 a	9 a	22 a
25 t/ha de cinza	1,3 a	69 a	9 a	22 a

Tabela 8. Alterações químicas das amostras de solo após 2, 60 e 120 dias de incubação com diferentes doses de cinza.

Tratamentos	pH CaCl ₂ 0,01 M			K ⁺			Ca ⁺²			Mg ⁺²			Al ⁺³		
	2	60	120	2	60	120	2	60	120	2	60	120	2	60	120
	Dias de incubação														
	----- meq/100 cm ³ -----														
Testemunha	4,0	3,8	3,9	0,04	0,04	0,05	0,17	0,16	0,20	0,07	0,03	0,05	1,40	1,65	1,50
15 t/ha de cinza	4,8	4,7	5,0	0,17	0,27	0,33	1,30	1,24	1,66	0,28	0,20	0,29	0,20	0,35	0,15
30 t/ha de cinza	5,3	5,5	5,6	0,23	0,42	0,39	1,82	2,00	1,88	0,39	0,31	0,31	0,10	0,15	0,15
45 t/ha de cinza	5,7	6,5	6,3	0,29	0,56	0,58	2,46	3,56	3,38	0,50	0,57	0,55	0,10	0,20	0,20

Tratamentos	M.O.			P			CTC			V		
	2	60	120	2	60	120	2	60	120	2	60	120
	----- Dias de incubação -----											
	----- meq/100 cm ³ -----											
Testemunha	3,3	1,9	1,7	5	11	12	7,48	5,43	5,00	4	4	6
15 t/ha de cinza	3,1	1,9	1,9	12	14	21	5,95	5,11	4,78	29	33	48
30 t/ha de cinza	2,9	1,8	1,8	12	25	25	5,84	4,73	4,38	42	58	59
45 t/ha de cinza	2,9	1,6	1,7	17	43	34	6,35	5,79	5,61	51	81	80

Se se tivesse feito um monitoramento das características do solo desde a aplicação dos tratamentos, provavelmente seriam detectados os efeitos do adubo e da cinza sobre as características químicas e físicas do solo, com mais distinção, nos períodos iniciais. Tal afirmação fica muito reforçada pelos efeitos de diferentes doses de cinza sobre as modificações da constituição química e física de amostras de solo incubadas (Tabela 8).

4.3.2. Análise Química do Solo em Condições de Laboratório

Os efeitos da cinza sobre as características físicas e químicas do solo e, conseqüentemente, sobre o aumento da produção de madeira, podem encontrar grande sustentação científica mediante a interpretação de resultados obtidos em experimentos conduzidos sob condições controladas de laboratório. No presente estudo, verifica-se isso através da interpretação dos efeitos da cinza sobre as características químicas de amostras de solo (Tabela 8) que foram incubadas no laboratório.

As doses de cinza aplicadas, bem como os diferentes tempos de incubação utilizados, promoveram mudanças expressivas sobre o pH, teores de K, Ca, Mg, P e Al e V% (Tabela 8 e Figuras 5 e 6). Só não foram encontradas variações com o tempo de incubação para o teor de Mg e matéria orgânica. Para a C.T.C., observou-se que a aplicação de cinza, de modo geral, não teve nenhum efeito sobre a mesma. O índice de pH, para a maior dose de cinza aplicada, elevou-se de 4,00 para 5,70 e 6,30, com 2 e 120 dias de incubação, respectivamente. Neste mesmo período, também para a maior dose de cinza aplicada, o teor de Ca elevou-se de 0,17 para 2,46 e 3,38 meq/100 cm³; o teor de Mg de 0,07 para 0,50 e 0,55 meq/100 cm³; o teor de Al decresceu de 1,40 para níveis equivalentes a 0,20 meq/100 cm³ e a Saturação por Bases (V%) elevou-se de 4 para 51 e 80%, respectivamente. Este comportamento evidencia o grande efeito deste insumo como corretivo da acidez do solo. Com relação ao K e P, a aplicação de doses equivalentes a 45 t/ha de cinza, chegou a elevar o K de 0,04 para 0,29 e 0,58 meq/100 cm³ e o P de 5 para 17 e 34 µg.cm⁻³, respectivamente, para 2 e 120 dias de incubação.

