

GUILHERME LUIZ DE JESUS

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DO EUCALIPTO E FRAÇÕES DA MATÉRIA  
ORGÂNICA DO SOLO INFLUENCIADAS POR FONTES E DOSES DE  
NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

GUILHERME LUIZ DE JESUS

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DO EUCALIPTO E FRAÇÕES DA MATÉRIA  
ORGÂNICA DO SOLO INFLUENCIADAS POR FONTES E DOSES DE  
NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 30 de julho de 2008.

---

Prof. Ivo Ribeiro da Silva  
(Co-orientador)

---

Prof. Júlio César Lima Neves

---

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti

---

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva

---

Prof. Nairam Félix de Barros  
(Orientador)

**A Deus,**

**Aos meus queridos pais Afonso e Marlene,**

**A minha amada Myriam,**

**Aos meus irmãos Thiago e Nathália**

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, em especial, ao Departamento de Solos, pela oportunidade e condições oferecidas para a realização deste curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

À Empresa ArcelorMittal Jequitinhonha, pela oportunidade de trabalhar em suas áreas de pesquisa; e à equipe de campo, pelo apoio na coleta dos dados;

À Empresa CENIBRA S.A., pelo fornecimento de material para pesquisa;

Ao Prof. Nairam Félix de Barros, pela prontidão e orientação, pelo empenho na realização deste trabalho sem a qual o mesmo não se realizaria, pelo exemplo profissional e pessoal, e principalmente pela consideração e ensinamentos transmitidos;

Ao Prof. Ivo Ribeiro da Silva, pela competência, pela oportunidade a mim concedida de iniciação à ciência do solo, pelos conselhos e dedicação que foram fundamentais à execução deste trabalho e, principalmente, pela amizade;

Ao Prof. Júlio César Lima Neves, pela prontidão, pela ajuda nas análises estatísticas e pelas sugestões fundamentais à conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Roberto Ferreira de Novais, pela dedicação à ciência, pelas críticas e sugestões que muito contribuíram para a realização deste trabalho;

Aos amigos Loane e Vinicius que muito contribuíram para a montagem, execução e análises laboratoriais;

Aos funcionários do Laboratório de Solos Florestais, Sr. Cardoso, Beto e Guilherme (Cowboy), pela amizade, pelo auxílio nas análises e pelo bate-papo nos momentos de descontração;

Ao Eng. Florestal José Luiz Teixeira e ao Técnico Geraldo Vitor pela amizade, pelo apoio e bons momentos vividos na coleta dos dados de campo;

Ao Eng. Agrônomo João Milagres (JJ), responsável técnico pelo laboratório de isótopos estáveis pelo auxílio nas análises, e principalmente pela amizade;

Aos funcionários do DPS, principalmente ao Carlinhos, Carlos Fonseca, Cláudio, Bené, Fabinho, Denise, Luciana, Tatiana e Sônia pela presteza e amizade;

Ao Breno, Thiago, Ivan, Henrique, Paula, Helton, Amanda, Bruno, Julenice, Pacheco, Gigi, Igor, Daniel, Renato, Jarbas e aos demais colegas do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela amizade e companheirismo;

Aos colegas Dalton (Play), Michelle, Flancer, Leonardus, Fabricção, Karina, Carolina, Carlos, Fernando, Fernanda, Ivan e Rodinei do Laboratório de Solos Florestais, pela convivência, amizade e momentos de descontração;

Aos amigos de toda hora, Lucas, Christopher, Vivi, Flávia, Gabriel, Elen, Josi e Aldo pela amizade sincera e pelo estímulo em todos os momentos;

Aos meus pais pelo amor incondicional, pelo exemplo e ensinamentos, pelo apoio nos momentos difíceis, pela dedicação e esforço durante toda minha vida que me possibilitaram chegar até aqui;

À minha amada Myriam, eterna amiga e companheira, pelo amor sincero, pelo exemplo e paciência, pelo incentivo diário, pela ajuda nos experimentos e por estar ao meu lado ao longo desses anos construindo nossa história;

Aos meus irmãos Nathália e Thiago, eternos amigos e companheiros, pelo amor fraterno, incentivo e momentos de descontração;

À minha madrinha Dinha e meu padrinho Gilberto, pelo carinho, bondade e por sempre torcerem por mim;

Ao Sr. Alberino, à Sra. Taís e a seus filhos, por terem me recebido sempre de braços abertos em seu lar;

A todos que participaram dos bons momentos que tive nessa jornada.

## **BIOGRAFIA**

GUILHERME LUIZ DE JESUS, filho de Afonso Perpétuo de Jesus e Marlene Olímpia de Jesus, nasceu em Belo Horizonte, em 15 de dezembro de 1982.

Em 2001 iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Em agosto de 2003 iniciou um estágio em pesquisa no Departamento de Solos da UFV, onde foi bolsista de iniciação científica pela FAPEMIG por dois anos consecutivos. De setembro de 2006 a abril de 2007 estagiou na Empresa V&M Florestal na área de silvicultura.

Em outubro de 2006, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em outubro de 2006, iniciou o Curso de Mestrado na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas, terminando-o em 30 de julho de 2008.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1 – Resposta do eucalipto a doses e fontes de nitrogênio.....	3
Resumo .....	3
1. Introdução .....	5
2. Material e Métodos.....	7
2.1. Descrição da área de estudo.....	7
2.2. Coleta e análises de amostras de solo .....	9
2.3. Medição, coleta e análise do material vegetal .....	12
3. Análises estatísticas .....	13
4. Resultados e Discussão.....	14
5. Conclusões .....	24
CAPÍTULO 2 – Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto influenciadas pela adição de N e S em amostras de solos com diferentes teores de matéria orgânica.....	25
Resumo .....	25
1. Introdução .....	27
2. Material e Métodos.....	30
3. Análises estatísticas .....	32
4. Resultados e Discussão.....	33
5. Conclusões .....	41
Referências Bibliográficas.....	42
Considerações Finais.....	47
Apêndice Capítulo 1.....	48
Apêndice Capítulo 2.....	58

## RESUMO

JESUS, Guilherme Luiz de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008.

**Nutrição e produção do eucalipto e frações da matéria orgânica do solo influenciadas por fontes e doses de nitrogênio.** Orientador: Prof. Nairam Félix de Barros. Co-Orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais.

As plantações comerciais de eucalipto no Brasil geralmente ocupam solos de baixa fertilidade natural e a fertilização é necessária para que se obtenham elevadas produtividades. Apesar da grande quantidade de nitrogênio (N) acumulado em plantios de alta produtividade dessa espécie, o aumento em volume e biomassa em resposta à aplicação de N não tem sido freqüente e nem de elevada magnitude, o que tem sido atribuído à mineralização do N da matéria orgânica do solo. No entanto, observações recentes mostraram respostas contrastantes do eucalipto à aplicação de N. Numa situação, a resposta ao sulfato de amônio poderia ser atribuída ao enxofre, fato suportado pela maior resposta do eucalipto ao superfosfato simples em comparação com o superfosfato triplo. Contudo, no mesmo sítio florestal, a resposta permaneceu quando da aplicação de N na forma amoniacal e na forma nítrica. Poderia ser esta resposta um efeito indireto pela disponibilização de outros nutrientes conseqüente da mineralização da matéria orgânica? Este trabalho consistiu de dois experimentos, em que o objetivo geral foi avaliar o efeito do nitrogênio no crescimento e nutrição do eucalipto. O primeiro experimento, instalado no campo, no município de Itamarandiba-MG, em delineamento experimental em blocos ao acaso com três repetições, consistiu da aplicação de doses e fontes de N em plantio de eucalipto. Para verificar o efeito dos tratamentos sobre o crescimento e acúmulo de N nas plantas fez-se o inventário florestal, quando as plantas tinham 30 meses de idade, abatendo-se árvores com DAP médio e separando-as em lenho, casca, galhos e folhas para determinação da produção de matéria seca, dos teores e conteúdos de nutrientes das plantas. Amostras de solo e de serapilheira foram coletadas aleatoriamente para análises químicas de fertilidade. O teor de carbono (C) e nitrogênio (N) total da matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada à fração mineral (MOAM) foram determinados por espectrometria de massa de razão isotópica, após separação física. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação, com os tratamentos em esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo: dois tipos de solo; quatro doses de N e quatro doses de S, em blocos casualizados



com três repetições. Para adição de N utilizou-se  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  com 60 % em átomos de  $^{15}\text{N}$ . O solo de cada tratamento foi acomodado em recipiente de 3,6 L de capacidade, onde foram plantadas duas mudas de clone de eucalipto, com 45 dias de idade. Realizaram-se quatro coletas de folhas por vaso em tempos distintos, submetendo-as à análise de espectrometria de massa de razão isotópica de fluxo contínuo para obtenção da porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso. Com isso calculou-se a contribuição do fertilizante aplicado para o N acumulado na planta ao longo do tempo. Ao final do período experimental (80 dias) determinaram-se a altura e diâmetro de coleto das plantas, a matéria seca vegetal e o teor de nutrientes das plantas. As análises estatísticas consistiram de análise de variância e regressão. A aplicação de adubos nitrogenados promoveu aumento no crescimento, no campo e em casa de vegetação, principalmente, nesta condição, no solo com menor teor de matéria orgânica. Não foram detectadas alterações nos teores de C e N da matéria orgânica com a adubação nitrogenada. No entanto, houve aumento da absorção de Ca, Mg e S. A taxa de recuperação aparente de N no campo foi maior na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, atingindo 34,4 %. A contribuição do  $^{15}\text{N}$  derivado do fertilizante atingiu 30 % três semanas após aplicação, decrescendo ao longo do tempo.

## ABSTRACT

JESUS, Guilherme Luiz de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2008.

**Nutrition and production of eucalypt and fractions of soil organic matter influenced by sources and rates of nitrogen.** Adviser: Prof. Nairam Félix de Barros. Co-Advisers: Ivo Ribeiro da Silva and Roberto Ferreira de Novais.

The commercial plantations of eucalyptus in Brazil are usually located in soils of low natural fertility, thus the addition of fertilizers is necessary in order to obtain high productivities. In spite of the high amount of nitrogen (N) accumulated in plantations of high productivity, increases in volume and biomass in response to the application of N fertilizers has not been expressive. The absence or little response of eucalyptus to N fertilization could be attributed to organic matter mineralization. However, recent observations, in two field experiments, showed contrasting response of eucalyptus to N application. In one case, the effect of ammonium sulphate could be attributed to the sulphur of the fertilizer, fact supported by a strong eucalypt response to single superphosphate in comparison with triple superphosphate. However, in the same site, the effect remained with the application of N either as ammonium-N or nitrate-N sources. Could this response be an indirect effect for the presence of other nutritional factors on the mineralization of soil organic matter? This research consisted of two experiments, aiming to evaluate the effect of N on the growth and chemical composition of eucalyptus. The first experiment, under field conditions, in the Itamarandiba County – MG, was carried out in a randomized block design with three replications, and consisted of the application of N rates from two sources, ammonium sulphate (AS) and ammonium nitrate (AN). Treatment effects were evaluated on 30 month-old trees by measuring stem volume, aboveground biomass and N accumulation in the trees. Soil and litter samples were randomly collected for chemical analyses. Total C and N content of the particulate organic matter (POM) and the organic matter associated to the mineral fraction (OMAM) were quantified by mass spectrometry (IRMS). The second experiment was conducted in a greenhouse, using a soil with higher and other with lower organic matter content, four rates of N and four rates of S, in a randomized block design with three replications. The N source was  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  with 60 %  $^{15}\text{N}$  atoms. Two clonal seedlings of eucalypts were grown into 3.6 L pots. Completely developed eucalypt leaves were collected at four different times after imposing the treatments for

N determination by dry combustion in a continuous flow isotope ratio mass spectrometer to obtain the percentage of  $^{15}\text{N}$  atoms in excess, to assess the contribution of the applied fertilizer to plant N content. At the end of the experimental period (80 days) seedling height and biomass were determined and tissue samples submitted to nutrient determination. Nitrogen fertilization promoted increase in growth, in the field and in the greenhouse. Seedling growth rate in response to fertilizer was stronger when cultivated in the soil poorer in organic matter. Alterations in the C e N stocks in the POM and OMAM due to the nitrogen application could not be detected. However, there was an increase in the uptake of other nutrients. Apparent N recovery, in the field, was highest at the rate of  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  of N, reaching 34,4 %. In the greenhouse trial N recovery from the fertilizer, as indicated by  $^{15}\text{N}$ , reached 30 % during the first 21 days, reducing thereafter.

## INTRODUÇÃO GERAL

O *Eucalyptus* é um dos gêneros mais amplamente plantados comercialmente em escala global para fornecimento de matéria prima para indústrias de papel e celulose, produção de carvão vegetal para siderúrgicas, e madeira serrada, chapas e aglomerados para as indústrias moveleiras. As plantas desse gênero são de crescimento rápido e se adaptam a diferentes condições de solo e clima, o que justifica a elevada utilização desse gênero nos reflorestamentos.

O Brasil possui área total de 851 milhões de hectares. Desse total, 477,7 milhões correspondem a florestas naturais e 5,6 milhões a florestas plantadas (SBS, 2006). Estas ocupam apenas 0,65 % do território nacional e 1 % do solo utilizado na agropecuária. Dessa forma, o Brasil é o país que dispõe de maior área para o reflorestamento. Dos 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, 3,4 milhões de hectares são de eucalipto, 1,8 milhão de hectares de pinus e 326 mil hectares de outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária. Só no ano de 2006, a área plantada de florestas foi de 627.000 ha (SBS, 2006), superando a meta estabelecida pelo Programa Nacional de Florestas (PNF) que era de 500.000 hectares anuais.

O setor de base florestal em 2005 contribuiu com 3,5 % do PIB nacional. Nesse valor estão incluídos os setores de: celulose, papel, madeira industrializada sob todos os processos, móveis, siderurgia a carvão vegetal além de produtos florestais não madeireiros (SBS, 2006). Estima-se que este setor emprega direta e indiretamente 6,5 milhões de pessoas em todos os segmentos, o que corresponde a 7,4 % da população economicamente ativa do país. O Brasil contribuiu com 4,6 % das exportações mundiais de produtos florestais madeireiros, destacando-se como o maior produtor e exportador de celulose branqueada de eucalipto e primeiro exportador mundial de compensados de pinus (SBS, 2006). De acordo com a análise da Balança Comercial do Agronegócio divulgada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as exportações do grupo de produtos florestais madeireiros, como celulose e papel, madeira sólida, painéis e móveis, foram superadas apenas pelos complexos soja e carnes.

As plantações comerciais de eucalipto no Brasil normalmente ocupam solos de baixa fertilidade natural (Barros & Novais, 1996), caracterizados pelo baixo teor de

nutrientes disponíveis para as plantas e pequena reserva nutricional. Além disso, são solos com baixa saturação por bases, elevada acidez, alta capacidade de fixação de fósforo e ricos em sesquióxidos de Fe e Al, características que, em conjunto com o curto ciclo de corte da cultura do eucalipto e a exportação de nutrientes, indicam que a manutenção da produtividade é dependente da adição de fertilizantes (Barros & Novais, 1996).

O nitrogênio (N) é importante por ser um nutriente chave para a produtividade vegetal de todos os ecossistemas. Este nutriente faz parte de vários compostos em plantas, destacando-se os ácidos nucleicos, os aminoácidos e a clorofila. As principais reações bioquímicas em plantas envolvem a presença do N, tornando-o um dos nutrientes absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas (Cantarella, 2007). Apenas elementos como o oxigênio (O), o carbono (C) e o hidrogênio (H) são mais abundantes que o N nas plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

Por ser um nutriente limitante ao crescimento das plantas, grande parte dos ecossistemas naturais e agrícolas apresenta expressivo ganho de produtividade após serem fertilizados com N, atestando a importância do mesmo (Taiz & Zeiger, 2004). Dessa forma, os fertilizantes nitrogenados são empregados em grandes quantidades na agricultura moderna, visando o ganho de produtividade e o enriquecimento da ciclagem de nutrientes (Reis & Barros, 1990). No entanto, o aumento em volume e biomassa em resposta à aplicação de N não tem sido expressivo em plantações comerciais de eucalipto (Santos, 2001) visto que, praticamente, toda a demanda de N pela planta, ao longo do ciclo de crescimento, é atendida pelo N mineralizado da matéria orgânica do solo e da serapilheira (Gama-Rodrigues, 1997). Diante destes fatos, esta pesquisa consistiu de dois experimentos, em que o objetivo geral foi avaliar o efeito do nitrogênio no crescimento e nutrição de plantas de eucalipto.

## Capítulo 1 – Resposta do eucalipto a doses e fontes de nitrogênio

### RESUMO

As plantações comerciais de eucalipto no Brasil estão localizadas, de maneira geral, em solos de baixa fertilidade natural, o que, considerando o ciclo curto da cultura e a exportação de nutrientes na colheita, torna a cultura dependente da adição de fertilizantes para que altas produções sejam mantidas. Apesar da grande quantidade de nitrogênio (N) acumulada em plantações de alta produção, o aumento em volume e biomassa do tronco em resposta à aplicação de N não tem sido expressivo e nem consistente. A ausência ou pequena resposta do eucalipto à adubação nitrogenada poderia ser atribuída à mineralização do N da matéria orgânica do solo. No entanto, observações recentes, mostraram respostas contrastantes do eucalipto à aplicação de N. Numa situação, a resposta ao sulfato de amônio poderia ser atribuída ao enxofre (S), fato suportado pela maior resposta do eucalipto ao superfosfato simples em comparação com o superfosfato triplo. Contudo, no mesmo sítio florestal, a resposta permaneceu com a aplicação de N na forma amoniacal e na forma nítrica ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Poderia ser esta resposta um efeito indireto em razão da disponibilização de outros nutrientes pela mineralização da matéria orgânica estimulada pelo N aplicado? O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de N na produção e composição mineral de plantas de eucalipto e sua influência na mineralização da matéria orgânica. O experimento foi instalado em campo, no município de Itamarandiba-MG, em blocos ao acaso com três repetições, consistindo da aplicação em cobertura de doses e fontes de N distintas (sulfato de amônio e nitrato de amônio) em clone de eucalipto (AEC1528<sup>®</sup>). O efeito dos tratamentos sobre o crescimento e acúmulo de N nas plantas foi avaliado aos 30 meses de idade, abatendo-se árvores com DAP médio e separando-as em lenho, casca, galhos e folhas para determinação da produção de matéria seca e dos teores e conteúdos de nutrientes das plantas. Amostras de solo e de serapilheira foram coletadas para análises de nutrientes. O teor de carbono (C) e nitrogênio (N) total da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica associada à fração mineral (MOAM) foram determinados por espectrometria de massa de razão isotópica, após separação física da matéria orgânica. As análises estatísticas consistiram de análise de variância e de regressão.