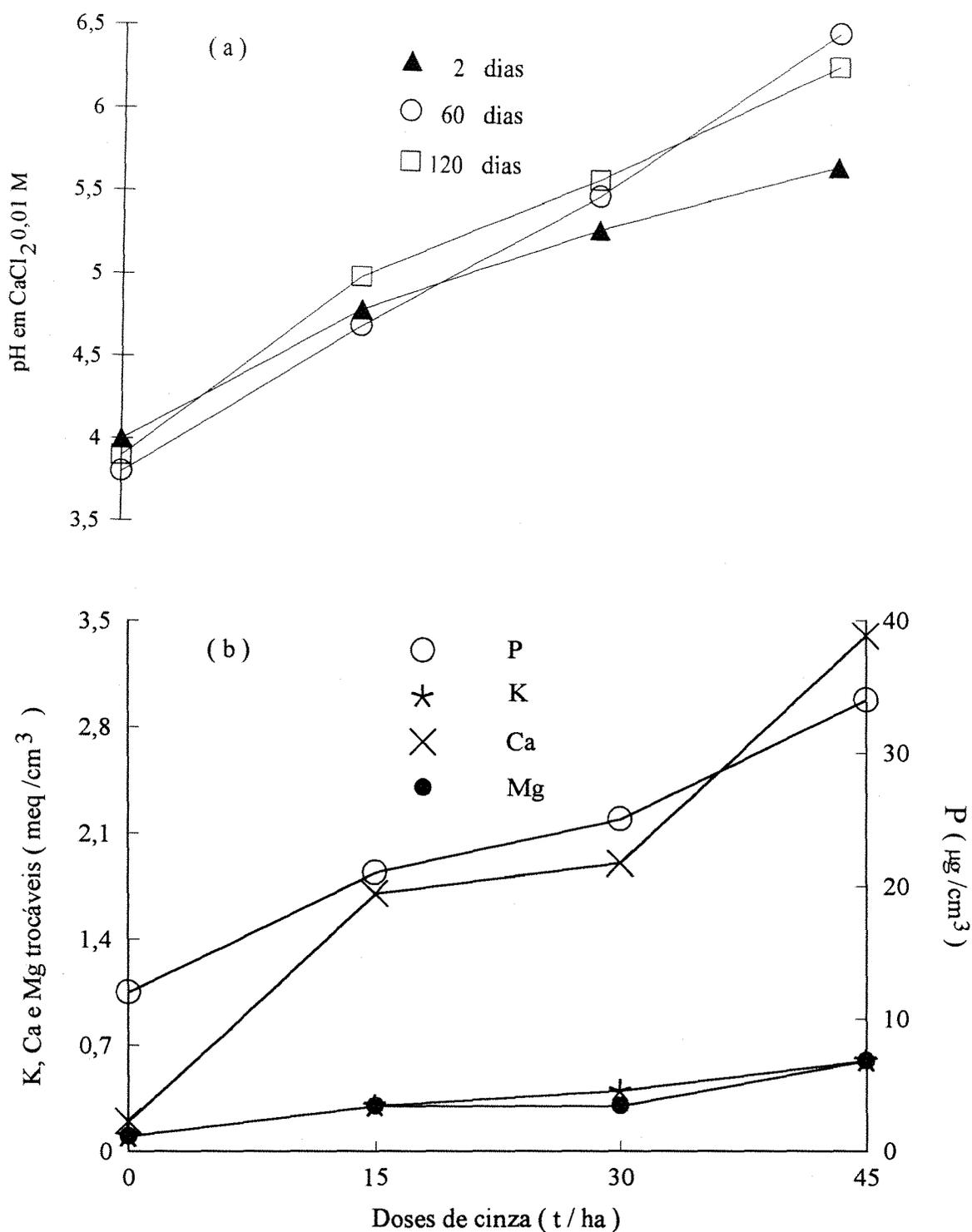


Figura 5. (a) Efeito de diferentes doses de cinza sobre o pH, após 2, 60 e 120 dias de incubação;
 (b) Valores de P, K, e Mg após 120 dias de incubação, em função das doses aplicadas de cinza.

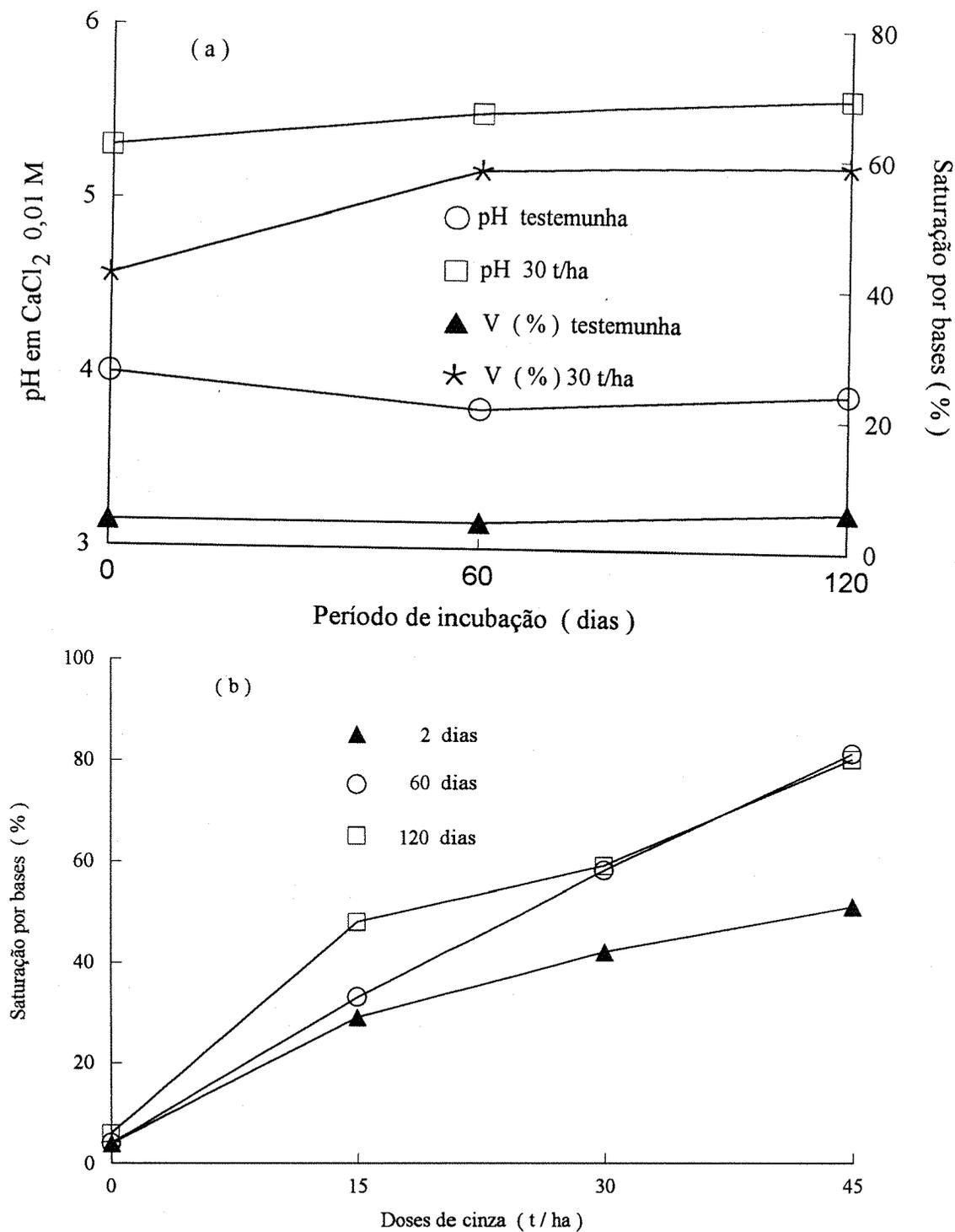


Figura 6. (a) Valores de pH e V (%) da testemunha e da dose 30 t/ha, após 2, 60 e 120 dias de incubação;
 (b) Valores de V (%) após 2, 60 e 120 dias de incubação, em função das doses de cinza.

Pelo exposto, constata-se também que com o passar do tempo de incubação houve liberação para o complexo de troca iônica do solo de grandes quantidades de Ca, K e P. As fontes mais prováveis destes nutrientes devem estar ligadas às formas minerais prontamente solúveis contidas na cinza (Tabela 3) e, de menor contribuição, os nutrientes provenientes da mineralização da matéria orgânica.

Tudo leva a crer que um dos fatores importantes para os ganhos de produção dos tratamentos que receberam cinza, comparativamente ao que recebeu adubo, está relacionado com a pronta disponibilidade dos nutrientes nesses insumos. No fertilizante, a maior parte dos nutrientes encontra-se na forma solúvel, portanto, mais sujeitos às perdas por lixiviação.