A aplicação de adubos nitrogenados promoveu aumento no crescimento volumétrico do tronco e na matéria seca da parte aérea. Não foram detectadas alterações nos estoques de C e N da matéria orgânica com a adubação nitrogenada. No entanto, houve aumento da absorção de Ca, Mg e S. A taxa de recuperação aparente de N no campo foi maior na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, atingindo 34,4 %.

Palavras-chave: nitrogênio inorgânico, *Eucalyptus sp.*, fertilização, nutrição mineral, matéria orgânica.

## 1. Introdução

A produtividade das plantações comerciais de eucalipto no Brasil é bastante variável (15 a 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de madeira) e dependente da disponibilidade de água e de nutrientes (Barros & Comerford, 2002). A demanda nutricional é proporcional à produtividade florestal (Gonçalves et al., 1997), com o acúmulo de nitrogênio na biomassa chegando a valores acima de uma tonelada por hectare (Barros et al., 1990).

O nitrogênio (N) é o nutriente que se encontra em maiores concentrações nos vegetais superiores. Sua participação no metabolismo tem sido bastante estudada na maioria das espécies cultivadas, principalmente as de ciclo anual.

O eucalipto pode responder à fertilização, particularmente com N, aumentando a área foliar com consequente aumento de volume de tronco (Smethurst et al., 2003). Em povoamentos florestais, a quantidade de N acumulado pode ir de 120 a 1.300 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo da qualidade do sítio, do material genético e da produção do povoamento (Barros et al., 1990). Apesar da grande quantidade de N que pode ser acumulada nesses plantios, o aumento em volume e biomassa em resposta à aplicação de N não tem sido expressivo (Valeri, 1983 *apud* Barros et al., 1990; Santos, 2001). A ausência ou pequena resposta do eucalipto à adubação nitrogenada pode ser atribuída à maior quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do solo (Gama-Rodrigues, 1997).

Observações recentes realizadas no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, em dois experimentos, mostraram respostas contrastantes do eucalipto à aplicação de N. Numa situação, a resposta ao sulfato de amônio poderia ser atribuída ao enxofre, fato suportado pela maior resposta do eucalipto ao superfosfato simples em comparação com o superfosfato triplo. Contudo, em outro experimento, no mesmo sítio florestal, com a aplicação de N na forma amoniacal e na forma nítrica (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), a resposta permaneceu, indicando resposta ao N.

Diante desses fatos e das informações da literatura, que apresentam dados contrastantes para a resposta à adubação nitrogenada de plantações florestais, fica clara a necessidade de mais estudos que avaliem o efeito da adubação nitrogenada no crescimento e na composição química de plantas de eucalipto, visando quantificar a dose adequada de N a ser aplicada nas adubações de cobertura. Dessa forma, este



trabalho teve como objetivo verificar o efeito de doses e fontes de nitrogênio sobre o crescimento e o acúmulo de N em plantas de eucalipto.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em áreas da ArcelorMittal Jequitinhonha localizadas no município de Itamarandiba, Estado de Minas Gerais, situado a 17°51' latitude S, 42°51' longitude W, altitude média de 1097 m, precipitação média anual de 1.081 mm e temperatura média anual de 20,1 °C. O ensaio foi instalado no mês de junho de 2005 com o clone AEC 1528<sup>®</sup> em Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa. No plantio utilizou-se a formulação NPK 04-26-16 enriquecida com 1,0 % de Zn e 0,5 % de Cu na dosagem de 130 g planta<sup>-1</sup>. Antes do plantio, foram aplicados 500 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá, no sulco de plantio. Realizou-se, também, a aplicação de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de Agrosilício<sup>®</sup>, no mês de junho de 2006, como fonte de Ca e Mg. As adubações de cobertura foram realizadas em três épocas de acordo com o tratamento: uma foi feita em janeiro, outra em março e a última em dezembro de 2006. Nas adubações de cobertura dos meses de janeiro e dezembro de 2006, todos os tratamentos receberam uma dose 210 kg ha<sup>-1</sup> de KCl enriquecida com 0,5 % de B.

Os tratamentos consistiram da aplicação de 0, 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, como sulfato de amônio, em faixa de 0,5 m de largura ao lado da linha de plantio, parcelados ou não em uma, duas ou três épocas. Um tratamento adicional consistiu da aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N como nitrato de amônio, parcelado em três épocas, totalizando cinco tratamentos (Quadro 1).

O ensaio foi conduzido em blocos ao acaso, com três repetições, com as árvores no espaçamento 3 x 2,8 m. As parcelas possuem 0,6 ha cada, com 1714 m<sup>2</sup> de área útil, sendo 204 plantas úteis e duas fileiras de bordadura.

Quadro 1 – Quantidades de corretivos e fertilizantes utilizados na época de plantio e doses e épocas de aplicação, no município de Itamarandiba-MG.

Tratam.	Fonte	Fosfatagem	Adubação de plantio	Fonte de Ca e Mg	Adubações de cobertura		
		jun/05	jun/05	jun/06	jan/06	mar/06	dez/06
1. Sem N	-	500 kg/ha de Fosfato Natural de Araxá	130 g/planta de 04-26-16 + 1 % Zn + 0,5 % Cu	2.000 kg/ha AgroSilício	210 kg/ha KCl + 0,5 % B	-	210 kg/ha KCl + 0,5 % B
2. 60 kg/ha de N	Sulfato de Amônio (S.A.)	500 kg/ha de Fosfato Natural de Araxá	130 g/planta de 04-26-16 + 1 % Zn + 0,5 % Cu	2.000 kg/ha AgroSilício	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 150 kg/ha S.A.	-	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 150 kg/ha S.A.
3. 120 kg/ha de N	Sulfato de Amônio (S.A.)	500 kg/ha de Fosfato Natural de Araxá	130 g/planta de 04-26-16 + 1 % Zn + 0,5 % Cu	2.000 kg/ha AgroSilício	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 150 kg/ha S.A.	150 kg/ha S.A.	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 300 kg/ha S.A.
4. 240 kg/ha de N	Sulfato de Amônio (S.A.)	500 kg/ha de Fosfato Natural de Araxá	130 g/planta de 04-26-16 + 1 % Zn + 0,5 % Cu	2.000 kg/ha AgroSilício	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 150 kg/ha S.A.	300 kg/ha S.A.	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 750 kg/ha S.A.
5. 120 kg/ha de N	Nitrato de Amônio (N.A.)	500 kg/ha de Fosfato Natural de Araxá	130 g/planta de 04-26-16 + 1 % Zn + 0,5 % Cu	2.000 kg/ha AgroSilício	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 90 kg/ha N.A.	90 kg/ha N.A.	210 kg/ha KCl + 0,5 % B + 180 kg/ha N.A.

## 2.2. Coleta e análises de amostras de solo

Amostras de solo foram coletadas quando as árvores tinham 30 meses de idade, portanto, seis meses após que toda a adubação planejada foi realizada. Elas foram coletadas aleatoriamente dentro da faixa em que se aplicou o adubo nitrogenado, em cada parcela, utilizando 12 amostras simples para obtenção de uma amostra composta, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para realização das análises químicas.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 2 mm de malha e homogeneizadas, retirando-se possíveis impurezas e, posteriormente, submetidas às análises químicas e físicas (Quadro 2 e 3).

As amostras foram analisadas para determinação de pH em água, na relação solo:solução de 1:2,5; Al, Ca e Mg trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na relação solo:extrator de 1:10 v/v; P e K extraídos pelo Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), na relação 1:10 v/v, de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997). Os teores de P, após a formação do complexo fosfo-molíbico e a sua redução por ácido ascórbico, foram determinados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974). Os teores de K foram determinados por fotometria de chama (AOAC, 1975) e de cálcio, magnésio e alumínio por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). Os teores de sulfato do solo, após agitação por 45 min na relação solo:extrator de 1:2,5 v/v, foram determinados segundo método descrito por Alvarez V. et al. (2001).

Os teores de Fe, Mn, Zn, e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após extração com Mehlich-1, e o B, foi extraído com água quente e quantificado por colorimetria utilizando Azometina-H. O P remanescente foi determinado de acordo com Alvarez V. et al.(2000). A caracterização textural seguiu metodologia proposta por Ruiz (2005).

Quadro 2. Características químicas de amostras de solo de um plantio de eucalipto aos 30 meses de idade (Clone AEC 1528<sup>®</sup>) influenciadas por doses e fontes de N, em Itamarandiba, MG

Dose N	Prof.	pH	P	K	S	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	----cm---		-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
0	0-10	4,68	1,02	38	19	0,96	0,41	0,45
	10-20	4,47	0,55	30	27	0,50	0,23	0,74
	20-40	4,41	0,4	25	26	0,25	0,14	0,58
	40-60	4,49	0,34	22	25	0,23	0,12	0,39
60 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio.	0-10	4,50	1,85	41	20	0,91	0,37	0,71
	10-20	4,29	0,91	29	24	0,31	0,17	0,97
	20-40	4,39	0,62	22	25	0,29	0,15	0,66
	40-60	4,45	0,45	21	25	0,24	0,12	0,49
120 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio	0-10	4,47	1,02	39	29	0,89	0,36	0,69
	10-20	4,27	0,64	30	28	0,31	0,16	0,86
	20-40	4,35	0,42	27	28	0,20	0,12	0,62
	40-60	4,43	0,24	20	27	0,18	0,11	0,40
240 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio.	0-10	4,43	2,52	36	32	0,86	0,34	0,67
	10-20	4,36	1,03	27	33	0,56	0,23	0,70
	20-40	4,32	0,66	20	29	0,22	0,13	0,65
	40-60	4,47	0,37	16	28	0,19	0,11	0,46
120 kg ha <sup>-1</sup> como nitrato de amônio.	0-10	4,48	1,03	38	24	0,50	0,25	0,87
	10-20	4,33	0,55	30	30	0,30	0,17	0,89
	20-40	4,32	0,45	22	31	0,14	0,11	0,74
	40-60	4,35	0,24	19	29	0,12	0,10	0,63

Quadro 3. Características químicas e físicas de amostras de solo de um plantio de eucalipto aos 30 meses de idade (Clone AEC1528<sup>®</sup>) influenciadas por doses e fontes de N, em Itamarandiba, MG

Dose N	Prof.	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Prem	Areia <sup>2</sup>	Silte <sup>1</sup>	Argila <sup>1</sup>
	---cm-	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					mg L <sup>-1</sup>	-----dag kg <sup>-1</sup> -----		
	--									
0	0-10	0,28	162	12,49	0,51	1,29	8,64	8	7	85
	10-20	0,25	172	9,82	0,55	1,21	6,44	7	10	83
	20-40	0,18	143	5,78	0,49	0,95	6,41	7	10	83
	40-60	0,14	109	5,84	0,42	0,89	6,35	7	7	86
60 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio.	0-10	0,26	167	13,62	0,52	1,51	9,86	8	7	85
	10-20	0,20	160	8,19	0,55	1,18	6,90	8	9	83
	20-40	0,20	156	6,75	0,52	1,15	6,72	7	10	83
	40-60	0,20	112	6,10	0,43	1,11	6,45	6	9	85
120 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio.	0-10	0,32	161	14,04	0,53	1,57	8,57	8	9	83
	10-20	0,16	163	6,58	0,57	1,31	5,88	7	10	83
	20-40	0,09	136	5,14	0,49	0,99	5,88	7	10	83
	40-60	0,10	99	5,38	0,43	0,81	5,80	7	8	85
240 kg ha <sup>-1</sup> como sulfato de amônio.	0-10	0,19	161	12,96	0,51	1,19	8,77	8	8	84
	10-20	0,19	167	10,79	0,56	0,90	6,69	8	10	82
	20-40	0,12	140	6,08	0,49	0,95	6,11	7	11	82
	40-60	0,08	106	4,80	0,44	0,87	6,31	8	7	85
120 kg ha <sup>-1</sup> como nitrato de amônio.	0-10	0,29	158	10,54	0,51	1,51	8,81	7	8	85
	10-20	0,28	163	8,51	0,56	1,24	6,23	8	10	82
	20-40	0,20	151	6,65	0,49	0,97	5,95	8	8	84
	40-60	0,15	129	4,61	0,45	1,13	6,48	7	9	84

<sup>1</sup>Silte e Argila – método da pipeta; <sup>2</sup>Areia – peneiramento.

Realizou-se o fracionamento físico da matéria orgânica segundo o método proposto por Cambardella & Elliot (1992). A fração Matéria Orgânica Particulada (MOP) foi isolada da Matéria Orgânica Associada à Fração Mineral (MOAM) através da adição de 25 mL de hexametáfosfato de sódio 5 g L<sup>-1</sup>, agitados por 15 h à 150 RPM para dispersão do solo e tamisação em peneira com abertura de 53 µm, sendo, a MOP o material retido na peneira. Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) das frações Matéria Orgânica Particulada (MOP) e Matéria Orgânica Associada à Fração Mineral (MOAM) foram dosados em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GSL, 20-20, Sercon, Crewe, UK).

### 2.3. Medição, coleta e análise do material vegetal

Em cada um dos três blocos, aos 30 meses, mediu-se a circunferência do tronco à altura de 1,3 m (CAP) e a altura de todas as árvores da área útil da parcela por tratamento. Em cada parcela, abateu-se uma árvore com diâmetro correspondente ao da árvore média do respectivo tratamento. A altura comercial (definida por um diâmetro de tronco superior a 2 cm) e a total foram medidas, efetuando-se a cubagem rigorosa da árvore abatida segundo método de Smalian, medindo os diâmetros a 0,1 m, 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial. Cada componente da árvore (folhas, galhos, casca e madeira do tronco) foi pesado no campo.

Foram coletados discos do tronco da árvore, com madeira e casca, nas posições correspondentes a 0,1 m, 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial, e amostras de folhas e galhos para determinação do peso de matéria seca. Porções de casca e de lenho (“pó de serra” – obtida por meio de corte com motosserra na seção transversal do lenho de 50 em 50 cm) foram homogeneizadas por componente, e retirada uma amostra composta de cada árvore. Após a análise química, o conteúdo de nutrientes nos componentes da árvore foi calculado, assim como a taxa de recuperação de N aplicado:

$$Tx.recup.(%) = \left( \frac{\text{ConteúdoN}_{\text{trat}} - \text{ConteúdoN}_{\text{test.}}}{\text{ConteúdoN}_{\text{test.}}} \right) \times 100$$

Amostras de serapilheira foram coletadas ao acaso em três repetições por tratamento, obtendo-se uma amostra composta por parcela. Para tanto, coletaram-se oito amostras simples (quatro nas linhas e quatro nas entrelinhas de plantio), utilizando um gabarito de 0,5 m x 0,5 m. Após determinação da massa fresca, retiraram-se amostras para análise química.

As amostras de material vegetal (casca, lenho, galhos, folhas e serapilheira) foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, e moídas separadamente em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1 mm.

Para determinação de cálcio, magnésio, potássio, enxofre, fósforo e de micronutrientes, conforme os métodos de dosagem descritos anteriormente, as

amostras de cada componente vegetal e da serapilheira foram mineralizadas pela mistura nítrico-perclórica na proporção 4:1 v/v, com exceção do B. Este foi mineralizado por queima, a 550 °C em mufla, e recolhido em solução de ácido clorídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de N de cada componente, após digestão em ácido sulfúrico concentrado, foram quantificados pelo método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

### **3. Análises estatísticas**

Os dados referentes às características dendrométricas, produção de matéria seca vegetal, teor e conteúdo de nutrientes foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, realizou-se o desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos e, por meio de regressões, avaliou-se o efeito das doses de N na produção de matéria seca vegetal, teor e conteúdo de nutrientes nas árvores. Para a avaliação do efeito das fontes de N, foi estabelecido o contraste (N-sulfato de amônio vs N-nitrato de amônio na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>) adotando-se o nível de significância de até 5 %. Utilizou-se para o processamento dos dados o programa estatístico SAEG versão 9.1 (Funarbe, 2007).



#### 4. Resultados e Discussão

A produção volumétrica, aos 30 meses de idade, foi influenciada significativamente pelas doses de N aplicado na forma de sulfato de amônio (Figura 1). A dose que proporcionou o volume máximo ( $\hat{y} = 95,22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi de  $154 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Nesta dose, o volume de madeira foi 58,1 % superior à produção sem adubação nitrogenada. A dose de N, como sulfato de amônio, para obter 90 % da produção máxima foi de  $74 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo o volume obtido, 42,3 % maior que o da testemunha. O volume de tronco na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N não diferiu ( $p > 0,05$ ) ao se aplicar sulfato de amônio ou nitrato de amônio.

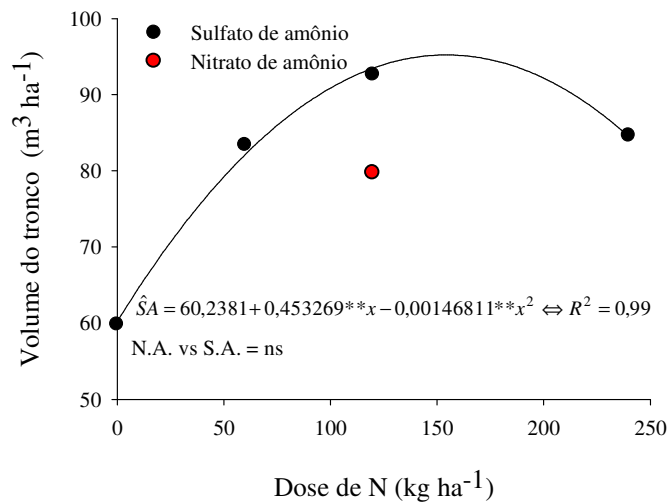


Figura 1. Volume do tronco do clone AEC1528<sup>®</sup> de eucalipto, aos 30 meses de idade, influenciado por doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e por nitrato de amônio (N.A.) na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ .\*\*, ns: significativo a 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2003) que observaram incremento linear, atingindo ganhos de até 44 % em relação à testemunha, em clone híbrido de *Eucalyptus* aos 36 meses de idade com a aplicação de até  $320 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (30 % na forma de nitrato de amônio e 70 % na forma de sulfato de amônio) em Latossolo Vermelho textura média com  $20 \text{ g kg}^{-1}$  de M.O. Araújo et al. (2003) também observaram que o fornecimento de N, até  $486 \text{ kg ha}^{-1}$  (primeira cobertura com uréia e a segunda e terceira com sulfato de amônio), proporcionou ganho linear no crescimento de clones de *Eucalyptus* em Espodossolos na região Sul da Bahia em

avaliação feita aos 24 meses. Estes mesmos autores relataram incremento de até 109 % em relação à testemunha.