Por outro lado, na cinza, parte dos nutrientes está na forma solúvel e parte é liberada com o passar do tempo, através da decomposição da matéria orgânica contida na cinza ou pela solubilização gradativa de compostos químicos, o que torna os nutrientes menos sujeitos à lixiviação e favorece o melhor aproveitamento dos mesmos pelas árvores. Além disso, o método de aplicação desses insumos deve ter contribuído de forma expressiva para os resultados obtidos. A aplicação localizada do adubo químico, na cova de plantio, disponibiliza os nutrientes num pequeno volume de solo, tornando-os mais susceptíveis à lixiviação e a um menor aproveitamento pelas árvores, tendo em vista o rápido crescimento radicular tanto lateralmente como em profundidade. STAPE (1990), observa que, já aos cinco meses de idade, o sistema radicular de *E. grandis* pode estar distribuído numa área equivalente a três metros de diâmetro. Desta forma, grande parte do volume radicular fica distante do local de aplicação do fertilizante, o que não ocorre com a cinza, que é aplicada a lanço e incorporada no solo.

Nesta fase experimental ficou evidente o papel da cinza como agente melhorador das características químicas do solo e como fonte de nutrientes essenciais às árvores, principalmente, Ca, Mg, K e P. Estas afirmações são muito reforçadas no item 4.4, onde é discutida a grande influência da cinza sobre as quantidades de nutrientes acumulados pelas árvores.

Provavelmente, tendo por base o comportamento químico da cinza no solo, os efeitos positivos da cinza para o crescimento de árvores, também, poderiam ser constatados para culturas agrícolas, principalmente para aquelas muito exigentes nutricionalmente e plantadas em solos de baixa fertilidade.

4.4. Efeito da Cinza Sobre as Quantidades de Nutrientes Acumulados Pelos Componentes das Árvores

De modo geral, as concentrações de macronutrientes nos componentes aéreos das árvores decresceram na seguinte ordem: folhas, galhos, casca e lenho, independentemente dos tratamentos aplicados (Tabela 9). Esta seqüência de distribuição dos nutrientes está de acordo com o observado por (SILVA et al., 1983; POGGIANI et al., 1983 e PEREIRA et al., 1984). Por outro lado, quando se consideram as quantidades de nutrientes localizados nestes componentes, esta ordem se modifica radicalmente, ficando em ordem decrescente: lenho, casca, folhas e galhos (Tabela 10). É importante ressaltar também que, a grandeza dos valores foi completamente alterada, sendo o conteúdo de nutrientes do lenho, por exemplo, muito superior ao das folhas.

A aplicação de adubo e cinza influenciou significativamente a concentração e o conteúdo de macronutrientes nos diversos componentes das árvores (Tabelas 9 e 10). Numa análise global destas tabelas verifica-se que as aplicações de cinza, relativamente à aplicação de adubo, proporcionaram absorções muito maiores de Ca e K, principalmente (vide também Tabela 11). Estas constatações são particularmente evidentes quando se analisam os componentes casca, galho e lenho. Conjuntamente com as constatações verificadas na composição química do solo, em que a aplicação de cinza teve grande efeito sobre as concentrações desses mesmos nutrientes (item 4.4.), pode-se concluir que a grande resposta de crescimento devido a aplicação de cinza, muito superior àquelas observadas para a aplicação de adubo químico, se devem às maiores absorções de Ca e K, principalmente. Este efeito, naturalmente, resultaria num melhor balanço nutricional das árvores, com grandes implicações sobre o crescimento das mesmas.

Tabela 9. Concentração de N, P, K, Ca, Mg e S nos componentes aéreos da árvore em função dos tratamentos aplicados, aos 79 meses de idade.

Tratamentos	Folha						Galho					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
Testemunha	1,46 b	0,05 a	0,30 a	0,21 ab	0,11 a	0,03 a	0,34 a	0,02 b	0,15 a	0,14 ab	0,05 a	0,01 a
417 kg/ha de 10:20:10	1,79 a	0,06 a	0,31 a	0,18 b	0,12 a	0,04 a	0,34 a	0,03 a	0,14 a	0,12 b	0,05 a	0,01 a
10 t/ha de cinza	1,80 a	0,06 a	0,28 a	0,23 a	0,10 a	0,04 a	0,34 a	0,02 ab	0,15 a	0,15 ab	0,05 a	0,02 a
20 t/ha de cinza	1,60 ab	0,06 a	0,24 a	0,23 a	0,10 a	0,04 a	0,33 a	0,02 ab	0,17 a	0,18 a	0,06 a	0,01 a
	Casca											
	Lenho											
	%											
Testemunha	0,27 a	0,02 a	0,15 a	0,35 bc	0,06 b	0,01 a	0,09 b	0,01 a	0,03 a	0,03 bc	0,01 a	0,01 a
417 kg/ha de 10:20:10	0,29 a	0,03 a	0,16 a	0,28 c	0,07 b	0,01 a	0,11 a	0,01 a	0,03 a	0,03 c	0,01 a	0,01 a
10 t/ha de cinza	0,29 a	0,02 a	0,17 a	0,61 a	0,08 ab	0,02 a	0,10 ab	0,01 a	0,03 a	0,04 ab	0,01 a	0,01 a
20 t/ha de cinza	0,27 a	0,03 a	0,19 a	0,60 ab	0,10 a	0,01 a	0,11 ab	0,01 a	0,03 a	0,04 a	0,01 a	0,01 a

Tabela 10. Conteúdo de nutrientes (kg/ha) nas folhas, galhos, casca e lenho, aos 79 meses de idade.

Tratamentos	Folha						Galho					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Testemunha	42,39 b	1,43 b	8,10 a	6,16 a	3,52 a	0,81 b	14,17 a	0,89 a	6,55 a	6,19 a	2,24 a	0,45 a
417 kg/ha de 10:20:10	67,12 a	2,32 ab	10,74 a	7,72 a	4,88 a	1,49 ab	19,81 a	1,64 a	7,50 a	7,86 a	3,34 a	0,66 a
10 t/ha de cinza	70,04 a	2,23 ab	8,87 a	9,72 a	3,82 a	1,86 a	24,81 a	1,41 a	8,80 a	11,30 a	4,20 a	1,21 a
20 t/ha de cinza	66,58 a	2,40 a	9,90 a	8,76 a	3,94 a	1,53 ab	20,66 a	1,49 a	10,98 a	11,16 a	4,10 a	0,72 a
	kg/ha											
Tratamentos	Casca						Lenho					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Testemunha	25,26 a	2,19 b	14,87 a	39,12 a	6,47 b	1,00 a	64,59 b	7,64 a	23,78 a	22,43 b	7,64 a	7,64 a
417 kg/ha de 10:20:10	41,68 a	4,81 a	23,26 a	46,49 a	9,43 ab	1,44 a	95,29 ab	10,24 a	24,05 a	20,03 b	14,07 a	12,38 a
10 t/ha de cinza	41,66 a	3,53 ab	24,52 a	84,69 a	10,08 ab	3,19 a	102,84 ab	10,96 a	28,12 a	34,98 ab	10,96 a	10,96 a
20 t/ha de cinza	39,47 a	3,71 ab	25,57 a	82,67 a	14,12 a	1,48 a	117,61 a	11,06 a	30,29 a	44,49 a	11,06 a	11,06 a
	kg/ha											

Tabela 11. Conteúdo de nutrientes na parte aérea total (folhas, galhos, casca e lenho), aos 79 meses de idade.

Tratamentos	Parte aérea total					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----	-----	-kg/ha-	-----	-----	-----
Testemunha	146,41 b	12,14 b	53,30 a	73,90 a	19,88 a	9,90 a
417 kg/ha de 10:20:10	223,90 a	19,01 a	65,55 a	82,11 a	31,72 a	15,97 a
10 t/ha de cinza	239,35 a	18,13 ab	70,31 a	140,70 a	29,06 a	17,22 a
20 t/ha de cinza	244,32 a	18,66 a	76,75 a	147,08 a	33,22 a	14,79 a

4.5. Eficiência de Utilização dos Nutrientes

A partir da obtenção de biomassa e nutrientes contidos nos componentes aéreos, procurou-se estimar a Eficiência de Utilização dos Nutrientes (HANSEN & BAKER 1979), ou segundo BARROS et al. (1986), o Coeficiente de Utilização Biológica (CUB). Ambos os conceitos têm o mesmo significado, ou seja, unidades de peso de biomassa produzida por unidade de nutriente acumulado.

A eficiência de utilização dos nutrientes, tanto para o componente tronco (lenho + casca) como para a parte aérea total, nos diversos tratamentos, seguiu a seguinte ordem: $S > P > Mg > K > Ca > N$ (Tabela 12). O maior índice de eficiência, quando se considera a parte aérea total, foi de 9.502 para o S e, o menor, 526 para o N. Observa-se que os nutrientes são bastante distintos quanto ao seu aproveitamento para a formação dos tecidos vegetais. PEREIRA et al. (1984), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, observaram índices de eficiência de utilização dos nutrientes que, apesar de serem de grandezas diferentes, no geral, apresentaram, por nutriente, a mesma ordem observada neste trabalho. As diferenças verificadas quanto à grandeza dos valores, se devem, basicamente, aos efeitos da idade dos povoamentos e condições ambientais de experimentação.