A demanda de N por eucalipto à idade de 4,5 anos, no Brasil, varia de 150 a 327 kg ha<sup>-1</sup> (Santana et al., 2008), com valores mais baixos em solos arenosos. Assim, respostas à aplicação de N podem ser esperadas em solos com teores mais baixos de matéria orgânica, geralmente arenosos, como os solos dos estudos de Silva et al. (2003) e de Araújo et al. (2003), ou ainda em locais onde as condições climáticas não favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica.

Segundo Bennett et al. (1997), respostas à fertilização nitrogenada em *E. globulus* são relativamente comuns onde a disponibilidade de N do solo é baixa. O baixo teor de matéria orgânica e a possibilidade de perda de N por lixiviação são condições que, também, favoreceriam maior resposta do eucalipto à adubação nitrogenada, como detectada por Valeri et al. (1997). Estes mesmos autores observaram aumento em volume pela aplicação de N e de K. Stape & Benedetti (1997), estudando o efeito de fontes e doses de vários macronutrientes sobre a produtividade de *Eucalyptus grandis* cultivado em Neossolos Quartzarênicos, relatam ganhos de produtividade pela adição de NPK 15-00-15, não ficando claro se o efeito foi do N e/ou K aplicado. Silva et al. (2000) verificaram que para solos com teor elevado de K a resposta do *E. grandis* à aplicação de nitrogênio foi linear até a dose máxima de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Também na Austrália, a aplicação de 202 kg de N ha<sup>-1</sup> e 90 kg P ha<sup>-1</sup> em *Eucalyptus globulus* promoveu ganho de crescimento e de acúmulo de N mais de duas vezes em comparação com a testemunha (Cromer & Williams, 1982).

No entanto, no presente estudo, o teor de matéria orgânica acima de 30 g kg<sup>-1</sup> de solo e a textura muito argilosa do solo seriam condições para uma expectativa de pequena ou nenhuma resposta do eucalipto à adubação nitrogenada. Parte da resposta do eucalipto ao sulfato de amônio pode ser atribuída ao S, ainda que a diferença entre as fontes não tenha sido significativa. Outra possível explicação seria uma taxa de decomposição da matéria orgânica eficiente para mineralizar todo o N demandado pelas árvores de eucalipto. Gama-Rodrigues (1997) verificou, em estudo conduzido em várias regiões bioclimáticas brasileiras, que o solo foi incapaz de atender a toda a demanda de N nos três primeiros anos, mas que após o 4º ou 5º ano a disponibilidade de N suplantava a demanda do eucalipto.

Smerthurst et al. (2004), tentando estabelecer uma relação entre o crescimento de árvores de *E. nitens* na Austrália e o manejo da fertilização nitrogenada, observaram que as plantações em solos com baixos níveis deste nutriente expressaram deficiência do mesmo nos anos iniciais pós-plantio. Eles observaram que altas doses de N aplicadas ( $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no total) foram necessárias para maximizar o crescimento em muitos sítios, mas não houve evidências que sugerissem aplicação de N acima de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em uma única aplicação. Portanto, várias aplicações são necessárias para maximizar o crescimento. Outro dado importante relatado por Smerthurst et al. (2004) é que a disponibilidade de N no solo aumentou por um período de um a dois anos após as doses totais terem sido aplicadas. A taxa de crescimento das árvores aumentou nesse mesmo período, seguida por resposta menos significativa por alguns anos, durante os quais a reaplicação do N sustentou a taxa de crescimento.

Estes resultados divergem dos encontrados por Santos (2001), que relata que a aplicação de N na forma de uréia não resultou em ganhos significativos de produção volumétrica na época da colheita de *Eucalyptus grandis* em três regiões distintas. Os resultados desse autor estão mais em linha com aqueles relatados por Gama-Rodrigues (1997).

A produção de matéria seca da parte aérea mostrou relação quadrática tendendo a máximo com as doses de N (Figura 2). A dose de N que proporcionou a produção máxima de matéria seca ( $48,95 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi de  $143,3 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. O ganho máximo de produção foi de 47,2 % em comparação com a testemunha. A dose de N, como sulfato de amônio, para a obtenção de 90 % da produção máxima ficou em  $63 \text{ kg ha}^{-1}$ , que levaria a um ganho de 32,4 % em comparação com a testemunha. A produção de matéria seca obtida com  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N não diferiu estatisticamente se a fonte foi sulfato de amônio ou nitrato de amônio (Figura 2). A adubação nitrogenada aumentou a quantidade de copa com conseqüente aumento de área foliar, e da captura de energia, como também relatado por Smerthurst et al. (2003). Estes resultados corroboram com os dados relatados por Godinho et al. (1997), referentes à adição de  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  de N a povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* cultivados em solo arenoso de cerrado, onde foi verificado um incremento de 20 % na matéria seca da parte aérea das árvores aos três anos de idade. Pinkard et al. (2006) também

observaram aumento da produção de folhas aos 12 meses após a aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, em área total, em *E. globulus* com três anos de idade.

Apesar do aumento de matéria seca da parte aérea não se detectou variação significativa na matéria seca da serapilheira com o aumento das doses de N aplicado como sulfato de amônio, tampouco diferenças significativas entre o N aplicado na forma de sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio (N.A.) na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Em geral, há estreita relação entre o crescimento florestal e a produção de serapilheira (Miller, 1984; Gonçalves et al.; 1997). Os resultados do presente estudo podem ser justificados pela idade relativamente jovem das árvores, que concorre para um menor descarte de folhas. Segundo Ferreira (1984), a longevidade das folhas em árvores de eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais é de aproximadamente dois anos.

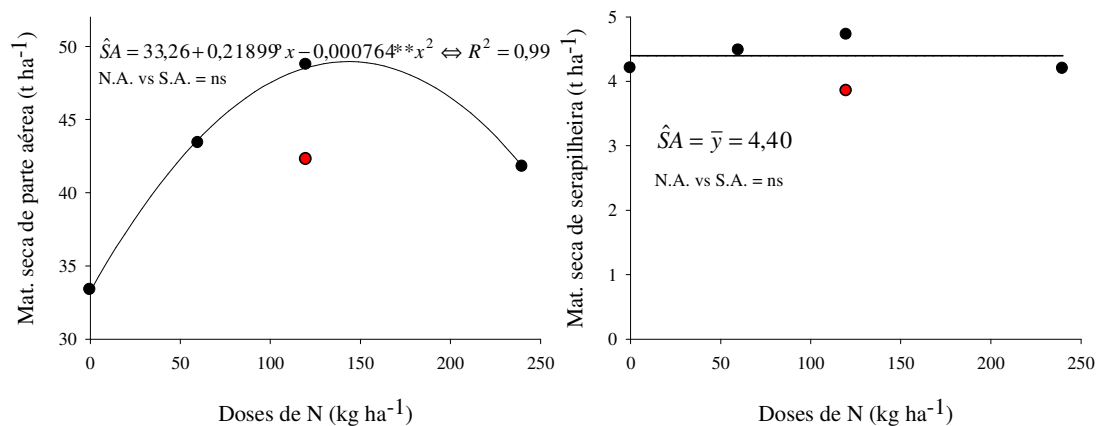


Figura 2. Matéria seca da parte aérea e da serapilheira de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup> de eucalipto aos 30 meses de idade influenciada por doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e por nitrato de amônio (N.A.) na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. °, \*\*, ns: significativo a 10, 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

De modo geral, os teores de macronutrientes e micronutrientes na folha não foram influenciados pelas doses de N aplicado na forma de sulfato de amônio (Quadro 4). Araújo et al. (2003) também não observaram grandes variações nos teores foliares de N com a aplicação de doses crescentes de N. Apenas os teores de N e B estão acima do adequado e os de P, Ca, Mn e Cu são adequados em comparação com aqueles sugeridos por Gonçalves (1995). O contraste entre as duas fontes de N utilizadas na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> também não se mostrou significativo. Isso indica que nenhum nutriente avaliado foi limitante ao crescimento com o aumento das doses de N.

Os conteúdos de macronutrientes na parte aérea, com exceção do P, aumentaram de forma significativa com as doses de N. Essa maior absorção, não apenas de N como também de outros nutrientes de maneira geral, está associada ao maior crescimento das plantas em resposta à adubação nitrogenada. Assim, houve maior absorção dos nutrientes pelas árvores.

A constância nos conteúdos de P com o aumento da produção de matéria seca poderia ser um indicativo de que este nutriente poderia limitar o crescimento. O nutriente mais absorvido pelo eucalipto foi o N, conforme já relatado na literatura (Barros et al., 1990), seguindo a tendência dos vegetais superiores (Marques et al., 2006). Resultados semelhantes foram obtidos por Misra et al. (1998) que, estudando o efeito da adubação de N (600 kg ha<sup>-1</sup>) com o sulfato de amônio e P (300 kg ha<sup>-1</sup>) em *E. nitens*, feita aos 2 e 26 meses, concluíram que a aplicação do fertilizante não influenciou o teor de N nas folhas, mas aumentou a concentração de N e P nos componentes das plantas, comparado com a não fertilização das mesmas. Estes mesmos autores relatam um aumento em crescimento da parte aérea pela segunda aplicação de N devido a incremento maior de matéria seca da parte aérea em relação ao sistema radicular.

Quadro 4. Equações relacionando os teores foliares de macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) e de micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup> de eucalipto, aos 30 meses de idade, com doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e contraste entre sulfato de amônio e nitrato de amônio, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>

Nutriente	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$			
	Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.	Significância
N	$\hat{y} = \bar{y} = 19,964$		20,503	19,063	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,015$		0,985	0,988	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 7,305$		6,923	7,375	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 6,933$		6,775	6,895	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 2,088$		2,002	2,038	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,501$		0,482	0,490	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 8,854$		8,883	9,100	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 131,025$		153,183	119,250	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 454,225$		454,75	408,550	ns
Cu	$\hat{y} = 6,947 - 0,019x + 6,25 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$	0,99	7,133	5,650	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 78,784$		80,368	79,852	ns

° e ns: significativo a 10 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na serapilheira não foram observadas diferenças significativas nos conteúdos de nutrientes com a aplicação de N (Quadro 5). Isso pode ser decorrente da ciclagem bioquímica, principalmente para os nutrientes móveis, ainda que as plantas sejam relativamente jovens. As espécies de eucalipto possuem elevada eficiência nutricional devido à maior capacidade de retranslocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais (Attiwill, 1980; Reis & Barros, 1990). Os conteúdos dos vários nutrientes na serapilheira não foram afetados ( $p>0,05$ ) pelas fontes de N.

Quadro 5. Equações relacionando o conteúdo de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) na parte aérea e na serapilheira de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup> de eucalipto, aos 30 meses de idade, com doses crescentes de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e contraste entre sulfato de amônio e nitrato de amônio(N.A.), na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$

Nutriente	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$R^2$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$		Significância
	Equação		N.A.	S.A.	
Parte aérea					
N	$\hat{y} = 187,297 + 12,431 * x^{0,5} - 0,644x$	0,99	231,268	254,191	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 11,89$		12,138	13,436	ns
K	$\hat{y} = 113,269 + 0,686x - 0,002 * x^2$	1,00	135,315	162,029	ns
Ca	$\hat{y} = 91,593 + 0,490^{\circ}x - 0,001 * x^2$	0,99	114,175	127,429	ns
Mg	$\hat{y} = 23,174 + 1,342^{\circ}x^{0,5} - 0,061x$	0,99	28,955	30,762	ns
S	$\hat{y} = 4,567 + 0,379^{\circ}x^{0,5} - 0,017^{\circ}x$	0,94	6,335	6,389	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 185,339$		174,416	232,486	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 3010,75$		3354,543	2662,814	ns
Mn	$\hat{y} = 6252,447$		6878,207	6497,388	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 117,962$		170,334	116,894	ns
B	$\hat{y} = 1424,408$		1516,912	1471,972	ns
Serapilheira					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 32,565$		26,599	34,41	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,067$		0,968	1,179	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 4,146$		3,064	4,894	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 78,050$		64,084	83,829	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 7,588$		6,13	8,236	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 2,99$		4,927	2,62	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 15,656$		15,022	15,020	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 4944,807$		3509,979	5586,524	ns
Mn	$\hat{y} = 5202,74 + 30,450^{\circ}x$	0,87	9767,014	7175,962	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 46,578$		37,544	48,704	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 458,269$		380,96	538,787	ns

°, \*, ns: significativo a 10, 5 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O conteúdo de nitrogênio no povoamento, mostrou relação positiva com a aplicação de N (Figura 3), podendo ser estimado pela equação  $\hat{y} = 215,796 + 13,5181 \cdot x^{0,5} - 0,6933x$  ( $R^2 = 0,99$ ). Entretanto, o contraste entre as fontes de nitrogênio, na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , não foi significativo, evidenciando que a resposta em produção se deveu ao N. Esse acúmulo de N influenciado pelas doses de sulfato de amônio indica que o N aplicado na forma mineral foi absorvido e assimilado pelas plantas.

A taxa de recuperação aparente do N derivado do fertilizante foi maior na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , chegando a 34 %. (Figura 3). A recuperação decresceu para 21 % na maior dose de N. Já a taxa de recuperação de N aplicado como nitrato de amônio, na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , foi de apenas 23 %. Esses resultados se alinham com os obtidos por Ferreira (1986) que verificaram a interação entre N e S na absorção de N, ou pelo menos, do efeito positivo da presença do S na absorção de N.

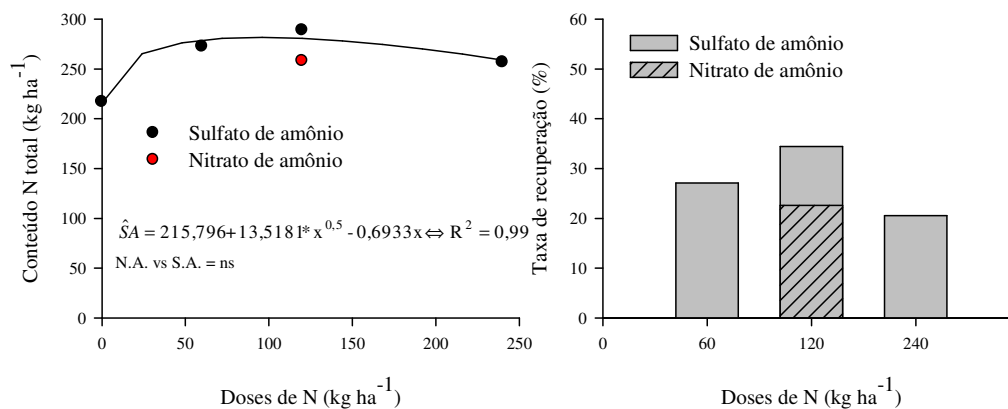


Figura 3. Conteúdo de N na parte aérea + serapilheira e taxa de recuperação do N do fertilizante de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup> de eucalipto, aos 30 meses de idade, influenciados por doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e contraste entre sulfato de amônio e nitrato de amônio, na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ . \*, ns: significativo a 5 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Poucos trabalhos no Brasil foram encontrados sobre a resposta do eucalipto à adubação nitrogenada. Os que foram consultados mostram a inconsistência das respostas e dados contrastantes com relação à taxa de recuperação do N do fertilizante. Por exemplo, Santos (2001) observou taxa de recuperação de até 45,5 %, dependendo

da textura e teor de matéria orgânica do solo. Contudo, não houve consistência entre a resposta e a taxa de recuperação de N. Já Godinho (1997) observou taxa de recuperação de apenas 12,6 % em Neossolo Quartzarênico, mas um ganho de crescimento do eucalipto de 20 %.

O conteúdo de C e N da matéria orgânica do solo (MOS) nas diferentes profundidades não foi influenciado pelas doses de N aplicadas como sulfato de amônio (Quadro 7). Da mesma forma, de maneira geral, tanto nos teores quanto em conteúdo não houve diferenças significativas na fração da matéria orgânica associada à fração mineral (MOAM) com o fornecimento de sulfato de amônio nas diferentes profundidades (Quadros 6 e 7).

Quadro 6. Equações relacionando os teores de N e C ( $\text{g kg}^{-1}$  da fração) na fração da matéria orgânica particulada (MOP) e na fração da matéria orgânica associada à fração mineral do solo (MOAM) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, com doses crescentes de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio, na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  em profundidades distintas

Caract. $\text{g kg}^{-1}$	Elem.	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$		$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$		
		Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.	Significância
0 - 10 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 8,22$		8,86	8,21	*
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 62,30$		83,11	58,31	*
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,68$		7,76	7,83	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 28,96$		31,82	30,00	ns
10 - 20 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,77$		7,8	7,58	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 38,09$		38,55	32,82	ns
MOAM	N	$\hat{y} = 7,391 + 0,002^{\circ}x$	0,87	7,78	7,46	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 25,92$		27,11	25,70	ns
20 - 40 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,50$		7,9	7,56	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 23,25$		33,05	24,16	ns
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,51$		7,57	7,66	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 21,62$		22,28	21,38	ns
40 - 60 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,54$		7,48	7,47	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 19,61$		32,57	17,26	ns
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,46$		7,46	7,55	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 18,56$		20,38	18,13	ns

<sup>°</sup>, ns: significativo a 10 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Quadro 7. Equações relacionando o conteúdo de N e C ( $\text{g kg}^{-1}$  de solo) da fração da matéria orgânica particulada (MOP) e da fração da matéria orgânica associada à fração mineral do solo (MOAM) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, com doses crescentes de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio, na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  em profundidades distintas

Conteúdo		$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$			
Y	Elem.	Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.	Significância
0 - 10 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 0,82$		0,88	0,77	*
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 6,16$		8,25	5,45	**
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 6,91$		6,99	7,09	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 26,10$		28,66	27,18	ns
MOS	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,73$		7,86	7,86	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 32,25$		36,9	32,63	ns
10 - 20 cm						
MOP	N	$\hat{y} = 0,721 - 0,001x + 5,14 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$	0,98	0,73	0,64	*
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 3,31$		3,58	2,74	ns
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 6,91$		7,05	6,83	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 23,64$		24,58	23,55	ns
MOS	N	$\hat{y} = 7,417 + 0,002^{\circ}x$	0,86	7,78	7,47	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 26,95$		28,15	26,28	ns
20 - 40 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 0,61$		0,64	0,61	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 1,87$		2,65	1,94	ns
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 6,89$		6,95	7,04	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 19,85$		20,47	19,65	ns
MOS	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,50$		7,59	7,65	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 21,72$		23,13	21,58	ns
40 - 60 cm						
MOP	N	$\hat{y} = \bar{y} = 0,60$		0,58	0,58	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 1,46$		2,53	1,28	ns
MOAM	N	$\hat{y} = \bar{y} = 6,87$		6,88	6,95	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 17,06$		18,8	16,72	ns
MOS	N	$\hat{y} = \bar{y} = 7,47$		7,46	7,54	ns
	C	$\hat{y} = \bar{y} = 18,52$		21,33	18,00	ns

°, \*, \*\*, ns: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Gama-Rodrigues (1997), trabalhando no Sul da Bahia, não encontrou diferença significativa nos teores de C orgânico e N total de solos sob diferentes coberturas florestais. No entanto, grandes diferenças não eram esperadas nesse compartimento, menos dinâmico, com as mudanças ocorridas no manejo (Six et al., 2002), especialmente neste estudo, tendo em vista o tempo relativamente curto entre a aplicação dos tratamentos e as avaliações realizadas.