Tratando-se dos efeitos da aplicação de adubo e cinza sobre a eficiência de utilização dos nutrientes, verifica-se que, destacadamente, o Ca teve um comportamento bastante distinto. A aplicação de cinza fez com que a eficiência de utilização deste nutriente fosse drasticamente reduzida, sugerindo que a grande disponibilização de Ca para as árvores, via aplicação deste insumo, levou a uma grande absorção de Ca, com desperdício de parte dos montantes absorvidos, ou então, a uma ineficiência das árvores para a utilização do mesmo na formação de tecido vegetal. Estas deduções têm por base as constatações observadas nesta pesquisa, em que, sobre menores disponibilidades de Ca, as árvores possuem, potencialmente, maior capacidade de utilizar eficientemente os nutrientes (Tabela 12).

Tabela 12. Índice de Eficiência de Utilização de Nutrientes para formação de tronco (lenho + casca) e parte aérea total (folhas, galhos, casca e lenho), nos diversos tratamentos, aos 79 meses de idade.

Tratamentos	Tronco (lenho + casca)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	Unidade matéria seca /unidade de nutriente					
Testemunha	954 a	8.866 a	2.341 a	1.637 a	6.231 a	10.000 a
417 kg/ha de 10:20:10	744 b	7.416 a	2.263 a	1.739 a	5.352 a	9.291 a
10 t/ha de cinza	848 ab	8.608 a	2.407 a	1.033 b	5.878 a	9.418 a
20 t/ha de cinza	808 b	8.294 a	2.242 a	1.029 b	5.121 a	10.000 a
Tratamentos	Parte aérea total					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	Unidade matéria seca /unidade de nutriente					
Testemunha	651 a	7.905 a	1.824 a	1.452 a	4.935 a	9.502 a
417 kg/ha de 10:20:10	526 b	6.424 b	1.819 a	1.562 a	4.314 a	8.549 a
10 t/ha de cinza	599 ab	7.650 ab	1.946 a	963 b	4.838 a	8.617 a
20 t/ha de cinza	576 ab	7.235 ab	1.815 a	951 b	4.307 a	9.219 a

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a presente pesquisa, permitiram a elucidação científica de questões relacionadas com os efeitos da cinza - proveniente de biomassa florestal - sobre as características físicas e químicas do solo e com a nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*.

A aplicação de diferentes doses de cinza resultou em elevações de produtividade, sendo que, para a dose de melhor resposta, 20 t/ha de cinza, os ganhos foram 49% superiores à testemunha. Os ganhos em produtividade promovidos pela cinza, de modo geral, independentemente das doses aplicadas, foram superiores àqueles conseguidos mediante a aplicação de adubo químico, equivalente às que são utilizadas normalmente em plantios de eucaliptos.

A dose mais econômica de cinza foi estimada como sendo 19,6 t/ha, para uma distância de transporte deste resíduo igual a 65 km. Cerca de 21 m³ de madeira com casca seriam necessários para pagar as despesas envolvidas com a aplicação da cinza. Ou seja, 25% do ganho de produção de madeira obtido com a aplicação desta dose, que foi de 64,4 m³ de madeira por ha.

As análises de solo da camada 0-20 cm, realizadas 72 meses após a aplicação de cinza, mostraram que, com exceção do pH e P, não havia diferenças estatisticamente significantes entre tratamentos. Nesse período, dada a natureza permeável e a baixa C.T.C. do solo, grande parte dos nutrientes foi lixiviada, e outra parte considerável, absorvida pelas árvores, como detectado pelas análises vegetais. Com isso, os atributos do solo voltaram a níveis equivalentes aos da testemunha.

A cinza promoveu importantes mudanças no pH e nos teores de K, Ca, Mg, P e Al, de amostras de solo incubadas sob condições controladas de laboratório. Nesta fase experimental ficou evidente o papel da cinza como agente melhorador de atributos químicos do solo, conseqüentemente, como fonte de nutrientes essenciais às árvores.

A aplicação de cinza influenciou significativamente na concentração e no conteúdo de macronutrientes localizados nos diversos componentes das árvores. As absorções de Ca e K foram muito maiores do que aquelas observadas pela testemunha e pelo tratamento que recebeu adubo. Atribuiu-se a estes nutrientes a maior parte dos efeitos sobre a nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*, responsáveis pelas grandes respostas em produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio-M 14/70**. Rio de Janeiro, 1974. 1p.

BALLONI, E.A. Fertilização florestal. **IPEF**. Boletim informativo, Piracicaba, 6(16):1-34, jul. 1978.