Em relação à fração matéria orgânica particulada (MOP), não foram observadas variações significativas com a adição de N na forma de sulfato de amônio (Quadros 6 e 7), com exceção do conteúdo de N na profundidade de 10 a 20 cm. Alguns estudos sugerem que a fração da matéria orgânica particulada responde às mudanças de uso da terra e no manejo do solo de forma seletiva e rápida (Cambardella & Elliott, 1994; Chan, 1997; Guggenberger & Zech, 1999; Lehmann et al., 2001; Franzluebbbers & Stuedemann, 2002) sendo, assim, tido como um indicador sensível das mudanças ocorridas na matéria orgânica do solo. No entanto, não foram detectadas alterações nos teores de C e N da MOP devido à adubação com sulfato de amônio (Quadro 6). O local da aplicação do adubo e a forma de amostragem podem ter influenciado neste resultado, pois a MOP é um compartimento dinâmico, com C relativamente desprotegido e decorrente das recentes adições de resíduos de plantas (Lehmann et al., 2001), com tempo de ciclagem da ordem de meses ou poucos anos (Balesdent, 1996). No entanto, parte da MOP pode ser fisicamente estabilizada dentro de agregados (Cambardella & Elliott, 1994), e parte pode consistir do C biologicamente estável (Skjemstad et al., 1990).

O contraste entre as fontes de N aplicadas na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> foi significativo para os teores e conteúdo de C e N na fração da matéria orgânica particulada na profundidade de 0 a 10 cm e para o conteúdo de N na camada de 10 a 20 cm de profundidade, sendo os maiores valores observados para o nitrato de amônio (Quadros 6 e 7). Uma explicação para o ocorrido é que, como houve uma tendência de menor acúmulo de N nos componentes das plantas quando aplicou-se N na forma de nitrato de amônio, maior quantidade de N vinda deste fertilizante foi incorporada na matéria orgânica, mais especificamente, na MOP, contribuindo para aumentar o C desta fração. Isso mostra a importância da adubação nitrogenada, não apenas diretamente no aumento de produção, mas também, na manutenção da produção por vários ciclos, pelo efeito do nitrogênio na estabilização das frações mais humificadas da matéria orgânica (Stevenson, 1994).

## 5. Conclusões

- A adubação nitrogenada promoveu aumento de produção e do conteúdo de N das árvores de eucalipto.
- A adubação nitrogenada tendo como fonte sulfato de amônio não alterou os teores de C e N nas frações da matéria orgânica particulada e a associada à fração mineral do solo.
- A taxa de recuperação aparente de N do fertilizante aplicado foi proporcional ao crescimento do eucalipto, atingindo ao máximo de 34,4 %.

## **Capítulo 2 – Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto influenciadas pela aplicação de N e S em amostras de solos com diferentes teores de matéria orgânica**

### **RESUMO**

A demanda por produtos florestais têm crescido substancialmente nas últimas décadas. Para suprir esta demanda, espécies de *Eucalyptus* spp. têm sido amplamente plantadas em vários países por serem adaptadas à diferentes condições de solo e clima e por serem de ciclo curto comparado às demais espécies florestais. No entanto, o crescimento de florestas naturais e plantadas depende de adequado suprimento de nitrogênio. Vários autores têm atribuído a baixa resposta da adubação nitrogenada ao suprimento suficiente de nitrogênio via mineralização da matéria orgânica do solo (MOS). No entanto, respostas contrastantes do eucalipto à aplicação de N foram observadas no Vale do Jequitinhonha. Inicialmente, a resposta ao sulfato de amônio foi atribuída ao enxofre, fato suportado pela maior resposta do eucalipto ao superfosfato simples em comparação com o superfostato triplo. Porém, no mesmo local, com a aplicação de N na forma amoniacal e na forma nítrica a resposta foi semelhante. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada no crescimento, composição mineral e recuperação de N por mudas de eucalipto em solos com teores distintos de matéria orgânica. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, com os tratamentos em esquema fatorial 2 x 4 x 4, correspondendo a: dois tipos de solo (um com maior e outro com menor teor de matéria orgânica); quatro doses de N e quatro doses de S, em delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições. Para adição de N utilizou-se  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  com 60 % em átomos de  $^{15}\text{N}$ . O solo de cada tratamento foi depositado em recipiente de 3,6 L de capacidade, onde foram plantadas duas mudas de clone de eucalipto, com 45 dias de idade. Realizaram-se quatro coletas de folhas por vaso em tempos distintos, submetendo-as à análise de espectrometria de massa de razão isotópica de fluxo contínuo para obtenção da porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso e, posteriormente, cálculo da contribuição do fertilizante aplicado para o N acumulado na planta ao longo do tempo. Ao final do período experimental (80 dias) determinaram-se a altura e diâmetro de coleto das plantas, a matéria seca e o teor de nutrientes das plantas. As análises estatísticas consistiram de análise de variância e de regressão. A aplicação de N promoveu incrementos no crescimento, principalmente no

solo com menor teor de matéria orgânica. A absorção de Ca, Mg e S é favorecida com o aumento das doses de N. A contribuição do N derivado do fertilizante chegou a 30 % três semanas após aplicação, sendo maior no solo com menor teor de matéria orgânica, mas decresceu ao longo do tempo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*,  $^{15}\text{N}$ , fertilização, crescimento, recuperação, matéria orgânica, enxofre.

## 1. Introdução

Espécies de *Eucalyptus* spp. têm sido amplamente plantadas em vários países por serem adaptadas às diferentes condições de solo e clima e por serem de ciclo curto comparado a muitas espécies florestais. No entanto, o crescimento de florestas naturais e plantadas depende de adequado suprimento de nitrogênio (O'Connell & Rance, 1999). Em sistemas naturais, e na maioria das florestas plantadas, grande parte do N disponível para o crescimento de plantas é derivada da decomposição da matéria orgânica, por meio de reações bioquímicas mediadas pela comunidade microbiana do solo (O'Connell & Rance, 1999). Em sistemas florestais manejados, o conhecimento da taxa de suprimento de N em relação ao requerimento de N pelas plantas é crucial para o manejo da aplicação deste nutriente e para a manutenção do máximo crescimento ao longo das rotações.

Segundo Cantarella (2007), a entrada de N por fertilização mineral ou orgânica em ecossistemas agrícolas e, ou, florestais estimula a mineralização do N orgânico do solo. Esse efeito é conhecido como efeito do N adicionado, ou efeito “priming”. O aporte de nutriente, por meio da fertilização mineral, ou de energia por meio da adubação orgânica, estimula a microbiota do solo a utilizar a matéria orgânica nativa do solo, acelerando o processo de decomposição da mesma. Desse modo, o N mineral produzido pode exceder aquele que seria liberado sem a adição desses insumos, aumentando a disponibilidade de N do solo para as plantas.

A adubação nitrogenada em cultivos florestais pode acelerar a decomposição das frações leves da matéria orgânica (Neff et al., 2002). Em contrapartida, esses mesmos autores constataram que a adubação nitrogenada auxiliou na estabilização das frações de C mais pesadas associadas à fração mineral, contribuindo para a síntese das substâncias húmicas, as quais são compostos recalcitrantes e mais estáveis nos solos.

O ciclo do N no sistema solo-plantas é complexo e está ligado ao ciclo global de N na natureza (Cantarella, 2007). Um grande reservatório de N no planeta é a atmosfera, onde este elemento constitui, aproximadamente, 78 % dos gases atmosféricos (Schimel & Holland, 2005). No entanto, há escassez desse nutriente em formas disponíveis para as plantas devido à alta estabilidade do N<sub>2</sub> que, praticamente, não é passível de reações químicas em condições naturais (Souza & Fernandes, 2006).

Por isso, o ciclo do N no solo assume grande importância no suprimento deste nutriente para as plantas.

O N pode entrar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas (chuva, óxidos de N produzidos por descargas elétricas), por fixação biológica de N<sub>2</sub>, e por adubações orgânicas ou fertilização (Cantarella, 2007). Já as perdas, são decorrentes da extração por colheitas, lixiviação e perdas gasosas (Schulten & Schnitzer, 1998).

As frações inorgânicas de N do solo são compostas, principalmente, por NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, as duas formas de nitrogênio que as plantas absorvem preferencialmente. Mas, em solos de florestas tropicais, que geralmente são ácidos e de baixa fertilidade, a forma predominante é a amoniacal (Gama-Rodrigues et al., 2005) em razão da redução da atividade das bactérias nitrificantes pelo pH (Theobald & Smith, 1974; Mengel & Kirkby, 1978). Além disso, muitas espécies de eucalipto são mais eficientes na absorção da forma amoniacal devido a sua adaptação a solos ácidos (Moore & Keraitis, 1971; Vale et al., 1984). No entanto, a maior parte do N do solo, aproximadamente 95 %, encontra-se na forma orgânica, momentaneamente indisponível para as plantas e em diferentes moléculas com graus de recalcitrância distintos, fazendo parte da matéria orgânica do solo, da qual, somente uma pequena proporção, cerca de 5 %, é mineralizada pelos microrganismos do solo anualmente (Camargo et al., 1999). Algumas frações de N têm meia vida de dias, enquanto outras de séculos (Cantarella, 2007). Assim, a limitação da produtividade da maioria das culturas, não é, geralmente, causada pelas baixas quantidades de N, mas sim por taxas lentas de conversão de N de compostos orgânicos para formas que as plantas consigam absorver (Näsholm & Persson, 2001).

Estudos mais aprofundados para o entendimento do efeito da adubação nitrogenada na dinâmica do N no sistema solo-planta se fazem necessários. Uma dificuldade desses estudos é identificar a origem do N absorvido pelas plantas. A técnica do traçador isotópico, com o uso do isótopo estável <sup>15</sup>N, pode trazer informações importantes para entender a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta.

A quantificação da recuperação de N de um fertilizante, pela planta, das perdas por lixiviação e volatilização no solo e da imobilização do N pelos microrganismos pode ser realizada utilizando-se uma fonte marcada com <sup>15</sup>N. É possível estimar, dessa

maneira, a porcentagem do N proveniente da fertilização (Choi et al., 2003). No entanto, a técnica de isótopos estáveis, com enriquecimento de  $^{15}\text{N}$ , idealmente, requer que todo N marcado seja distribuído uniformemente por toda a zona radicular, e que, preferencialmente, assim, permaneça durante todo o período do estudo. Isso, porém, é extremamente difícil com culturas perenes em condições de campo (Parrotta et al., 1994; Sanginga et al. 1995). Ademais, o custo das fontes com  $^{15}\text{N}$  e de sua análise limitam o uso desta técnica, especialmente quando muitas repetições ou experimentos em grande escala são requeridos (Robinson, 2001). Adicionalmente, plantas no estágio inicial de crescimento mostram, mais facilmente, diferenças do  $^{15}\text{N}$  que plantas em estágios subsequentes (Choi et al., 2002).

Assim, a falta de consenso sobre o efeito da adubação nitrogenada no crescimento e desenvolvimento das plantas de eucalipto, nas transformações da matéria orgânica e a falta de estudos no setor florestal sobre o uso de  $^{15}\text{N}$ , fica clara a necessidade de obtenção de conhecimentos mais aprofundados sobre os mecanismos envolvidos nesses processos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada e sulfatada no crescimento, composição química e recuperação de N por mudas de eucalipto em solos com teores distintos de matéria orgânica.



## 2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e os tratamentos consistiram de um esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo: dois materiais de solo com teores distintos de MOS (Solo 1 com teor de 56 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica e Solo 2 com 28 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica coletados nos horizontes A e Bw, respectivamente, de um Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso fase cerrado, na região de Itamarandiba-MG); quatro doses de N (0, 25, 50 e 100 mg dm<sup>-3</sup> de N) e quatro doses de S (0, 7,5; 15, 30 mg dm<sup>-3</sup> de S), com três repetições. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso. A adubação nitrogenada foi realizada com <sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>15</sup>NO<sub>3</sub>, com 60 % em átomos de <sup>15</sup>N, e a de enxofre com Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ambos em única aplicação.

O solo (2,5 dm<sup>3</sup>) de cada tratamento foi depositado em recipiente de 3,6 L que constituiu a unidade experimental. Para a fertilização básica foram adicionados em cada vaso via solução 400 mg dm<sup>-3</sup> de P; 200 mg dm<sup>-3</sup> de K; 2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 0,63 mg dm<sup>-3</sup> de B; 1,0 mg dm<sup>-3</sup> de Cu; 2,75 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, 0,12 mg dm<sup>-3</sup> de Mo e 3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn, procedendo-se a homogeneização. Elevou-se a umidade do solo para 80 % do equivalente de umidade e plantaram-se duas mudas de eucalipto do clone 1787<sup>®</sup> da Empresa CENIBRA S.A. (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) com 45 dias de idade, por recipiente, totalizando 96 unidades experimentais. Os fertilizantes foram diluídos em água, separadamente, e aplicados ao solo duas semanas após o plantio das mudas.

Realizaram-se quatro coletas de folhas por vaso, aos 7, 28, 49 e 62 dias após a fertilização de N, visando avaliar a contribuição do <sup>15</sup>N derivado do fertilizante ao longo do tempo. Para isso, em cada época de amostragem, retiraram-se duas folhas maduras por vaso. Essas folhas foram secas em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C, por 72 h, e, então, foram moídas em moinho de bola para obtenção de material com tamanho de partícula menor que 100 mesh. Posteriormente, procedeu-se à determinação do N total e a porcentagem em excesso de átomos de <sup>15</sup>N, por espectrometria de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GSL, 20-20, Sercon, Crewe, UK). A contribuição do N do fertilizante foi calculada conforme equação usada por Moran et al. (2005):

$$\%^{15}N = \left( \frac{{}^{15}N_{trat} - {}^{15}N_{contr}}{{}^{15}N_{fert} - {}^{15}N_{contr}} \right) \times 100$$

Em que:

${}^{15}N_{trat}$  é a  $\%$   ${}^{15}N$  do tratamento;

${}^{15}N_{contr}$  é a  $\%$   ${}^{15}N$  da testemunha;

${}^{15}N_{fert}$  é a  $\%$   ${}^{15}N$  do fertilizante (60 % em excesso em átomos de  ${}^{15}N$ )

Ao final do período experimental (80 dias pós transplântio), amostras de solo foram coletadas, secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 2 mm de malha e homogeneizadas, retirando-se possíveis fragmentos de plantas e, posteriormente, submetidas às análises químicas.

Nas amostras de solo foram determinados o pH em água, na relação solo:solução de 1:2,5; Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl a 1 mol L<sup>-1</sup>, na relação solo:extrator de 1:10 v/v; P e K extraídos pelo Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), na relação 1:10 v/v, de acordo com o método proposto por Defelipo & Ribeiro (1997). Nos extratos, os teores de P, após a formação do complexo fosfomolibdico e a sua redução por ácido ascórbico, foram dosados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974). Os teores de K foram dosados por fotometria de chama (AOAC, 1975) e os de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). Os teores de sulfato do solo, após agitação por 45 min na relação solo:extrator de 1:2,5 v/v, foram dosados segundo método descrito por Alvarez V. et al. (2001). A análise textural seguiu metodologia proposta por Ruiz (2005).

Ao final do experimento (80 dias pós transplântio), as plantas de cada vaso foram avaliadas quanto à altura e diâmetro de coleto. Em seguida, as plantas foram cortadas e divididas em raiz, caule e folhas. Cada componente (folha, caule e raiz) das plantas dos respectivos tratamentos foram colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h. Em seguida, cada componente da planta foi moído, separadamente, em moinho tipo Wiley com peneira de 1 mm e, assim, determinou-se o teor dos nutrientes das plantas, conforme métodos de dosagem já descritos, após

mineralização pela mistura nítrico-perclórica na proporção 4:1 v/v. Dessa forma, foi possível calcular o conteúdo de nutrientes na planta.

### **3. Análises estatísticas**

Os dados referentes às características de crescimento (altura e diâmetro do coleto), produção de matéria seca, teor e conteúdo de nutrientes foram submetidos à análise de variância. Os efeitos dos tratamentos foram comparados por meio de regressão, sendo os coeficientes das equações tratados com base no quadrado médio do resíduo das análises de variância até o nível de 10 % de probabilidade. Utilizou-se para o processamento dos dados o programa estatístico SAEG versão 9.1 (Funarbe, 2007).

#### 4. Resultados e Discussão

A produção de matéria seca total foi influenciada positivamente pelas doses de nitrogênio em ambos os solos (Figura 1). A relação linear entre dose e produção indica que a maior dose aplicada, ou seja, 100 mg dm<sup>-3</sup> de N, ainda foi baixa para o solo 1. Esta resposta mostra que o N mineral e o liberado pela mineralização da matéria orgânica não foram suficientes para atender a demanda das plantas de eucalipto, especialmente no solo 2, em que a não aplicação do fertilizante resultou na produção de 6,13 g de matéria seca por vaso. Já o solo 1 dispunha de maior teor de N mineral e no tratamento testemunha a produção foi de 24,80 g vaso<sup>-1</sup> de matéria seca; portanto, quatro vezes maior do que no solo 2. Shedley et al. (1995), avaliando a resposta do crescimento da parte aérea em mudas de *E. globulus* pela adubação nitrogenada, também verificaram incremento linear com as doses de N.

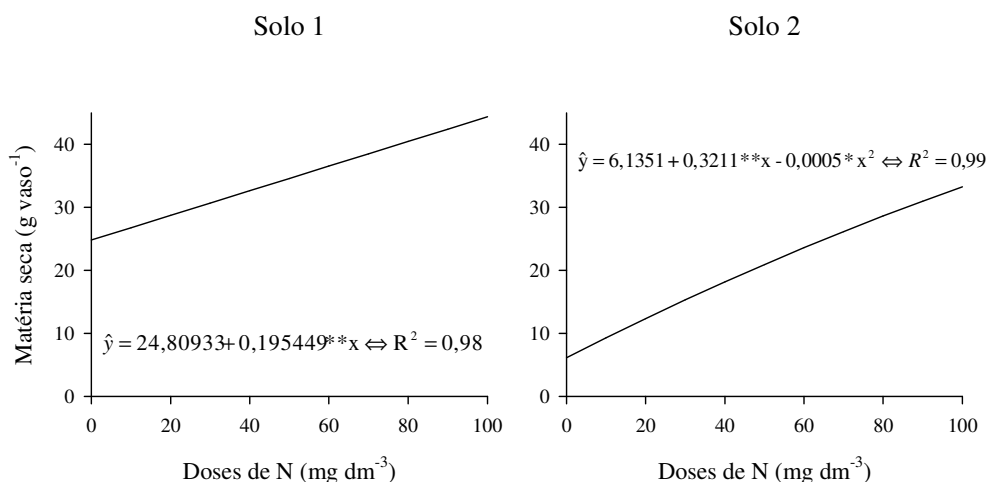


Figura 1. Matéria seca de mudas de eucalipto (clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A.), em dois solos com teores distintos de matéria orgânica, influenciada pela adição de doses de N, 80 dias após transplântio. \*, \*\*: significativo a 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No solo 1, na maior dose de N foram produzidos 44,35 g vaso<sup>-1</sup> de matéria seca, o que representou um ganho de 78 % em relação à testemunha. Para o solo 2, na dose de máximo, a produção de matéria seca atingiu a 33,25 g vaso<sup>-1</sup> representando um ganho de 442 % em relação à testemunha, o que indica a maior pobreza deste solo em nitrogênio mineral e menor mineralização de sua matéria orgânica durante o

período do estudo. No entanto, em valores absolutos, o solo 1 proporcionou maior crescimento das plantas, mesmo sem a adição do N via fertilizante. Esta menor resposta ao nitrogênio via fertilizante no solo 1 evidencia o maior suprimento de N para as plantas pela matéria orgânica do solo.

As doses de S não influenciaram ( $p>0,05$ ) o crescimento inicial do eucalipto, obtendo-se 24,49 e 6,43 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente para o solo 1 e 2, no tratamento testemunha (N = 0 e S = 0) e a produção média de 24,89 e 6,19 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente para os solos 1 e 2, quando se aplicou S. Em trabalho efetuado com 14 solos do Estado de Minas Gerais para testar o efeito das doses crescentes de enxofre (0 a 40 mg kg<sup>-1</sup> de S) sobre o crescimento de mudas de *E. grandis*, respostas positivas foram observadas em 13 de 14 solos ao final de 90 dias (Alvarez V. et al., 1983). Interessante ressaltar que o único solo que não apresentou resposta positiva ao S, inclusive com resposta negativa, foi o solo de Itamarandiba – MG, ou seja, a mesma região de onde foram coletados os solos deste trabalho. Segundo o mesmo trabalho, a ausência de resposta foi porque o teor de S no solo era superior ao nível crítico determinado (3,2 mg dm<sup>-3</sup>). No entanto, segundo Alvarez V. et al. (1976), quando grandes quantidades de N e, ou, P são empregadas na adubação tem sido observada deficiência ou restrição de crescimento devido ao enxofre. Assim, neste estudo, a não resposta do eucalipto à adubação sulfatada pode ser atribuída às baixas doses testadas, tendo em vista a deficiência generalizada de S das mudas ( $\bar{y} = 0,59$  g kg<sup>-1</sup> de S nas folhas).

Ferreira (1986) estudou a influência da aplicação conjunta ou em separado de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sobre o crescimento inicial de mudas de *E. grandis* e sobre a cinética de absorção de N, em um sistema de vasos com raízes subdivididas. O mesmo autor observou que o crescimento das plantas foi maior e o Km menor quando os três ânions estavam juntos. O isolamento de qualquer um destes ânions proporcionou menor crescimento da parte aérea e fez com que o valor de Km do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se elevasse. Os resultados obtidos pelo autor indicaram ter havido interação N x S. No entanto, esta interação, promovendo maior crescimento, não foi observada no estudo ora apresentado.

O fertilizante nitrogenado aplicado contribuiu de maneira significativa para aumentar o teor de N nas folhas (Figura 2). O aumento do teor foi mais acentuado

quando as plantas eram mais jovens e reduziu com o tempo, caracterizando uma relação quadrática. A maior taxa de recuperação do N do fertilizante pelas plantas foi obtida na maior dose ( $100 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para ambos os solos, o que corrobora o fato de as doses testadas terem sido insuficientes para que o crescimento máximo fosse atingido. A contribuição do fertilizante para o teor foliar de N decresceu à medida que as mudas ficaram mais velhas, em ambos os solos (Figura 2). Isto poderia ser decorrente da retranslocação interna de N nas mudas e/ou pela imobilização de N no solo, indicando, neste caso, diminuição da disponibilidade de N.

Uma grande vantagem da utilização do método do traçador isotópico é a quantificação direta do aproveitamento pelas culturas do nutriente aplicado ao solo (Boareto et al., 2004) conforme obtida no presente estudo. Vários trabalhos utilizando esta técnica são relatados na literatura brasileira. No entanto, trabalhos avaliando a taxa de recuperação do  $^{15}\text{N}$  do fertilizante pelo eucalipto não foram encontrados. Assim, não foi possível comparar este valor com os da recuperação aparente, pois, esta última, pode superestimar a contribuição do N vinda do fertilizante, visto que, a mesma, não considera as reações de imobilização e mineralização do nitrogênio que ocorrem no solo, bem como, o efeito de maior desenvolvimento do sistema radicular da cultura, explorando maior volume de solo nos tratamentos com adição de N-mineral (Jansson e Persson, 1982).

Considerando as doses de nitrogênio e de enxofre que proporcionaram a maior massa vegetal, ou seja,  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de N e 0 de S (sem influência significativa), verifica-se que a curva da taxa de recuperação de N do fertilizante segue uma tendência sigmoideal (Figura 3). No solo 2 (menor teor de matéria orgânica) a contribuição inicial do fertilizante para o N da planta foi maior que no solo 1 (maior teor de matéria orgânica) atingindo valores de até 30 % (Figura 3). Este resultado é coerente com a maior resposta em crescimento das mudas apresentada no solo 2 com a adubação nitrogenada. Após a quarta semana da aplicação dos tratamentos, 42 dias pós transplântio, verifica-se que, a contribuição do N do fertilizante se equivale para ambos os solos, apresentando decréscimo até próximo dos 55 dias após aplicação dos tratamentos. Neste período pode ter ocorrido imobilização de N, mas, já no final do experimento, os valores tendem a aumentar novamente, possivelmente pela mineralização do N.

Deve ser salientado que 70 % do N aplicado via fertilizante não foram aproveitados pelas plantas, sendo, alguma parte, incorporado às frações da matéria orgânica. Esta possibilidade pode ser suportada pelos resultados obtidos por Abe et al. (2007) que, estudando o efeito do N nas frações da matéria orgânica, após 730 dias de incubação, encontraram 24,7 % do  $^{15}\text{N}$  aplicado via fertilizante na fração orgânica no solo. Esses mesmos autores salientaram que 33,8 % já se encontravam na fração humina do solo duas semanas após incubação. Bird et al. (2003) verificaram que 80 a 95 % do C do resíduo de palha de arroz, enriquecidos com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ , ao final de 161 dias *in situ*, encontravam-se em substâncias microbianas e húmicas. Assim, mesmo que a adubação nitrogenada não tivesse influenciado o crescimento de plantas de eucalipto, em curto prazo, ela seria necessária para a sustentabilidade do crescimento, podendo, em algum momento posterior, o N ser absorvido e assimilado pelas plantas. Neste sentido, Warren & Adams (2007), por meio da técnica do traçador isotópico, avaliaram a absorção de nitrato, amônio e do aminoácido glicina em *Eucalyptus obliqua*, e encontraram que as taxas de absorção foram maiores para  $^{15}\text{N-NH}_4^+$ . Esses mesmos autores observaram que o aminoácido  $2\text{-}^{13}\text{C}_2\text{-}^{15}\text{N}$ - glicina foi o segundo mais absorvido, e, por último, com valores 10 vezes menores do que os de amônio, o  $^{15}\text{N-NO}_3^-$ . Estes resultados indicam que as plantas podem absorver uma quantidade considerável de N de compostos orgânicos, reforçando a importância da matéria orgânica na sustentabilidade do crescimento de plantas.

No campo, a ausência ou pequena resposta do eucalipto à adubação nitrogenada poderia ser atribuída à maior quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do solo (Gama-Rodrigues, 1997). Segundo a mesma autora, para o eucalipto produzir  $62 \text{ t ha}^{-1}$  seriam necessários  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. As estimativas feitas por Gama-Rodrigues (1997) indicam que ao final da rotação a maior parte da demanda de N pelo eucalipto pode ser satisfeita pela ciclagem do nutriente e o balanço seria negativo somente na fase de crescimento entre o segundo e o quarto ano pós-plantio.

Num amplo estudo conduzido em vários sítios florestais no estado de São Paulo, Gonçalves et al. (1999) verificaram que a mineralização de N do solo *in situ* chegaria, em média, a  $44 \text{ kg ha ano}^{-1}$ . Mantida esta média ao longo de sete anos, praticamente toda a demanda de N para a produtividade de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  seria satisfeita pela mineralização. Vogel et al. (2005), estudando os efeitos de diferentes doses de N, P e K no crescimento inicial de plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de

idade, observaram que as aplicações de até 150 kg ha<sup>-1</sup> de N não promoveram aumento significativo no volume cilíndrico de madeira. Estes mesmos autores sugerem que a ausência de resposta das plantas ao nitrogênio foi devida, possivelmente, aos altos teores de matéria orgânica (34 g kg<sup>-1</sup>), que, por meio da mineralização de nutrientes, supriria a demanda de N das plantas. Noble & Herbert (1991), avaliando a influência do teor da matéria orgânica na resposta de *Eucalyptus grandis* à adubação nitrogenada, mostraram que existe relação inversa entre o teor de matéria orgânica do solo e a resposta à aplicação de nitrogênio em plantios florestais. Segundo Gonçalves (1995), em solos com teores de matéria orgânica acima de 40 g kg<sup>-1</sup>, para *Pinus*, não se recomenda a aplicação de N. Para valores acima de 40 g kg<sup>-1</sup>, a dose de nitrogênio recomendada para plantios de eucalipto é de apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> (Gonçalves, 1995).

Os teores foliares de macronutrientes foram influenciados pelas doses de N e S em ambos os solos (Quadro 1).

Quadro 1. Equações que relacionam os teores foliares (g kg<sup>-1</sup>) de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre com doses de N(x) e S(z) em dois solos com teores distintos de matéria orgânica

Nutriente	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
P	1	$\hat{y} = 1,2711 - 0,0021^{\circ}x$	0,33
	2	$\hat{y} = 2,0173 - 0,0240^{**}x + 0,0002^{**}x^2 + 0,0066^{\circ}z$	0,77
K	1	$\hat{y} = \bar{y} = 8,064$	
	2	$\hat{y} = 12,8883 - 0,1092^{**}x + 0,0006^{**}x^2 - 0,0852 z + 0,0028^{*} z^2$	0,91
Ca	1	$\hat{y} = 2,7729 + 0,02122^{**}x - 0,0001^{*}x^2$	0,83
	2	$\hat{y} = 3,3033 - 0,0232^{**}x + 0,0003^{**}x^2 - 0,0114^{*} z$	0,73
Mg	1	$\hat{y} = 2,0354 + 0,0084^{**}x - 4,9695 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0037^{\circ} z$	0,64
	2	$\hat{y} = 1,8998 - 0,006^{**}x + 8,98 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0205^{\circ} z + 0,0005^{*} z^2$	0,85
S	1	$\hat{y} = 0,5648 + 0,0028^{**}x - 1,6805 \cdot 10^{-5} x^2$	0,56
	2	$\hat{y} = 0,5172 - 0,0014^{**}x + 3,26 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0003 z + 0,0001 z^2 - 8,4 \cdot 10^{-5} xz$	0,83

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de 58 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; (2) – LVA textura muito argilosa com teor de 26 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. °, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para P e K, houve decréscimo nos teores com o aumento das doses, provavelmente, por efeito de diluição, o que poderia indicar baixa disponibilidade ou absorção insuficiente destes dois nutrientes. Já para Ca, Mg e, principalmente S, observou-se resposta positiva ao N aplicado. Este resultado para S reforça aqueles encontrados por Ferreira (1986) sobre a interação N e S. Esse mesmo autor, além da redução no crescimento quando se isolou o suprimento de N do S, observou sérios



distúrbios no metabolismo, tais como clorose foliar intensa e alterações na forma de armazenamento de N nas folhas. Neste trabalho, de maneira geral, para ambos os solos, os teores foliares de macronutrientes se encontravam abaixo dos adequados, segundo Gonçalves (1995).

Os conteúdos de macronutrientes nas plantas aumentaram de forma significativa com as doses de N (Quadro 2). Essa maior absorção dos nutrientes decorre do crescimento das plantas. Assim, teria havido maior absorção dos nutrientes apenas para manter os seus teores em níveis satisfatórios na planta. Isso pode ser constatado pela redução dos nutrientes disponíveis ou trocáveis no solo com o aumento das doses de N (Quadro 3). No entanto, como os teores foliares de Ca, de Mg e de S foram maiores com o aumento das doses de N, pode-se dizer que a aplicação de N favoreceu a absorção dos mesmos. Como a fonte de N utilizada foi nitrato de amônio verifica-se uma redução de pH em ambos os solos com o aumento das doses de N, fato que pode ser atribuído ao ion  $\text{NH}_4^+$ , por sua absorção (Marschner, 1995) ou oxidação (Cantarella, 2007).

Quadro 2. Equações que relacionam o conteúdo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas plantas com doses de N(x) e S(z) em dois solos com teores distintos de matéria orgânica

Nutriente	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
P	1	$\hat{y} = 35,8011 + 0,2167^{**}x - 0,001^{\circ}x^2$	0,69
	2	$\hat{y} = 15,0910 + 0,3340^{**}x$	0,97
K	1	$\hat{y} = 176,7489 + 1,3954^{**}x$	0,93
	2	$\hat{y} = 60,2504 + 2,2751^{**}x - 0,0052^{*}x^2$	0,99
Ca	1	$\hat{y} = 89,9085 + 0,9357^{**}x - 0,4281z + 0,0079^{\circ}xz$	0,97
	2	$\hat{y} = 19,3690 + 1,2536^{**}x + 0,2315z - 0,0094^{*}xz$	0,98
Mg	1	$\hat{y} = 44,6212 + 0,4108^{**}x$	0,96
	2	$\hat{y} = 10,0048 + 0,4566^{**}x$	0,98
S	1	$\hat{y} = 13,4120 + 0,0860^{**}x - 0,0835z + 0,0040^{*}xz$	0,88
	2	$\hat{y} = 4,0122 + 0,1306^{**}x$	0,87

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de  $58 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica; (2) – LVA textura muito argilosa com teor de  $26 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica. °, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

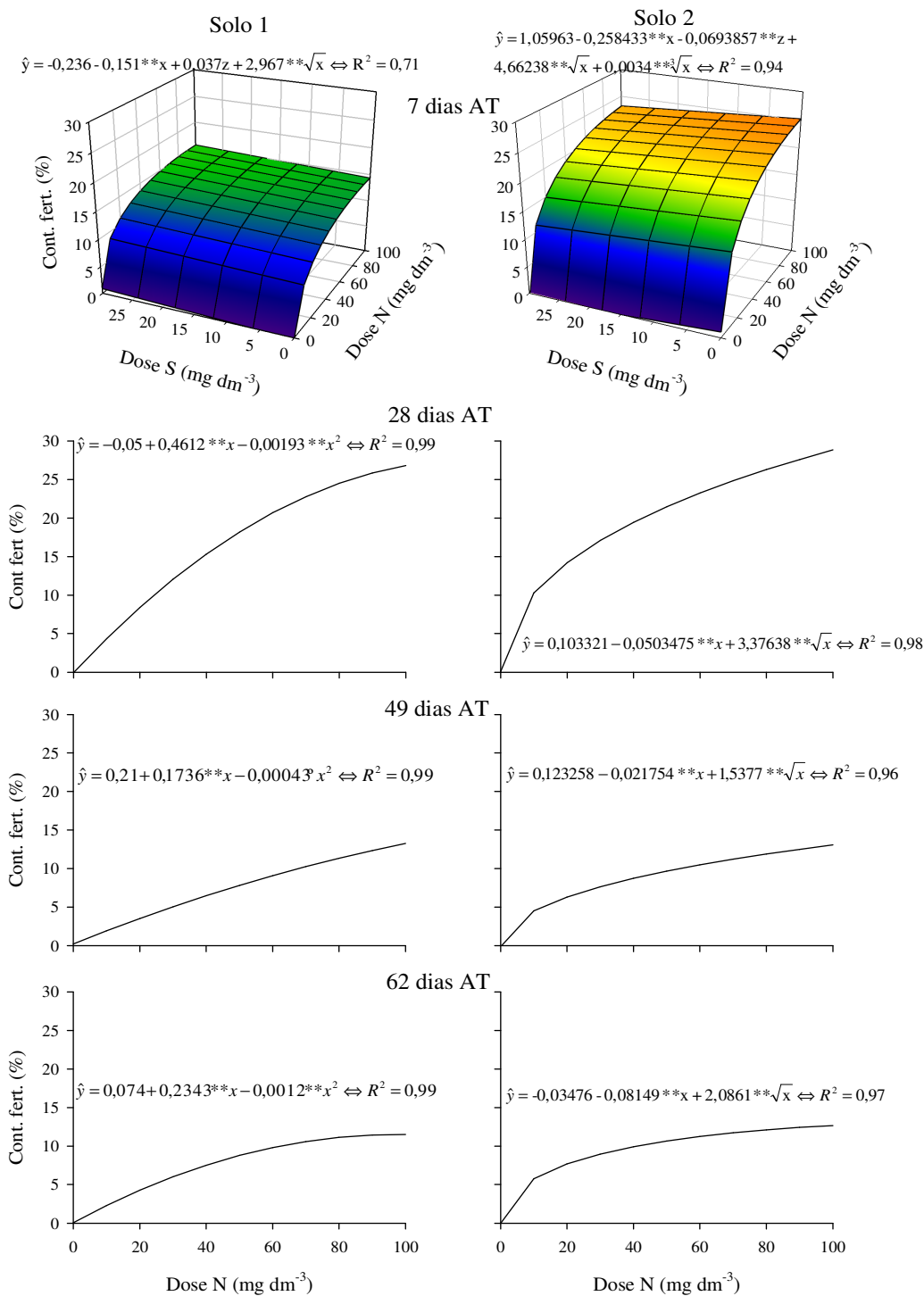


Figura 2. Recuperação do  $^{15}\text{N}$  por mudas do clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A. em diferentes idades (7, 28, 49 e 62 dias após aplicação dos tratamentos (AT)) influenciado pela aplicação de  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  a dois solos com teores distintos de matéria orgânica (solo 1 = 58 g kg<sup>-1</sup>, solo 2 = 26 g kg<sup>-1</sup>). °, \*\*: significativo a 10 e 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