BARROS, N.F.; PEREIRA, A.R.; BORBA, A.M. Liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras. **Revista Árvore**, Viçosa, 6(1):84-9, jan/jun. 1982.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N.; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais. Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, 10(1): 112-20, 1986.

BREMMER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt. 2: Chemical and Microbiological Properties, p.1149-78.

BUOL, S.W. Soil fertility capability classification: a technical soil classification for fertility management. In: BORNEMISZA, E. & ALVARO, A. **Soil management in Tropical America**. Raleigh, NESU, 1975. p.126-41.

CADIMA, A.Z.; SILVA, L.F.; LOBÃO, D.E.P. Alterações edáficas provocadas por um sistema de agricultura itinerante em solos de Tabuleiro do Sul da Bahia. **Revista Theobroma**, Ilhéus, 12(4):267-72, 1982.

COLE, D.W. Nutrient cycling in world forest. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., Kyoto, 1981. Proceedings, Ibaraki, IUFRO, 1981 v.1, p.139-60.

COSTA, L.M. de & CARMO, N.D. Aspectos de manejo de solos em áreas de reflorestamentos no Brasil. In: INTERNATIONAL UNION OF FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS. MAN AND BIOSPHERE/UNESCO/UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Florestas plantadas nos neotrópicos como fontes de energia**. Viçosa 1985. p.118-32.

DATALTO, G.G. Alterações em características físicas e químicas de solos cultivados com pastagens em áreas de caatinga hipererófilas no município de Sebastião Laranjeiras - BA. Viçosa, 1982. 89p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

DINIZ, A.S. & BEIG, O. **Resultados preliminares da utilização de cinza proveniente de eucalipto como fertilizante florestal**. Mogi Guaçu, Champion Papel e Celulose, 1982. 9p.

EDEN, M.J.; FURLEY, P.A.; MCGREGOR, D.F.M.; MILLIKEN, W.; RATTER, J.A. Effect of forest clearance and burning on soil properties in northern Roraima, Brasil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, **38**:283-90, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. n.p.

ERICH, M.S. Agronomic effectiveness of wood ash as a source of phosphorus and potassium. **Journal of Environmental Quality**, Madison, **20**: 576-81, 1991.

- HANSEN, E.A. & BAKER, J.B. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured. IN: ANNUAL MEETING OF NORTH AMERICAN POPLARS COUNCIL, Thompsonville, 1979. **Proceedings**. Thompsonville, 1979. p.130-51.
- HERNANI, L.C. Métodos de limpeza de terreno sob floresta e a dinâmica de atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo do vale do Rio Ribeira de Iguape-SP. Piracicaba, 1986. 242p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP).
- HERNANI, L.C.; SAKAI, E.; ISHIMURA, I.; LEPSCH, I.F. Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP: I. Dinâmica de atributos químicos, físicos e produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 11:205-13, 1987.
- KEMPER, B. & LENTHE, R. Alterações provocadas pela agricultura itinerante no solo da Chapada Grande do centro do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, 1985. **Programas e resumos**. Belém, SBCS, 1985. p.81.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brasil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 41: 742-7, 1977.
- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado": Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162p.
- LÜKEN, H.; KEMPER, B.; GRÜNEBERG, F.; LENTHE, H.R. Investigations on the development potential of oxisols of the Chapada Grande, Piauí, Brasil. **Geologisches Jahrbuch**, Hannover, (F15), 1983. 54p.

- MAGDOFF, F.; ROSS, D.; BARTLETT, R. Wood ash use as a liming amendment. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 78., New Orleans, 1986. **Agronomy Abstracts**, Vermont, 1986. p.207.
- McINTOSH, T.H.; PETERSON, A.E.; SELL, N.J.; SEVERANCE, C.W. Amending soil with bottom ash from coal fired boilers. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 79., Atlanta, 1987. **Agronomy Abstracts**, Wisconsin, 1987. p.30.
- MEDINA, H.P. & GROHMAN, F. Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado. **Bragantia**, Campinas, **25**(6): 65-75, 1966.
- NAYLOR, L.M. & SCHMIDT, E. Paper mill wood ash as a fertilizer and liming material: field trials. **Tappi Journal**, Atlanta, **72**(6): 199-206, 1989.
- NYE, P.H. & GREENLAND, D.J. Changes in the soil after clearing a tropical forest. **Plant & Soil**, the Hague, **21**: 101-12, 1964.
- PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; FLORES, A.C. Uso da moínha de carvão vegetal como fonte de nutrientes em povoamentos de eucaliptos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., Belo Horizonte, 1982. Belo Horizonte, SBS, 1982. p. 416-7.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.G.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba (15):8-16, jun/dez. 1984.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F.S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. In.: SIMPÓSIO: ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL, São Paulo, 1983. São Paulo, CESP; Piracicaba, IPEF, 1983. p.17-30.