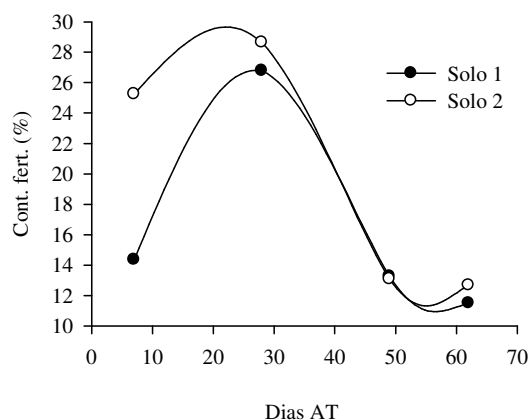


Figura 3. Contribuição do  $^{15}\text{N}$  do fertilizante na folha de mudas do clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A. em diferentes idades (7, 28, 49 e 62 dias após aplicação dos tratamentos (AT)) influenciado pela aplicação de  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  a dois solos com teores distintos de matéria orgânica (solo 1= 58 g kg<sup>-1</sup>, solo 2= 26 g kg<sup>-1</sup>) na dose recomendável de N.

Quadro 3. Relação das características químicas de amostras de dois solos com teores distintos de matéria orgânica influenciadas por doses de N(x) e S(z)

Caract.	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
pH	1	$\hat{y} = 6,0921 - 0,0037^{**}x + 1,4333 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0029^{**}z$	0,91
	2	$\hat{y} = 6,7003 - 0,0023^{**}x - 0,0049^{**}z$	0,93
P <sup>2</sup>	1	$\hat{y} = 29,3504 + 0,1528^{**}x - 0,0006^{\circ}x^2 - 0,0585^{\circ}z$	0,71
	2	$\hat{y} = 29,4809 - 0,0979x + 0,0010^{**}x^2$	0,53
K <sup>2</sup>	1	$\hat{y} = 138,6362 - 0,5250^{**}x$	0,96
	2	$\hat{y} = 173,3625 - 0,6326^{**}x$	0,90
Ca <sup>3</sup>	1	$\hat{y} = 1,8679 - 0,0015^{**}x$	0,76
	2	$\hat{y} = 1,75 + 0,0005^{**}x - 1,3 \cdot 10^{-5}x^2$	0,42
Mg <sup>3</sup>	1	$\hat{y} = 0,6204 - 0,0009^{**}x$	0,77
	2	$\hat{y} = 0,7409 - 0,0034^{**}x + 1,75 \cdot 10^{-5}x - 0,0076z + 0,0002^{\circ}z^2 + 3,88 \cdot 10^{-5}xz$	0,69
S <sup>2</sup>	1	$\hat{y} = 19,2888 + 0,0478^{**}x - 0,0006^{**}x^2 + 0,2183^{**}z + 0,0067^{**}z^2 + 0,003^{**}xz$	0,97
	2	$\hat{y} = 19,5959 + 0,1751^{**}z + 0,0082^{**}z^2$	0,98

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de 58 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; (2) – LVA textura muito argilosa com teor de 26 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. P<sup>2</sup>, K<sup>2</sup> e S<sup>2</sup> = mg dm<sup>-3</sup>. Ca<sup>3</sup> e Mg<sup>3</sup> = cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. °, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

## 5. Conclusões

- A aplicação de nitrogênio promoveu incrementos na produção de matéria seca, sendo a magnitude da resposta dependente do teor de matéria orgânica do solo.
- A aplicação de N promoveu maior absorção de Ca, Mg e S do solo pela mudas de eucalipto refletindo em sua disponibilidade.
- A contribuição do N derivado do fertilizante para as plantas de eucalipto chegou a 30 %, aproximadamente três semanas após aplicação, sendo maior no solo com menor teor de matéria orgânica, mas decresceu ao longo do tempo.
- A MOS é a principal fonte de N para as plantas jovens de eucalipto.

## Referências Bibliográficas

- ABE, T.; KATAYAMA, A. & WATANABE, A. Temporal changes in distribution and composition of N from labeled fertilizer in soil organic matter fractions. *Biol. Fertil. Soils*, 43: 427-435, 2007.
- ALVAREZ V., V.H.; BRAGA, J.M.; ESTEVÃO, M.M. & PINTO, O.C.B. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. I – Equilíbrio fósforo – enxofre. *Experientiae*, 22:1-29, 1976.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. Resumos. Curitiba, SBCS, p. 164 – 165, 1983.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, F.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG, Editora UFV, 2001. 131p.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Bol. Inf. SBCS*, 25:27-34, 2000.
- ARAÚJO, E.F.; GAVA, J.L.; SOUZA, A.J.; SILVEIRA, R.L.V.A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta à aplicação de nitrogênio em Espodossolo no sul da Bahia. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003. SBCS, Ribeirão Preto, 2003. CD ROM.
- ASSOCIATIONS OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official methods of analysis of the Associations of Official Analytical Chemists. 12.ed. Washington, D.C. 1975. 1024p.
- ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling in a *Eucalyptus oblique* (L.Herit) forest. IV. Nutrient uptake and nutrient return. *Aust. J. Bot.*, 28:199-222, 1980.
- BALESDENT, J. The significance of organic separates to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. *Eur. J. Soil. Sci.*, 47:485-493, 1996.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds.). Tópicos em ciência do solo, SBCS, v. II, p. 487-592, 2002.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (eds.). Nutrition of eucalyptus. Collingwood, CSIRO Publishing, p. 335-356, 1996.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio do eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. (eds.). Relação Solo-Eucalipto. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, p. 127-186, 1990.
- BENNETT, L.T.; WESTON, C.J.; ATTIWILL, P.M. Biomass, nutrient content and growth response to fertilisers of six-year-old *Eucalyptus globulus* plantations at three contrasting sites in Gippsland, Victoria. *Aust. J. Bot.* 45:103–121, 1997.
- BIRD, J.A.; KESSEL, C.van.; HORTWATH, W.R. Stabilization of <sup>13</sup>C-Carbon and immobilization of <sup>15</sup>N-Nitrogen from rice straw in humic fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:806-816, 2003.
- BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. & MURAOKA, T. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP. (CENA - USP). FERTBIO, 2004. 75 p

- BRAGA, J. L.; & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. R. Ceres, viçosa, 21:73-85, 1974.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Total nitrogen. In: Page, A.L. Ed. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, p. 595-624, 1982.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, RS: Gênese, p. 117-137, 1999.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:123-130, 1994.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:777-783, 1992.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (eds.). Fertilidade do Solo, SBCS, Viçosa, p. 375-470, 2007.
- CHAN, K.Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:1376-1382, 1997.
- CHOI, W. J.; RO, H. M. & HOBBIIE, E. A. Patterns of natural <sup>15</sup>N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. Soil Biol. Biochem., 35:1493-1500, 2003.
- CHOI, W.J.; LEE, S.M.; RO, H.M.; KIM, K.C. & YOO, S.H. Natural <sup>15</sup>N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. Plant and Soil, 245:223-232, 2002.
- CROMER, R.N. & WILLIAMS, E.R. Biomass and nutrient accumulation in a planted *E. globules* (Labill.) fertilizer trial. Aust. J. Bot., 30:265-378, 1982.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Metodologia. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária. 1997. 26p. (Boletim de Extensão 29).
- FERREIRA, M.G.M. An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil; a nutrient cycling approach. Vancouver, University of British Columbia. 1984. 230 p. Tese Ph.D.
- FERREIRA, F.A.S. A interação nitrato, fosfato e sulfato na absorção de fosfato e de sulfato no crescimento de eucalipto e no seu metabolismo de nitrato e sulfato. Viçosa, MG: UFV, 1986. 95 p. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- FRANZLUEBBERS, A.J. & STUEDEMANN, J.A. Particulate and non-particulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA. Environmental Pollution, 116:53-62, 2002.
- FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - FUNARBE. SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Universidade Federal de Viçosa - ([www.ufv.br/saeg](http://www.ufv.br/saeg)), Viçosa - MG, 2007.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Seropédica, RJ: UFRJ, 1997, 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:893-901, 2005
- GODINHO, V.P.C.; BARROS, N.F.; PEREIRA, P.R.G.; CANTARUTTI, R.B. Crescimento e recuperação de N e K por *Eucalyptus camaldulensis*, cultivado

- em solo arenoso de cerrado, em resposta ao modo de aplicação de adubo nitrogenado e potássico. In: IUFRO, 3, Salvador, p. 98-105, 1997.
- GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Documentos florestais, Piracicaba, 15, p. 1-23, 1995.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S., BROWN, A.G. (Eds.), Management of Soil, Water, and Nutrients in Tropical Plantation Forests. ACIAR Monograph 43, Canberra, p. 379-418, 1997.
- GONÇALVES, J.L.M.; SERRANO, M.I.P.; MENDES, K.C.F.S.; GAVA, J.L. Effects of site management in a *Eucalyptus grandis* plantation in the humid tropics: São Paulo, Brazil. Site management and productivity in tropical plantation forests: a progress report. Workshop Proceedings, India, 1999.
- GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Region Huetar Norte, Costa Rica. Forest Ecology and Management, 124:93-104, 1999.
- JANSSON, S.L. & PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. ed. Nitrogen in Agricultural Soils, Madison, SAS, p. 229-252 (Agronomy Monograph, 22), 1982.
- LEHMANN, J.; CRAVO, M.D.S.; ZECH, W. Organic matter stabilization in a Xanthic Ferralsol of the central Amazon as affected by single trees: chemical characterization of density, aggregate, and particle size fractions. Geoderma, 99:147-168, 2001.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London, Academic Press. 1995. 889 p.
- MARQUES, V.B.; PAIVA, H.N.; GOMES, J.M.; NEVES, J.C.L. & BERNARDINO, D.C.S. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). R. Árvore, Viçosa-MG, 30:725-735, 2006.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern, International Potash Institute. 1978. 593 p.
- MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWEN, G.D.; NAMBIAR, E.K.S. (eds.). Nutrition of plantation forests. London, Academic Press, p. 53-78, 1984.
- MISRA, R.K.; TURNBULL, C.R.A.; CROMER, R.N.; GIBBONS, A.K.; LASALA, A.V. & BALLARD, L.M. Below- and above-ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation. II. Nitrogen and phosphorus. Forest Ecol. Manage., 106:295-306, 1998.
- MOORE, C.W.E. & KERAITIS, K. Effect of nitrogen source on growth of *Eucalyptus* in sand culture. Aust. J. Bot. 19:125-141, 1971.
- MORAN, K.K.; SIX, J.; HORWATH, W.R. & van KESSEL, van C. Role of Mineral-Nitrogen in Residue Decomposition and Stable Soil Organic Matter Formation. Soil Sci Soc Am J, 69:1730-1736, 2005.
- NÄSHOLM, T. & PERSSON, J. Plant acquisition of organic nitrogen in boreal forests. Physiol. Plantarum, 111:419-426, 2001.
- NEFF, J.C.; TOWNSEND, A.R.; GLEIXNER, G.; LEHMAN, S.J.; TURNBULL, J.; BOWMAN, W.D. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. Nature, 419:915-917, 2002.

- NOBLE, A.D. & HERBERT, M.A. Influence of soil organic matter content on the responsiveness of *Eucalyptus grandis* to nitrogen fertiliser. S. Afr. For. J., 156: 23-27, 1991.
- O'CONNELL, A.M. & RANCE, S.J. Predicting nitrogen supply in plantation eucalypt forests. Soil Biol. and Biochem., 31: 1943-1951, 1999.
- PARROTTA, J.A.; BAKER, D.D. & FRIED, M. Application of  $^{15}\text{N}$  enrichment methodologies to estimate nitrogen fixation in *Casuarina equisetifolia*. Can J For Res, 24:201–207, 1994.
- PINKARD, E.A.; BAILLIE, C.; PATEL, V. & MOHAMMED, C.L. Effects of fertilising with nitrogen and phosphorus on growth and crown condition of *Eucalyptus globulus* Labill. experiencing insect defoliation. For. Ecol. Manage., 231:131–137, 2006.
- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. (eds.). Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, p. 265-302, 1990.
- ROBINSON, D.  $\delta^{15}\text{N}$  as an integrator of the nitrogen cycle. Trends in Ecology & Evolution, 16:153-162, 2001.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SANGINGA N.; VANLAUWE, B. & DANSO, S.K.A. Management of biological  $\text{N}_2$  fixation in alley cropping systems: estimation and contribution to N balance. Plant and Soil 174: 119–141, 1995.
- SANTANA, R.S.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 2008. (No prelo).
- SANTOS, M.L. Crescimento e alocação de biomassa e de nutrientes em eucalipto, decorrentes da aplicação de nitrogênio e potássio. Viçosa, MG: UFV, 2001. 62 p. Dissertação Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- SCHIMEL, J & HOLLAND, E.A. Global Gases. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; AUBERER, D. A. (eds.). Principles and applications of soil microbiology. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey, p. 491-509, 2005.
- SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. Biol. Fertil. Soils, 26:1-15, 1998.
- SHEDLEY, E.; DELL, B. & GROVE, T. Diagnosis of nitrogen deficiency and toxicity of *Eucalyptus globulus* seedlings by foliar analysis. Plant and Soil, 177:183-189, 1995.
- SILVA, C.R.; SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; HIGASHI, E.N.; PATROCÍNIO, D.D. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio sobre o desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* e sua relação com a ocorrência da ferrugem (*Puccinia psidii*). In: FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000. Resumos expandidos, Santa Maria: SBSC, 2000. CD-ROM.
- SILVA, C.R.; SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; PATROCÍNIO, D.D.; HIGASHI, E.N. Crescimento de clone híbrido de *Eucalyptus* em função da aplicação de nitrogênio na presença e ausência de potássio. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, 2003. CD ROM.
- SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; DE GRYZE, S.; MORRIS, S. J.; GREGORICH, E. G.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Measuring and



- understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1981-1987, 2002.
- SKJEMSTAD, J.O.; LE FEUVRE, R.P.; PREBBLE, R.E. Turnover of soil organic matter under pasture as determined by  $^{13}\text{C}$  natural abundance. *Aust. J. Soil Res.*, 28:267-276, 1990.
- SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; MARIA CHERRY, M. & HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. *For. Ecol. Manage.*, 176:531-542, 2003.
- SMETHURST, P.; HOLZ, G.; MORONI, M. & BAILLIE, C. Nitrogen management in *Eucalyptus nitens* plantations. *For. Ecol. Manage.*, 193:63-80, 2004.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2006 <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em 20/10/2007.
- SOUZA, S.R. & FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (ed.). *Nutrição mineral de plantas*. SBCS, p. 215-252, Viçosa, 2006.
- STAPE, J.L.; BENEDETTI, V. Decréscimo de produtividade e respostas da brotação do *Eucalyptus grandis* à fertilização com macronutrientes em Areia Quartzosa no estado de São Paulo-Brasil. In: IUFRO, v. 3, Salvador, p. 112-117, 1997.
- STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry: Genesis, composition, reactions*. New York, Willey & Sons Inc. 1994. 496 p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Assimilação de nutrientes minerais. In: TAIZ, L. & ZEIGER, E, 3. ed. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre, Artmed, p. 286-298, 2004.
- THEOBALD, W.F. & SMITH, W.H. Nitrate production in two forest soils and nitrate reduction in pine. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 38:668-672, 1974.
- VALE, F.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & SANTANNA, R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de amônio e nitrato em raízes intactas de *Eucalyptus alba*. *R. Árvore*, 8:123-132, 1984.
- VALERI, S.V.; ALVARENGA, S.F.; MARTINS, M.I.E.G.; BANZATTO, D.A. Ganhos econômicos com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico em povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. In: IUFRO, v. 4, Salvador, p. 138-141, 1997.
- VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 15:199-206, 2005.
- WARREN, C.R. & ADAMS, P.R. Uptake of nitrate, ammonium and glycine by plants of Tasmanian wet eucalypt forests. *Tree Physiology*, 27:413-419, 2007.

## Considerações Finais

A resposta à adubação nitrogenada em eucalipto tem sido inconsistente, conforme registrado na literatura. A pequena resposta, ou, até mesmo, ausência da mesma, tem sido atribuída à mineralização de N de compostos orgânicos da matéria orgânica do solo. Neste sentido, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o efeito do nitrogênio no crescimento e composição química do eucalipto. Os resultados obtidos mostraram que a adubação nitrogenada promoveu incrementos de produção principalmente quando o teor de matéria orgânica foi menor, permitindo concluir que:

- A aplicação de adubos nitrogenados promoveu incrementos de produção no campo e em casa de vegetação, principalmente, nesta última condição, a magnitude da resposta dependeu do teor de matéria orgânica do solo.
- A adubação nitrogenada como sulfato de amônio não alterou os teores de C e N nas frações da matéria orgânica do solo.
- A taxa de recuperação aparente de N é maior na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> aplicado na forma de sulfato de amônio, atingindo a um máximo de 34,4 %.
- A aplicação de N aumentou a disponibilidade de Ca, Mg e S do solo refletindo em sua absorção pela mudas de eucalipto.
- A contribuição do <sup>15</sup>N derivado do fertilizante em casa de vegetação chegou a 30 %, três semanas após aplicação, sendo maior no solo com menor teor de matéria orgânica, mas decresceu ao longo do tempo.

Salienta-se a importância da adubação nitrogenada para, não apenas promover o crescimento das plantas no ciclo, como também, entrar em rotas de humificação da matéria orgânica e, posteriormente, vir a suprir a demanda das plantas em ciclos futuros. Dessa forma, a manutenção da matéria orgânica é essencial para reduzir os custos da fertilização e manter a sustentabilidade da produção em futuras rotações.

## Apêndice Capítulo 1

Anexo 1. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do volume de tronco (VTR), da matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de serapilheira (MSSer) e do conteúdo de N total (CT N) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio			
		VTR	MSPA	MSSer	CT N
Bloco	2	176,11	33,69	0,1683	2929
S.A.	3	599,44**	121,79*	0,1911	2844,3
S.A. vs N.A./120	1	249,82°	63,02°	1,1391	1416,9
Resíduo	8	58,65	17,95	0,9577	1040
CV (%)		18,9	16,8	18,7	15,5

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 2. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do teor foliar de macronutrientes de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	2	4,898*	0,03233°	2,1564	3,7962°	0,0576	0,016719
S.A.	3	1,263	0,00496	0,1278	0,5517	0,03085	0,003413
S.A. vs N.A./120	1	3,110°	0,000013	0,3064	0,0216	0,00194	0,000111
Resíduo	8	0,875	0,00812	0,8448	1,0431	0,04089	0,006431
CV (%)		6,1	10,5	13,5	17,6	10,4	12,2

°, \*: significativo a 10 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 3. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do teor foliar de micronutrientes de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio				
		Zn	Fe	Mn	Cu	B
Bloco	2	0,272	6063	69889*	0,1932	201,2
S.A.	3	0,2291	2640,7	3043	0,9447	108,99
S.A. vs N.A./120	1	0,0817	1727,2	3202	3,3004*	0,40
Resíduo	8	0,254	3117,3	12713	0,5473	412,54
CV (%)		6,0	42,5	28,8	12,7	21,9

\*: significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F.

Anexo 4. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do conteúdo de macronutrientes na parte aérea e na serapilheira (kg ha<sup>-1</sup>) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Parte aérea							
Bloco	2	2228,6	8,774	1693,4*	21	2,26	2,5947
S.A.	3	2381,0	6,928	1235,7°	707,7°	34,576	3,1717°
S.A. vs N.A./120	1	788,2	2,5310	1070,4°	263,50	4,898	0,0045
Resíduo	8	839,1	7,08	309,1	213,8	16,62	1,0171
CV (%)		15,9	24,5	20,2	20,9	17,8	22,6
Serapilheira							
Bloco	2	50,58	0,03625	6,6709°	12,31	0,1143	15,1316°
S.A.	3	22,59	0,01863	0,9523	83,02	1,1005	1,3270
S.A. vs N.A./120	1	91,525	0,067035	5,02516	584,86	6,6524	8,03657
Resíduo	8	52,53	0,07112	1,6235	246,86	2,9176	3,6466
CV (%)		22,1	22,5	38,6	17,4	19,8	59,6

°, \*: significativo a 10 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 5. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do conteúdo de micronutrientes na parte aérea e na serapilheira (kg ha<sup>-1</sup>) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio				
		Zn	Fe	Mn	Cu	B
Parte aérea						
Bloco	2	40594,6**	1321449°	7604334	1129,6	26193
S.A.	3	4569,7	1349625°	1321648	2868,2	122479
S.A. vs N.A./120	1	5058,3	717733	217534	4283,8	3029
Resíduo	8	2169,2	334633	2812480	4668,3	50128
CV (%)		51,4	28,8	21,9	42,8	15,9
Serapilheira						
Bloco	2	8,138	868706	99858870*	44,73	9285
S.A.	3	0,561	742822	33436400	7,98	10676
S.A. vs N.A./120	1	0,200	6468059*	10070322	186,83	37364
Resíduo	8	15,869	975331	16478400	129,94	14298
CV (%)		20,6	20,5	64,8	20,9	25,2

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 6. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do teor de N e C nas frações matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) em profundidades distintas em um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

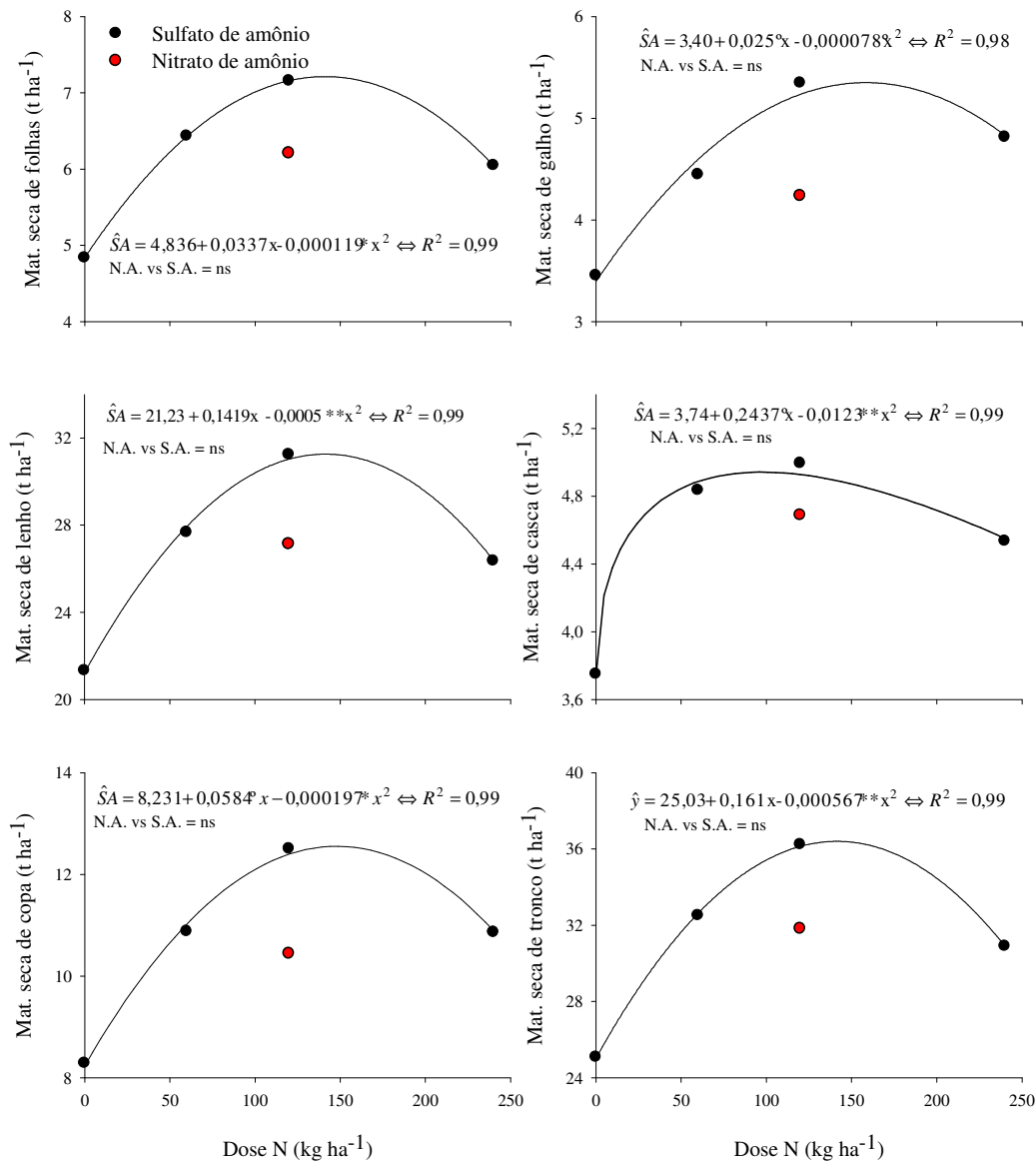
FV	GL	Quadrado Médio			
		NMOP	CMOP	NMOAM	CMOAM
Bloco	2	1,6865**	1253,185*	0,3295	54,295°
S.A.	3	0,046333	200,37	0,131	4,23
S.A. vs N.A./120	1	0,58525°	1123,375°	0,00175	15,2175
Resíduo A	8	0,15125	228,6094	0,14375	13,51563
Profundidade	3	2,086333**	6116,95**	0,165667**	330,43**
Profundidade*Bloco (Resíduo B)	6	0,034333	7,981667	0,010167	1,886667
S.A.*Profundidade	9	0,044	51,16889	0,048889	1,06
(S.A. vs N.A./120)*Profundidade	3	0,098667	106,33	0,062667	0,496667
Resíduo	24	0,092208	105,4856	0,066708	1,625208
CV (%)		6,5	57,31	3,81	19,58

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 7. Análise de variância para tratamentos com sulfato de amônio (S.A.); e o contraste testado sulfato de amônio (S.A.) vs nitrato de amônio (N.A.) na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N do conteúdo de N e C nas frações matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) e matéria orgânica do solo (MOS) em profundidades distintas em um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade

FV	GL	Quadrado Médio					
		NMOP	CMOP	NMOAM	CMOAM	NMOS	CMOS
Bloco	2	0,03977*	2,9047	0,067	56,135*	0,178	83,69°
S.A.	3	0,005417	1,987133	0,144667	3,416667	0,108333	8,39
S.A. vs N.A./120	1	0,018705°	11,79075°	0,0005	10,9775	0,01275	45,52
Resíduo A	8	0,005384	2,565156	0,105938	11,33438	0,112813	21,59063
Profundidade	3	0,164517**	74,71153**	0,015667	248,81**	0,251333**	576,29**
Profundidade*Bloco (Resíduo B)	6	0,001367	0,215067	0,012167	1,823333	0,007333	1,771667
S.A.*Profundidade	9	0,001756	0,574778	0,036556	0,958889	0,044222	1,062222
(S.A. vs N.A./120) *Profundidade	3	0,003963°	1,386167	0,037	0,466667	0,05	2,45
Resíduo	24	0,001347	0,98146	0,060313	1,305208	0,057813	2,950625
CV (%)		15,9	66,2	3,4	19,0	3,5	24,4

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Anexo 8. Matéria seca de folha, galho, lenho, casca, copa e tronco de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, influenciadas por doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e por nitrato de amônio (N.A.), na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. °, \*, \*\*, ns: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 9. Equações que relacionam os teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em cada componente da planta, de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, influenciados por doses de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio (N.A.) na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$

Nutriente	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$R^2$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$		Significância
	Equação		N.A.	S.A.	
Folha					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 19,964$		20,503	19,063	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,015$		0,985	0,988	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 7,305$		6,923	7,375	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 6,933$		6,775	6,895	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 2,088$		2,002	2,038	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,501$		0,482	0,490	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 8,854$		8,883	9,100	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 131,025$		153,183	119,250	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 454,225$		454,75	408,550	ns
Cu	$\hat{y} = 6,947 - 0,019x + 6,25 \cdot 10^{-5}x^2$	0,99	7,133	5,650	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 78,784$		80,368	79,852	ns
Galho					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 5,038$		5,617	5,000	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 0,576$		0,649	0,508	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 6,609$		7,149	5,818	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 4,613$		4,533	3,990	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 1,233$		1,563	1,011	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,136$		0,174	0,101	*
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 4,671$		4,6	4,667	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 56,625$		59,517	47,067	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 145,937$		156,15	129,317	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 5,354$		7,067	4,667	ns
B	$\hat{y} = 24,67 + 0,130*x$	0,71	33,799	29,079	ns
Casca					
N	$\hat{y} = 4,387 - 0,2386**x^{0,5} + 0,01**x$	0,95	3,71	2,937	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 0,328$		0,353	0,315	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 6,584$		6,169	6,747	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 7,682$		7,983	7,764	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 1,365$		1,394	1,266	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,082$		0,165	0,054	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 3,804$		3,233	3,433	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 28,271$		20,95	24,083	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 467,663$		499,917	442,967	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 1,700$		2,075	1,817	ns
B	$\hat{y} = 36,838 - 0,220*x + 0,001*x^2$	0,95	36,143	26,196	ns

Cont...	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$			
		Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.
Lenho					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 2,458$		2,367	2,370	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 0,059$		0,062	0,061	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 1,378$		1,229	1,426	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 0,794$		0,598	0,616	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 0,187$		0,129	0,153	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,078$		0,067	0,068	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 3,308$		3,1	3,817	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 70,417$		74,733	46,050	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 29,580$		33,1	26,617	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 1,300$		1,25	1,333	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 22,727$		26,107	20,042	ns
Serapilheira					
N	$\hat{y} = 6,92 + 0,004^{***}x$	0,70	6,903	7,316	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 0,242$		0,252	0,251	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 0,928$		0,796	1,047	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 17,807$		16,779	17,779	ns
Mg	$\hat{y} = 1,617 + 0,001^{*}x$	0,98	1,6	1,743	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,685$		1,215	0,551	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 3,600$		3,867	3,183	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 1132,721$		939,333	1178,367	ns
Mn	$\hat{y} = 1270,15 + 6,397^{*}x$	0,75	2415,8	1504,783	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 10,596$		9,75	10,367	ns
B	$\hat{y} = 94,75 + 0,274x - 0,001^{*}x^2$	0,94	98,897	114,281	ns

°, \*, \*\*, ns: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Anexo 10. Equações relacionando o conteúdo de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) e de micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>) nos componentes da planta, de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, em função de doses crescentes de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e de nitrato de amônio, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>

Nutriente	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	R <sup>2</sup>	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$		Significância
	Equação		N.A.	S.A.	
Folha					
N	$\hat{y} = 97,731 + 7,815**x^{0,5} - 0,403x$	0,99	126,56	137,07	ns
P	$\hat{y} = 5,263 + 0,027x - 0,00009^{\circ}x^2$	0,99	6,056	7,140	ns
K	$\hat{y} = 36,1 + 0,221x - 0,0008^{\circ}x^2$	0,97	42,656	52,754	ns
Ca	$\hat{y} = 37,173 + 0,047^{\circ}x$	0,55	41,528	48,505	ns
Mg	$\hat{y} = 10,305 + 0,054^{\circ}x - 0,0002^{\circ}x^2$	0,99	12,385	14,414	ns
S	$\hat{y} = 2,39 + 0,269^{\circ}x^{0,5} - 0,015x$	0,9	3,06	3,481	ns
Zn	$\hat{y} = 43,016 + 0,325x - 0,001*x^2$	0,99	54,963	65,430	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 764,023$		978,1	847,948	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 2741,363$		2912,194	2810,76	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 37,524$		43,858	40,656	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 481,607$		499,02	569,23	ns
Galho					
N	$\hat{y} = 16,328 + 1,637^{\circ}x^{0,5} - 0,071x$	0,99	23,971	27,122	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 2,577$		2,762	2,758	ns
K	$\hat{y} = 22,376 + 1,619^{\circ}x^{0,5} - 0,065*x$	0,92	30,388	30,530	ns
Ca	$\hat{y} = 17,4 + 0,029*x$	0,99	19,069	20,724	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 5,470$		6,531	5,208	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,612$		0,727	0,542	ns
Zn	$\hat{y} = 16,188 + 0,124x - 0,0004*x^2$	1,00	19,616	24,844	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 244,515$		248,615	246,013	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 649,030$		665,757	651,020	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 38,122$		29,226	24,678	ns
B	$\hat{y} = 90,139 + 0,780**x$	0,93	139,370	151,949	ns
Casca					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 15,19$		17,484	14,671	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,483$		1,65	1,567	ns
K	$\hat{y} = 24,741 + 0,122x - 0,0004*x^2$	0,99	28,878	33,795	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 34,89$		37,366	38,745	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 6,151$		6,545	6,298	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,369$		0,761	0,265	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 17,4938$		15,144	17,222	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 130,007$		97,821	121,851	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 2110,750$		2382,465	2208,212	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 7,734$		9,166	9,061	ns
B	$\hat{y} = 114,104 + 0,576**x$	0,73	170,827	130,503	ns

Cont...	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$			
		Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.
<b>Lenho</b>					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 65,8$		63,253	75,327	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,609$		1,669	1,970	ns
K	$\hat{y} = 29,09 + 0,219x - 0,0008x^2$	0,97	33,393	44,949	ns
Ca	$\hat{y} = 11,7357 + 0,120x - 0,0004x^2$	0,99	16,211	19,454	ns
Mg	$\hat{y} = 2,989 + 0,03x - 0,0001x^2$	0,99	3,495	4,844	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 2,007$		1,786	2,101	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 92,566$		84,694	124,989	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 1872,204$		2030,007	1447,001	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 751,305$		917,79	827,395	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 34,581$		34,056	42,498	ns
B	$\hat{y} = 494,543 + 52,08x^{0,5} - 3,273x$	0,87	707,694	620,288	ns
<b>Serapilheira</b>					
N	$\hat{y} = \bar{y} = 32,565$		26,599	34,41	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 1,067$		0,968	1,179	ns
K	$\hat{y} = \bar{y} = 4,146$		3,064	4,894	ns
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 78,050$		64,084	83,829	ns
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 7,588$		6,13	8,236	ns
S	$\hat{y} = \bar{y} = 2,99$		4,927	2,62	ns
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 15,656$		15,022	15,020	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 4944,807$		3509,979	5586,524	ns
Mn	$\hat{y} = 5202,74 + 30,450x$	0,87	9767,014	7175,962	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 46,578$		37,544	48,704	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 458,269$		380,96	538,787	ns
<b>Copa</b>					
N	$\hat{y} = 114,058 + 9,452x^{0,5} - 0,475x$	0,99	150,531	164,193	ns
P	$\hat{y} = \bar{y} = 8,800$		8,818	9,899	ns
K	$\hat{y} = 59,437 + 0,344x - 0,001x^2$	0,99	73,044	83,285	ns
Ca	$\hat{y} = 54,575 + 0,077x$	0,76	60,598	69,229	ns
Mg	$\hat{y} = 14,267 + 0,018x$	0,6	18,916	19,619	ns
S	$\hat{y} = 2,745 + 0,313x^{0,5} - 0,016x$	0,97	3,788	4,023	ns
Zn	$\hat{y} = 59,20 + 0,450x - 0,00165x^2$	0,99	74,578	90,275	ns
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 1008,539$		1226,715	1093,96	ns
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 3390,393$		3577,951	3461,78	ns
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 75,646$		73,084	65,334	ns
B	$\hat{y} = \bar{y} = 653,705$		638,39	721,18	ns