- PRITCHET, W.L. **Properties and management of forest soils**. New York, John Wiley, 1979. 500p.
- 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. 170p.
- RANZANI, G., coord. **Carta de solos dos hortos de propriedade de Champion Papel e Celulose S.A.** Piracicaba, ESALQ, 1972. 291p.
- RIBEIRO, A.C.; RESENDE, M.; FERNANDES, B. Latossolos com horizonte superficial escurecido, na região de Viçosa. **Revista Ceres**, Viçosa, 19(104): 280-98, 1972.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos del trópico; características y manejo**. San José, IICA, 1981. 660p.
- SILVA, L.F. Alterações edáficas em "solos de tabuleiro" ("Haplorthoxs") por influência do desmatamento, queima e sistemas de manejo. **Revista Theobroma**, Ilhéus, 11(1): 5-19, 1981.
- SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantados em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Curitiba, (6/7):9-25, 1983.
- SIMPSON, G.G.; KING, L.D.; CARLILE, B.L.; BLICKENSDETFER, P.S. Peper mill sludges, coal fly ash, and surplus lime mud as soil amendments in crop production. **Tappi Journal**, Atlanta, 66(7): 71-4, 1983.
- SINGH, R.N.; BHUMBLA, D.H.; KEEFER, R.F. Microbial Activity in mine soil amended with fly ash. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 82., San Antonio, 1990. **Agronomy Abstracts**, Raleigh, 1990. p.47.

- STAPE, J.L. & BALLONI, E.A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **IPEF**, Piracicaba, (40): 33-7, 1988.
- STAPE, J.L. **Definição do período e localização de cobertura de *Eucalyptus grandis* em funções da dinâmica de crescimento radicular.** Piracicaba, IPEF, 1990. 6p. (IPEF. Circular Técnica, 174).
- STAPE, J.L. & ZANI, FILHO, J. Aumento da produtividade do *Eucalyptus grandis*, em Areias Quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais.** Campos do Jordão, SBS, 1990. p.386-90.
- THICKE, F. E.; HOEFT, R. G.; BANWART, W. L.; BOONE, L. V. Effect of scrubber sludge and fly ash on soil physical and chemical properties. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 80., Anaheim, 1988. **Agronomy Abstracts**, Raleigh, 1988. p.49.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, Centerton, (8):1-104, 1955.
- TOMECEK, M. B.; HETRICK, B.; OHLENBUSH, P. D.; SCHWAB, A. P. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth of select plant species in high pH coal ash. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 81., Las Vegas, 1989. **Agronomy Abstracts**, Raleigh, 1989. p.46.
- TOMECEK, M. B.; OHLENBUSH, P. D.; SCHWAB, A. P. Establishment of native plant species in coal ash wastes. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY ANNUAL MEETING, 82., San Antonio, 1990. **Agronomy Abstracts**, Raleigh, 1990. p.49.
- TOMKINS, I. B.; KELLAS, J. D.; TOLHURST, K. G.; OSWIN, D. A. Effects of fire intensity on soil chemistry in a eucalypt forest. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, 29:25-47, 1991.

- VALENZUELA, J. L. Efectos de las quemas sobre el suelo. *Agronomia y Veterinária*, Buenos Aires, 10:19-29, 1960.
- VETTORI, L. & PIERANTONI, H. **Análise granulométrica**: método para determinar a fração da argila. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1968. 8p. (Boletim Técnico, 3).
- WEBER, O. B.; LOURES, E. G.; BORGES, A. C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, N. F. Atividade da microbiota em casca de eucalipto: efeito da aplicação de cinza, nitrogênio e fósforo. *Revista Árvore*, Viçosa, 11(1):16-24, jan/jun. 1987.
- WOLF, J. M. Soil-water relations in oxisols of Puerto Rico and Brasil. In: BORNEMISZA, E. & ALVARO, A. **Soil Management in Tropical América**. Raleigh, NESU, 1975. p. 145-54.
- ZANI, J. F. & BALLONI, E. A. Enraizamento de estacas de **Eucalyptus**: efeitos do substrato e do horário de coleta do material vegetativo. *IPEF*, Piracicaba, (40):39-42, dez 1988.