Cont...	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$				
		Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.
Tronco						
N	$\hat{y} = \bar{y} = 80,99$		80,737	89,997	ns	
P	$\hat{y} = \bar{y} = 3,090$		3,319	3,537	ns	
K	$\hat{y} = 53,83 + 0,342x - 0,001 \cdot x^2$	0,98	62,27	78,744	ns	
Ca	$\hat{y} = 41,256 + 0,267x - 0,001 \cdot x^2$	0,99	53,577	58,199	ns	
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 11,096$		10,04	11,142	ns	
S	$\hat{y} = \bar{y} = 2,376$		2,547	2,366	ns	
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 110,060$		99,838	142,21	ns	
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 2002,211$		2127,817	1568,853	ns	
Mn	$\hat{y} = 2862,055$		3300,255	3035,607	ns	
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 42,316$		40,524	51,559	ns	
B	$\hat{y} = 770,703$		878,521	750,791	ns	
Parte aérea						
N	$\hat{y} = 187,297 + 12,431 \cdot x^{0,5} - 0,644x$	0,99	231,268	254,191	ns	
P	$\hat{y} = \bar{y} = 11,89$		12,138	13,436	ns	
K	$\hat{y} = 113,269 + 0,686x - 0,002 \cdot x^2$	1,00	135,315	162,029	ns	
Ca	$\hat{y} = 91,593 + 0,490 \cdot x - 0,001 \cdot x^2$	0,99	114,175	127,429	ns	
Mg	$\hat{y} = 23,174 + 1,342 \cdot x^{0,5} - 0,061x$	0,99	28,955	30,762	ns	
S	$\hat{y} = 4,567 + 0,379 \cdot x^{0,5} - 0,017 \cdot x$	0,94	6,335	6,389	ns	
Zn	$\hat{y} = \bar{y} = 185,339$		174,416	232,486	ns	
Fe	$\hat{y} = \bar{y} = 3010,75$		3354,543	2662,814	ns	
Mn	$\hat{y} = 6252,447$		6878,207	6497,388	ns	
Cu	$\hat{y} = \bar{y} = 117,962$		170,334	116,894	ns	
B	$\hat{y} = 1424,408$		1516,912	1471,972	ns	
Parte aérea + serapilheira						
N	$\hat{y} = 215,796 + 13,518 \cdot x^{0,5} - 0,693x$	0,99	257,868	288,602	ns	

°, \*, \*\*, ns: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade e não significativo até 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 11. Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  na fração da matéria orgânica particulada (MOP) e na fração da matéria orgânica associada à fração mineral do solo (MOAM) de um plantio do clone AEC1528<sup>®</sup>, aos 30 meses de idade, influenciados por doses crescentes de N aplicado como sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> em profundidade distintas

$^{13}\text{C}$	$\hat{y} = f(\text{doses de S.A.})$	$\hat{y} = f(\text{S.A. vs N.A./dose } 120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N})$			
	Equação	R <sup>2</sup>	N.A.	S.A.	Significância
0 - 10 cm					
MOP	$\hat{y} = \bar{y} = -27,5$		-27,53	-27,71	ns
MOAM	$\hat{y} = \bar{y} = -24,66$		-24,76	-24,70	ns
10 - 20 cm					
MOP	$\hat{y} = \bar{y} = -27,1$		-27,2	-26,96	ns
MOAM	$\hat{y} = \bar{y} = -23,69$		-24,8	-23,10	ns
20 - 40 cm					
MOP	$\hat{y} = \bar{y} = -26,86$		-27,39	-27,45	ns
MOAM	$\hat{y} = \bar{y} = -22,75$		-23,31	-22,92	ns
40 - 60 cm					
MOP	$\hat{y} = \bar{y} = -27,08$		-27,13	-27,26	ns
MOAM	$\hat{y} = \bar{y} = -22,23$		-23,09	-22,12	ns

ns: não significativo até 10 % de probabilidade, pelo teste F.

## Apêndice Capítulo 2

Anexo 1. Análise de variância dos tratamentos da matéria seca total (MST) e dos teores foliares de macronutrientes de mudas de eucalipto (clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A.), em dois solos com teores distintos de matéria orgânica, influenciada pela adição de doses de N, 80 dias após transplântio

FV	GL	Quadrado Médio					
		MST	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	2	1,15	0,2783*	6,847**	0,1786	0,1188*	0,03301**
Solo	1	5314,02**	5,4384**	79,413**	2,2624**	3,3179**	0,1794**
DoseN	3	2345,27**	0,8081**	29,462**	2,9218**	0,4917**	0,05172**
DoseS	3	1,49	0,0628	1,031	0,5221*	0,1045**	0,00282
Solo*doseN	3	60,02**	0,6198**	21,033**	1,7262**	0,1947**	0,02489**
Solo*doseS	3	0,60	0,081	0,913	0,0452	0,0075	0,00448
DoseN*doseS	9	4,50	0,1151	1,354*	0,2593°	0,0538*	0,00728
Solo*doseN*doseS	9	3,48	0,0223	0,467	0,0682	0,0274	0,00786
Resíduo	62	3,64	0,0789	0,663	0,1437	0,0254	0,00531
CV(%)		44,8	29,7	20,1	17,6	14,6	17,0

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 2. Análise de variância dos tratamentos dos teores foliares de micronutrientes de mudas de eucalipto (clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A.), em dois solos com teores distintos de matéria orgânica, influenciada pela adição de doses de N, 80 dias após transplântio

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Ca	Mg	S
Bloco	2	72*	1574**	247,9	78°	20,49
Solo	1	3632,5**	217556**	80481,3**	25526,6**	1796,58**
DoseN	3	2211**	107281**	51552,1**	8233,4**	802,7**
DoseS	3	6,6	226	198,5	31,3	7,9
Solo*doseN	3	536,2**	1523**	147	24,5	18,17
Solo*doseS	3	10,4	719*	35,8	10	17,84
DoseN*doseS	9	49,7*	707*	264	35,8	11,88
Solo*doseN*doseS	9	14,9	230	218,8	25,3	30,72
Resíduo	62	20,4	288	155	32,5	19,13
CV(%)		33,7	40,9	50,9	51,0	56,2

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 3. Análise de variância dos tratamentos da recuperação do  $^{15}\text{N}$  (contribuição do fertilizante – Cont. fert.) por mudas do clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A. em diferentes idades (7, 28, 49 e 62 dias após aplicação dos tratamentos (AT)) influenciado pela aplicação de  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  a dois solos com teores distintos de matéria orgânica (solo 1 =  $58 \text{ g kg}^{-1}$ , solo 2 =  $26 \text{ g kg}^{-1}$ )

FV	GL	Quadrado Médio
		Cont. fert.
Bloco	2	3,5
Solo	1	766,62**
DoseN	3	5760,79**
DoseS	3	2,72
Solo*doseN	3	90,42**
Solo*doseS	3	5,01
DoseN*doseS	9	1,55
Solo*doseN*doseS	9	5,51°
Solo*Bloco	2	0,31
DoseN*Bloco	6	4,35
DoseS*Bloco	6	5,4
Solo*doseN*Bloco	6	4,48
Solo*doseS*Bloco	6	6,84*
DoseN*doseS*Bloco	18	1,95
Solo*doseN*doseS*Bloco	18	2,47
Resíduo A	62	3,33129
Tempo	3	1630,92**
Bloco*tempo	6	4,82
Solo*tempo	3	103,82**
DoseN*tempo	9	266,56**
DoseS*tempo	9	0,37
Solo*doseN*tempo	9	26,18**
Solo*doseS*tempo	9	5,01
DoseN*doseS*tempo	27	4,51°
Solo*doseN*doseS*tempo	27	4,39°
Resíduo B	186	3,1
CV (%)		78,9

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 4. Análise de variância dos tratamentos das características químicas de amostras de dois solos com teores distintos de matéria orgânica influenciadas por doses de N e S ao final do experimento

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	2	0,026**	20,43*	792**	0,0432**	0,03192**	70,65**
Solo	1	8,55**	550,38**	21624**	0,126**	0,02926**	66,9**
DoseN	3	0,228**	110,05**	14714**	0,0675**	0,046**	22,13**
DoseS	3	0,062**	6,2	187°	0,0026	0,0024	985,44**
Solo*doseN	3	0,007	108,65**	251*	0,0148**	0,00466	6,87*
Solo*doseS	3	0,005	6,95	58	0,0013	0,00442	18,82**
DoseN*doseS	9	0,003	17,48**	101	0,0049	0,00442	7,24**
Solo*doseN*doseS	9	0,002	9,23	174*	0,0062*	0,0036	6,75**
Resíduo	62	0,004	6,08	80	0,003	0,00364	2,22
CV(%)		5,1	14,4	21,6	5,05	12,8	24,4

°, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 5. Características de crescimento aos 80 dias pós transplântio de mudas de eucalipto (clone 1787<sup>®</sup> CENIBRA S.A.) em dois solos com teores distintos de matéria orgânica influenciadas pela adição de doses crescentes de N e S

Caract.	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Diâm.	1	$\hat{y} = 5,6245 + 0,0175**x - 9,27.10^{-5}*x^2$	0,79
	2	$\hat{y} = 3,4592 + 0,0493**x - 0,0002**x^2$	0,98
Alt.	1	$\hat{y} = 38,0006 + 0,1694**x - 0,0006*x^2$	0,90
	2	$\hat{y} = 28,8854 + 0,2194**x - 0,0008*x^2$	0,98
MSF	1	$\hat{y} = 12,5673 + 0,0854**x$	0,98
	2	$\hat{y} = 2,9033 + 0,1813**x - 0,0005**x^2$	0,99
MSC	1	$\hat{y} = 5,9195 + 0,0556**x$	0,98
	2	$\hat{y} = 1,6341 + 0,067**x$	0,99
MSR	1	$\hat{y} = 6,3225 + 0,0544**x$	0,94
	2	$\hat{y} = 1,3349 + 0,0738**x + 6,93.10^{-5}*x^2 + 0,0405z - 0,0006z^2 - 0,0007*xz$	0,99
MSPA	1	$\hat{y} = 18,4868 + 0,141**x$	0,98
	2	$\hat{y} = 4,4455 + 0,2560**x - 0,0006**x^2$	0,99
MST	1	$\hat{y} = 24,8093 + 0,1955**x$	0,98
	2	$\hat{y} = 6,1351 + 0,3211**x - 0,0005*x^2$	0,99
MSPA/MSR	1	$\hat{y} = 3,0449 - 0,0093x + 7,2.10^{-5}*x^2$	0,30
	2	$\hat{y} = 2,8617 + 0,0137x - 0,0002**x^2 - 0,0118z + 2,81.10^{-5}*z^2 + 0,0003**xz$	0,78

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de 58 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; (2) – LVA textura muito argilosa com teor de 26 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. MSF = Matéria seca de folha (g). MSC = Matéria seca de caule (g). MSR = Matéria seca de raiz (g). MSPA = Matéria seca da parte aérea (g). MST = Matéria seca total (g). Razão MSPA/MSR

= Relação entre massa da parte aérea e sistema radicular. °, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Anexo 6. Equações de teores foliares (g kg<sup>-1</sup>) de fósforo, potássio, cálcio e magnésio; e enxofre em cada componente das plantas (folha, caule, raiz) com doses de N(x) e S(z) a dois solos com teores distintos de matéria orgânica

Nutriente	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Folha			
P	1	$\hat{y} = 1,2711 - 0,0021^{\circ}x$	0,33
	2	$\hat{y} = 2,0173 - 0,0240^{**}x + 0,0002^{**}x^2 + 0,0066^{\circ}z$	0,77
K	1	$\hat{y} = \bar{y} = 8,064$	
	2	$\hat{y} = 12,8883 - 0,1092^{**}x + 0,0006^{**}x^2 - 0,0852 z + 0,0028^{*} z^2$	0,91
Ca	1	$\hat{y} = 2,7729 + 0,02122^{**}x - 0,0001^{*}x^2$	0,83
	2	$\hat{y} = 3,3033 - 0,0232^{**}x + 0,0003^{**}x^2 - 0,0114^{*} z$	0,73
Mg	1	$\hat{y} = 2,0354 + 0,0084^{**}x - 4,9695 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0037^{\circ} z$	0,64
	2	$\hat{y} = 1,8998 - 0,006^{**}x + 8,98 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0205^{\circ} z + 0,0005^{*} z^2$	0,85
S	1	$\hat{y} = 0,5648 + 0,0028^{**}x - 1,6805 \cdot 10^{-5} x^2$	0,56
	2	$\hat{y} = 0,5172 - 0,0014^{**}x + 3,26 \cdot 10^{-5} x^2 - 0,0003 z + 0,0001 z^2 - 8,4 \cdot 10^{-5} xz$	0,83
Caule			
S	1	$\hat{y} = 0,3013 - 0,0021x - 0,0045^{\circ}z + 0,0003^{*}xz$	0,69
	2	$\hat{y} = \bar{y} = 0,4331$	
Raiz			
S	1	$\hat{y} = \bar{y} = 0,5743$	
	2	$\hat{y} = 0,7248 - 0,0022^{\circ}x$	0,15

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de 58 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; (2) – LVA textura muito argilosa com teor de 26 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. °, \*, \*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Anexo 7. Equações de conteúdo (mg vaso<sup>-1</sup>) de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em cada componente das plantas (folha, caule, raiz) e o total com doses de N(x) e S(z) a dois solos com teores distintos de matéria orgânica

Nutriente	Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
<b>Folha</b>			
P	1	$\hat{y} = 16,4191 + 0,0584**x$	0,60
	2	$\hat{y} = 5,2219 + 0,1772**x + 0,0843^{\circ}z$	0,95
K	1	$\hat{y} = 101,3487 + 0,6031**x + 0,2456^{\circ}z$	0,92
	2	$\hat{y} = 37,3911 + 1,4117**x - 0,0052**x^2$	0,99
Ca	1	$\hat{y} = 35,8069 + 0,4569**x$	0,95
	2	$\hat{y} = 9,4497 + 0,3237**x + 0,0014^{\circ}x^2$	0,98
Mg	1	$\hat{y} = 25,5470 + 0,2423**x$	0,95
	2	$\hat{y} = 4,9509 + 0,2784**x$	0,98
S	1	$\hat{y} = 7,2919 + 0,0727**x$	0,94
	2	$\hat{y} = 1,1348 + 0,0925**x + 0,0287z - 0,0008*xz$	0,98
<b>Caule</b>			
P	1	$\hat{y} = 13,0942 + 0,0935**x - 0,0004*x^2$	0,68
	2	$\hat{y} = 6,6281 + 0,1139**x$	0,97
K	1	$\hat{y} = 43,8715 + 0,4952**x$	0,83
	2	$\hat{y} = 16,9752 + 0,4757**x$	0,97
Ca	1	$\hat{y} = 22,1575 + 0,2594**x - 0,1661z + 0,0059**xz$	0,85
	2	$\hat{y} = 7,0641 + 0,2951**x$	0,98
Mg	1	$\hat{y} = 5,0384 + 0,0598**x$	0,81
	2	$\hat{y} = 1,5854 + 0,0575**x$	0,98
S	1	$\hat{y} = 3,1361 - 0,0507**x + 0,0004x^2 - 0,2305*z + 0,0052z^2 + 0,0040**xz$	0,80
	2	$\hat{y} = \bar{y} = 1,904$	
<b>Raiz</b>			
P	1	$\hat{y} = 6,8002 + 0,1296z - 0,0039*z^2$	0,20
	2	$\hat{y} = 2,1335 + 0,0429**x$	0,94
K	1	$\hat{y} = 30,7442 + 0,2970**x - 0,1858**z$	0,92
	2	$\hat{y} = 6,6619 + 0,3133**x + 0,0013*x^2 + 0,0652*z - 0,0046**xz$	0,98
Ca	1	$\hat{y} = 30,7613 + 0,2446**x - 0,1719*z$	0,91
	2	$\hat{y} = 5,8025 + 0,4157**x + 0,1476z - 0,0044*xz$	0,97
Mg	1	$\hat{y} = 14,0357 + 0,1087**x$	0,78
	2	$\hat{y} = 3,4685 + 0,1206**x$	0,95
S	1	$\hat{y} = 3,8294 + 0,0243**x$	0,41
	2	$\hat{y} = 1,3986 + 0,0299**x$	0,63

Cont...		Total	
P	1	$\hat{y} = 35,8011 + 0,2167^{**}x - 0,001^{\circ}x^2$	0,69
	2	$\hat{y} = 15,0910 + 0,3340^{**}x$	0,97
K	1	$\hat{y} = 176,7489 + 1,3954^{**}x$	0,93
	2	$\hat{y} = 60,2504 + 2,2751^{**}x - 0,0052^{\circ}x^2$	0,99
Ca	1	$\hat{y} = 89,9085 + 0,9357^{**}x - 0,4281z + 0,0079^{\circ}xz$	0,97
	2	$\hat{y} = 19,3690 + 1,2536^{**}x + 0,2315z - 0,0094^{\circ}xz$	0,98
Mg	1	$\hat{y} = 44,6212 + 0,4108^{**}x$	0,96
	2	$\hat{y} = 10,0048 + 0,4566^{**}x$	0,98
S	1	$\hat{y} = 13,4120 + 0,0860^{**}x - 0,0835z + 0,0040^{\circ}xz$	0,88
	2	$\hat{y} = 4,0122 + 0,1306^{**}x$	0,87

<sup>1</sup>Solo (1) – LVA textura muito argilosa com teor de 58 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica;  
(2) – LVA textura muito argilosa com teor de 26 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. °, \*,  
\*\*: significativo a 10, 5, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.